



**Řízení rizik procesů, zařízení a
bezpečnost složitých technických děl**

Praha 2021

Recenzenti:

Doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.

Doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

RNDr. Jan Procházka, Ph.D.

Editor:

Doc. RNDr. Dana Procházková, CSc., DrSc.

© ČVUT v Praze

ISBN 978-80-01-06906-6



<https://doi.org/10.14311/BK.9788001069066>

OBSAH

ÚVODNÍ SLOVO EDITORA	5
SUMMARY	6
PROPOJENÍ NOREM A VÝSLEDKŮ ŘÍZENÍ RIZIK VE PROSPĚCH BEZPEČNOSTI <i>Dana Procházková</i>	7
STUDIE	20
IDENTIFIKACE, ANALÝZA A ŘÍZENÍ RIZIK PAROGENERÁTORU V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ TEMELÍN <i>Jan Jiroušek</i>	21
PROJEKTOVÁNÍ TECHNICKÝCH DĚL ZALOŽENÉ NA ŘÍZENÍ RIZIK <i>Dana Procházková</i>	49
RIZIKA SPOJENÁ S LETECKOU DOPRAVOU <i>Dana Procházková, Jan Procházka</i>	70
SYSTÉM PRO PODPORU ROZHODOVÁNÍ O RIZICÍCH PRO PROJEKTO- VÁNÍ, ZHOTOVENÍ A UVEDENÍ DO PROVOZU JADERNÉHO ZAŘÍZENÍ S MALÝM MODULÁRNÍM REAKTOREM <i>Dana Procházková, Jan Procházka, Václav Dostál</i>	137
PŘÍČINY SESUVU PŮDY NA DÁLNICI D8 A PŘÍČINY ZVLNĚNÍ VO- ZOVKY NA DÁLNICI D47/D1 <i>Lenka Střelbová</i>	162
RIZIKA PAROGENERÁTORU V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ A ÚDRŽBA PAROGENERÁTORU PROVÁDĚNÁ PODLE MONITORINGU RIZIK <i>Karel Vidlák</i>	194
VÝSLEDKY ŘEŠENÍ VYBRANÝCH PROBLÉMŮ	223
DYNAMIKA A MANAGEMENT RIZIK PROJEKTŮ <i>Václav Beran, Petr Dlask, Leitmanová Ivana</i>	224
REKONSTRUKCE A BEZPEČNOST EXPERIMENTÁLNÍ SOLNÉ SMYČKY MSL <i>Michal Cihlář, Dana Procházková, Pavel Zácha, Jan Prehradný, Václav Dostál</i>	231
PŘÍČINY RIZIK PŘI TRANSPORTU PITNÉ VODY <i>Daniela Cvelihárová, Alena Pauliková, Miroslav Rusko</i>	238
BEZPEČNOST FÚZNÍCH ELEKTRÁREN <i>Slavomír Entler</i>	249

ROZMACH VYUŽITÍ PRAVDĚPODOBNOSTNÍCH METOD V PROCESECH ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI PROVOZU JADERNÝCH ZAŘÍZENÍ I DALŠÍCH SLOŽITÝCH MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ <i>Jaroslav Holý</i>	256
NASAZOVÁNÍ NOVÝCH TECHNOLOGIÍ A OPATŘENÍ NA ROZHRANÍ ČLOVĚK – STROJ KE ZMÍRNĚNÍ RIZIK V PROSTŘEDÍ DRÁŽNÍ DOPRAVY <i>Peter Hrmel</i>	264
ŘÍZENÍ BEZPEČNOSTI TECHNICKÝCH DĚL Z POHLEDU SYSTÉMU SYSTÉMŮ <i>Tomáš Kertis, Dana Procházková</i>	277
SPOLEHLIVOST LIDSKÉHO ČINITELE JAKO KLÍČOVÝ FAKTOR BEZPEČNOSTI <i>Jiří Kruliš</i>	289
OCHRANA MÄKKÝCH CIEĽOV V BEZPEČNOSTNOM PROSTREDÍ ČR <i>Zuzana Kubíková</i>	301
RIZIKA SPOJENÁ SE ZANEDBANOU ÚDRŽBOU ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ <i>Jiří Kuchař, Viktor Kreibich, Dana Procházková, Vojtěch Vlček</i>	322
POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI PROCESU VAKCINACE PROTI ONEMOCNĚNÍ COVID-19 V ČESKÉ REPUBLICCE <i>Jana Victoria Martincová, Pavlína Nováková</i>	330
BEZPEČNÉ ŘÍZENÍ MOBILNÍ KYBERNETICKÉ BRÁNY <i>Jan Procházka, Petr Novobilský, Dana Procházková</i>	346
OPTIMÁLNÍ NÁSTROJ PRO ŘÍZENÍ RIZIK SYSTÉMŮ ZÁVISÍ NA JEJICH SLOŽITOSTI <i>Dana Procházková, Jan Procházka</i>	355
RIZIKA KOROZE A POVRCHOVÝCH ÚPRAV HLINÍKU V LETECKÉM PRŮMYSLU <i>Eva Michelle Sedláčková, Lucie Hudíková, Danis Bikmееv, Jiří Kuchař</i>	368
SPOLEHLIVOST A BEZPEČNOST UCELENÉ TECHNICKÉ OBSLUHY SÍDEL JE TŘEBA ŘEŠIT SYSTÉMOVĚ <i>Petr Šrytr, Lenka Střelbová</i>	375

ÚVODNÍ SLOVO EDITORA

Publikace „*Řízení rizik procesů, zařízení a bezpečnost složitých technických děl*“ je věnována rizikům a jejich řízení ve prospěch bezpečnosti. Obsahuje tři části. V úvodní části je řešen problém, jak propojit existující normy a standardy, které obsahují poznatky celých generací odborníků s poznatky získanými zpracováním původních dat pomocí inženýrských metod pro práci s riziky. V další části jsou uvedeny výsledky komplexních výzkumů vybraných oblastí, které jsou spojené s kritickou infrastrukturou; předmětná část obsahuje 6 prací. Poslední část obsahuje 15 sdělení, která obsahují odborné výsledky dílčích problémů, které jsou spojené s riziky a jejich řízením ve prospěch bezpečnosti.

Předložená publikace dokládá výsledky celoroční odborné a organizační práce specialistů v předmětné oblasti. Obsahuje výsledky z širokého spektra oborů, které přispívají k řízení a vypořádání rizik ve prospěch bezpečnosti. Články obsahují výsledky: teoretických studií; zpracování rozsáhlých datových souborů; experimentálních prací; a shrnující zkušenosti z praxe.

Výsledky uvedené ve studiích i sděleních ukazují, že i navzdory velkému množství poznatků o procesech, technických dílech, jejich zařízeních, strukturách, vzájemných propojení, rizicích a bezpečnosti, se havárie a selhání technických zařízení, organizačních i technických procesů a technických děl stále vyskytují. Příčin je několik: dynamická proměnlivost světa; nedostatečné lidské znalosti a schopnosti; pomalé používání poznatků a zkušeností získaných v praxi; nespokojivé povědomí o rizicích a jejich důsledcích pro technická zařízení, technické a organizační procesy, technická díla a veřejný zájem.

Studie havárií a selhání technických zařízení a děl ukazují, že důležitým faktorem pro zajištění bezpečnosti je jak kvalitní technická obsluha, tak správná realizace odpovědnosti na různých úrovních řízení. Obsluha musí být založena na kvalitních datech z měření a na použití správných technických postupů. Lidský faktor se projevuje jako základním činitelem při řízení rizik ve prospěch bezpečnosti, a to na všech úrovních řízení a provádění činností. Vysoce důležitá je údržba založená na monitoringu rizik.

Shromážděné poznatky také ukazují, že při prevenci nehod, havárií a selhání je třeba se vyvarovat, jak velkých chyb v prevenci rizik, tak výskytu drobných chyb, jejichž realizace v krátkém časovém intervalu je nebezpečná. Proto u řízení rizik ve prospěch bezpečnosti veřejných aktiv, zařízení, procesů i složitých technických děl je důležitá aplikace systémového pojetí a zvážení proměnnosti limitů a podmínek v prostoru a čase.

Sdělení v druhé a třetí části publikace jsou uspořádána alfabetycky dle příjmení prvního autora s přihlédnutím k počtu autorů. Řada sdělení obsahuje výsledky národních projektů České i Slovenské republiky. Všechna sdělení byla editována a recenzována s cílem zajistit vysokou odbornost dodržet požadavky platné legislativy; všechny připomínky recenzentů byly do konečné verze zapracovány.

Velký dík patří recenzentům publikace panu *Doc. Ing. Aleši Hermanovi, Ph.D.*, panu *Doc. Ing. Bronislavu Lackovi, CSc.* a panu *RNDr. Janu Procházkovi, Ph.D.*, kteří uvedli konkrétní připomínky k článkům z publikace a u článků, které vyžadovaly větší úpravy, uvedli konkrétní připomínky a doporučení. Vybraná sdělení byla navíc prezentována na stejnojmenném semináři ČVUT v Praze, Fakulta strojní v budově Praha 6, Technická 4, dne 11. listopadu 2021.

Poděkování editora patří vedení ČVUT, fakulty strojní; speciálně ústavům energetiky a strojírenské technologie, za vytvoření podmínek pro vydání publikace. Osobní poděkování vyslovuje editor panu *doc. Ing. Václavu Dostálovi, Ph.D.*, panu *Ing. Janu Štěpánkovi, Ph.D.* a paní *Dušaně Táborské* za organizační i finanční podporu.

SUMMARY

The publication "*Management of risks of processes, fittings and safety of complex technical facilities*" is devoted to risks and their management for the benefit of safety. It contains three parts. The introductory part solves the problem of how to link existing norms and standards that contain the knowledge of entire generations of experts with the knowledge gained from the processing of original data using the engineering methods for working with risks. The next section shows the results of comprehensive research on selected areas related to critical infrastructure; the part in question contains 6 works. The last part contains 15 communications containing the expert results of partial problems related to risks and their management for safety.

The submitted publication illustrates the results of the year-round professional and organizational work of specialists in the field in question. It contains results from a wide range of disciplines that contribute to the management and settlement of risks to safety. The articles contain the results of: theoretical studies processing large data files; experimental works; and summarizing practical experience.

The results presented in both, the studies and the set of communications show that, despite a great deal of knowledge about processes, technical facilities, their equipment, structures, interconnections, risks and safety, the incidents, accidents and failures of technical equipment, organisational and technical processes and technical facilities still occur. There are several reasons: the dynamic variability of the world; lack of human knowledge and capabilities; slow use of practical knowledge and experience; unsatisfactory awareness of the risks and their consequences for technical equipment, technical and organisational processes, technical facilities and the public interest.

Studies of accidents and failures of technical equipment and facilities show that both, the high-quality technical operation and the correct implementation of responsibility at different levels of management are important factors in ensuring the safety. The operator must be based on high-quality measurement data and the use of good technical procedures. The human factor is shown to be an essential factor in the management of risks to safety at all levels of management and implementation of activities. Qualified maintenance based on risk monitoring is of high importance.

The findings also show that in the prevention of incidents, accidents and failures, both, the major errors in risk prevention and the occurrence of minor errors, the implementation of which in a short period of time is dangerous, should be avoided. Therefore, in the case of risk management in favour of the safety of public assets, equipment, processes and complex technical facilities, the application of the system concept and consideration of the variability of limits and conditions in space and time is important.

The communications in the second and third parts of the publication are arranged alphabetically according to the surname of the first author, considering the number of authors. A number of communications contain the results of national projects of both the Czech and Slovak Republics. All papers were reviewed in order to ensure high expertise to comply with the requirements of the applicable legislation; all reviewers' comments have been incorporated into the final version.

PROPOJENÍ NOREM A VÝSLEDKŮ ŘÍZENÍ RIZIK VE PROSPĚCH BEZPEČNOSTI

LINK OF NORMS AND RESULTS OF RISK MANAGEMENT IN BENEFIT OF SAFETY

Dana Procházková

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 00 Praha 6, Česká republika; danuse.prochazkova@fs.cvut.cz

Abstrakt: Normy jsou základním vodítkem pro zajištění bezpečnosti technických děl, protože obsahují znalosti minulých generací, a tak zaručují, že nejsou opakovány minulé chyby. Každé technické dílo má určité limity, které odpovídají zvažovaným podmínkám při jeho tvorbě. S rozvojem světa se podmínky mění, což způsobuje i občas překročení limitů, což vede k selhání či haváriím technických děl. V rámci bezpečnosti je třeba, a to zvláště u kritických složitých technických děl, zvažovat možné změny podmínek a při projektování i provozu mít opatření na odvrácení katastrofických selhání. Článek ukazuje způsob propojení opatření norem a výsledků řízení rizik pro podporu bezpečnosti technických zařízení i technických děl.

Klíčová slova: Normy; rizika; bezpečnost; složitá zařízení; složitá technická díla; řízení rizik; projektování založené na riziku; provoz založený na riziku.

Abstract: Norms (standards) are an essential guide to ensuring the technical facilities safety because they contain knowledge of past generations and thus guarantee that past mistakes are not repeated. Each technical facility has certain limits that correspond to the conditions under consideration in its creation. With the development of the world, conditions change, which sometimes causes limits to be exceeded, leading to failures or accidents of technical facilities. In the context of safety, especially for critical complex technical facilities, consideration should be made to possible changes in conditions and to take measures to avert catastrophic failures in both, the design and the operation. The article shows how to link the measures of standards and the results of risk management to promote the safety of technical equipment as well as technical facilities.

Key words: Norms; risks; safety; complex fittings; complex technical facilities; risk management; risk-based design; risk-based operation.

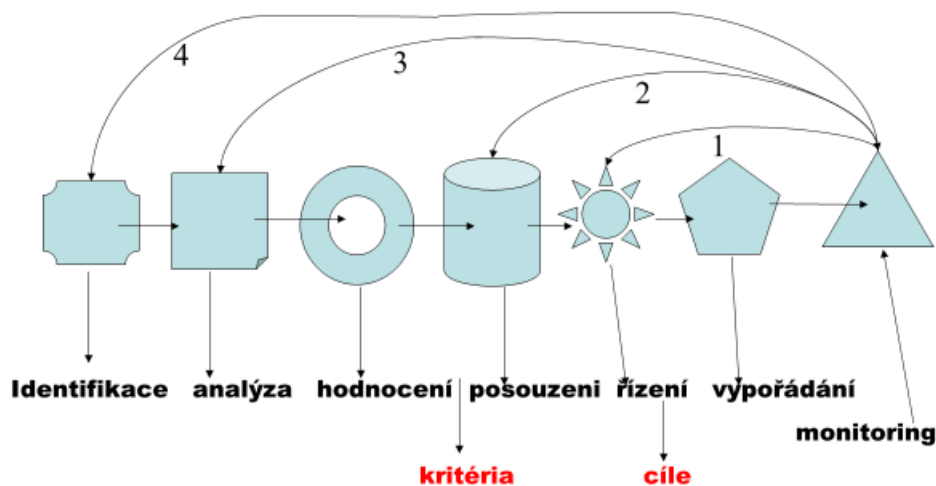
1. ÚVOD

Složitá technická díla, objektová i síťová jsou nezbytná pro život, ochranu a rozvoj lidstva. V současné době mají povahu socio-kyber-fyzickou, protože je tvoří a provozují lidé, a skládají se z technických a kybernetických prvků a propojení. Cílená analýza jejich havárií a selhání [1] ukázala, že i navzdory velkému množství poznatků o technických dílech, jejich zařízeních, strukturách, vzájemných propojení, rizicích a bezpečnosti, které jsou obsaženy v technických normách pro jejich konstrukci a provoz, se havárie a selhání technických děl stále vyskytují. Příčin je několik: dynamická proměnlivost světa; nedostatečné lidské znalosti a schopnosti; pomalé používání poznatků a zkušeností získaných v praxi; a neuspokojivé povědomí o rizicích a jejich důsledcích pro technická díla a veřejný zájem.

Jelikož svět se dynamicky mění, tak se mění i procesy, které vyvolávají jevy (obecně nazývané pohromy – disasters), jež jsou příčinami rizik. Proto se škodlivý potenciál pohrom v čase mění, tj. mění se i velikosti ohrožení a s nimi i velikosti rizik, ke kterým přispívají i změny v rozložení veřejných aktiv v zájmovém území či sledovaném technickém díle, ke kterým v čase dochází [1]. Proto bezpečnost technických děl a bezpečí jejich okolí musí být sledovány již od konceptu, přes projekt, výstavbu, výrobu, konstrukci, provoz až po odstavení z provozu a revitalizaci zabraného území.

Riziko je veličina, která je mírou ztrát, škod a újm na chráněných aktivech (a to ve sledovaném případě veřejných aktivech i aktivech technického díla). Jeho velikost závisí na konkrétní pohromě, která je zdrojem rizika a na zranitelnosti místních sledovaných aktiv. Ve strategickém řízení jsou definovány veličiny: ohrožení (anglicky hazard) jako pravděpodobná velikost pohromy, která se v daném místě vyskytne jedenkrát za definovaný časový interval (tzv. projektová nebo návrhová pohroma) [2]; a riziko jako pravděpodobná velikost ztrát, škod a újm na sledovaných aktivech při projektové pohromě rozpočtená na jednotku času (nejčastěji 1 rok) a jednotku území [2]. Riziko je tudíž místně a časově specifické, protože závisí na množství a zranitelnosti aktiv v daném území a v daném čase.

Vzhledem k dynamickému vývoji světa, stárnutí a opotřebení částí technických děl a omezeným lidským znalostem, zdrojům a možnostem, management technického díla i veřejná správa se musí připravit na budoucí realizace rizik. To znamená mít nástroje, kterými lze snížit realizace známých zdrojů rizik a zmírnit rizik nových. Práce prosazuje řízení rizik ve prospěch bezpečnosti. S ohledem na současné poznání práce nezpochybňuje existující normy a standardy, protože obsahují dřívější poznatky. Bez jejich aplikace by docházelo k opakování minulých chyb z minula. Cílem předložené práce je ukázat, jak propojit poznatky zahrnuté v platných normách s výsledky řízení rizik, což doporučuje nyní i řada norem, např. ISO 31 000, ISO 31010, ISO 9000 atd. Citované normy však neuvádí postupy, jak propojení provést, proto se práce opírá o výsledky v práci [2] a navrhuje řešení. Obrázek 1 ukazuje postup práce s riziky.



Obr. 1. Procesní model práce s riziky. Kritéria = podmínky, které stanovují, kdy je riziko přijatelné, podmíněně přijatelné nebo nepřijatelné. Cíle označují žádané stavy. Čísla 1,2,3,4 označují zpětné vazby, které se používají, když monitoring ukáže, že nejsou splněny stanovené požadavky na bezpečnost.

2. TECHNICKÉ NORMY

Technická norma či standard je podrobný předpis, který stanoví důležité parametry či vlastnosti materiálu, výrobku, součásti nebo pracovního postupu, který vede ke standardizaci. Technické normy jsou odborně kvalifikované předpisy, na které se mohou odkazovat smluvní strany při

specifikaci předmětu smlouvy nebo státní autorita ve svých obecně závazných předpisech. Umožňují například výměnu výrobků nebo zaměnitelnost součástí a tím zlepšují hospodárnost výroby i bezpečnost výrobků. Stanovením závazných parametrů výrobků přispívají také k ochraně spotřebitele. V současné době v ČR nejsou obecně závazné.

Státní a mezinárodní normy definují také soustavy jednotek, užívané pojmy, kódy, formáty, protokoly nebo rozhraní, například v oblasti informatiky a komunikace, které umožňují propojování různých zařízení, komunikačních a dopravních systémů. Normy jsou mezinárodní, národní, oborové a podnikové. Jsou vydávány autoritami. Technické normy v ČR vydává státní úřad „Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví“. Od 20. století se národní normy harmonizují s mezinárodními, vydávanými evropskými nebo světovými organizacemi.

Norma je dokument vytvořený na základě konsenzu a schválený uznaným orgánem, poskytující pro všeobecné a opakované používání pravidla, směrnice nebo charakteristiky činností nebo jejich výsledků a zaměřený na dosažení optimálního stupně uspořádání v dané souvislosti. Normy jsou založeny na společných výsledcích vědy, techniky a praxe a zaměřeny na dosažení optimálního společenského prospěchu.

Námět na vytvoření české technické normy může příslušnému úřadu podat každý. Následuje posouzení návrhu normy v Technických normalizačních komisích, nebo pokud nejsou, pak v jiných odborných grémiích s cílem dosáhnout shody o užitečnosti navrhovaného řešení pro všechny zúčastněné i pro ČR. Po doporučení se norma zpracuje ve formě návrhu, o kterém se hlasuje. V případě přijetí se schválí a vytiskne. Návrhy evropských norem se schvalují vážným hlasováním, které vyjadřuje hospodářskou významnost členských zemí CEN a CENELEC. ČR má v tomto systému 12 hlasů stejně jako Belgie, Maďarsko, Portugalsko a Řecko. Po schválení jsou členské země povinny normy do 6 měsíců zavést do svých národních norem. V ISO a IEC je ke schválení potřeba 75% kladných stanovisek z hlasujících členů [3].

Problematika českých technických norem je obecně řešena ustanoveními zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, který řeší problematiku technických norem v § 4 až § 6. Dle ustanovení uvedeného zákona se **česká technická norma se stává harmonizovanou českou technickou normou**, přejímá-li plně evropskou normu nebo harmonizačním dokument, které uznaly orgány ES jako harmonizovanou evropskou normu. Evropské harmonizované normy jsou oznamovány v Úředním věstníku evropské unie ve vztahu k jedné či více evropským směrnicím. Jedná se převážně o směrnice tzv. nového přístupu, stanovující především požadavky na bezpečnost výrobků, uváděných na jednotný trh. Harmonizované české technické normy jsou oznamovány ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve vztahu k jednomu či více nařízením vlády, kterými byly příslušné evropské směrnice převzaty do právního řádu ČR.

Dle § 6 výše citovaného zákona stanovuje podmínky tvorby a vydávání českých technických norem. Při tvorbě a vydávání českých technických norem, jejich změnách a zrušení musí být zajištěny podmínky stanovené v rozhodnutí o pověření, kterými jsou zejména:

- včasné zveřejňování oznámení o připravovaných návrzích českých technických norem, jejich vydání, změnách a zrušení ve Věstníku Úřadu,
- jednotnost a vzájemný soulad českých technických norem a jejich soulad s právními předpisy,
- využívání dosaženého stupně rozvoje vědy a techniky,
- uplatňování ochrany oprávněného zájmu,
- plnění povinností vyplývajících z mezinárodních smluv, kterými je Česká republika vázána, z členství v mezinárodních a evropských normalizačních organizacích a využívání výsledků mezinárodní spolupráce,

- projednání návrhu české technické normy, její změny nebo zrušení s každým, kdo se ve lhůtě stanovené ve zveřejněném oznámení o zahájení zpracování návrhu české technické normy nebo o návrhu na změnu nebo zrušení české technické normy přihlásí u osoby uvedené v tomto oznámení, nebo s každým, kdo zašle své stanovisko ke zveřejněnému návrhu ve lhůtě stanovené v oznámení o jeho zveřejnění,
- zrušení české technické normy, které bylo projednáno podle předchozí odrážky, pokud neodpovídá podmínkám stanoveným v druhé a čtvrté odrážce,
- řádná distribuce vydaných českých technických norem a jejich změn do dvou týdnů po doručení objednávky.

Podstatný je výše uvedený fakt, že u norem jde o „*dokument vytvořený na základě konsenzu*“. Jelikož prostředí se dynamicky vyvíjí, návrhy ustanovení norem zahrnují výsledky určitého intervalu, který označujeme jako „medián + σ “, kde σ je standardní odchylka, která se určuje podle teorie pravděpodobnosti. V uvedeném případě si však musíme uvědomit skutečnost, že v žádném případě vybrané řešení nepokrývá všechny možné varianty. Pro normální rozdělení platí, že interval $(-\sigma, +\sigma)$ pokrývá 68.5 % případů; interval $(-2\sigma, +2\sigma)$ pokrývá 95.4 % případů; interval $(-3\sigma, +3\sigma)$ pokrývá 99.8 % případů [4]. To znamená, že normy pokrývají 68.5 % případů. Uvedená skutečnost v praxi znamená, že cíl norem je omezen tzv. limity a podmínkami; tj. řešení platí jen pro určité podmínky (a při jejich překročení dochází k nesplnění cíle, což vede až k selhání či havárii prvku, objektu či procesu) [1,4].

3. RIZIKO A BEZPEČNOST

Cílem lidí je, aby technická díla byla bezpečná, tj. kvalitně a spolehlivě plnila funkce, ke kterým byla vytvořena a přitom neohrožovala sebe a okolí, tj. lidi a životní prostředí, které je zásadní pro život a rozvoj lidstva. Proto v souladu se současnými znalostmi a zkušenostmi lidé musí nejprve poznat zdroje rizik (tj. pohromy – škodlivé jevy všeho druhu), ocenit jejich škodlivý potenciál (tj. určit ohrožení, která jevy představují a rozložení jejich dopadů) v jednotlivých místech a stanovit velikost možných ztrát a škod v závislosti na rozložení veřejných aktiv (tj. určit riziko). V závislosti na konkrétních možnostech dané lidské společnosti pak rozdělit rizika na přijatelná, podmíněně přijatelná a nepřijatelná [5].

V případě rizik, která jsou:

- nepřijatelná je třeba zajistit aplikaci účinných preventivních opatření vůči jejich zdrojům,
 - podmíněně přijatelná, je třeba připravit zmírňující, reaktivní a obnovující opatření pro sledovaná aktiva,
 - a u přijatelných sledovat, zda v čase nedojde ke zvýšení škodlivého potenciálu jejich příčin.
- Uvedeným způsobem provádíme činnost, kterou nazýváme „řízení rizik“.

Bezpečnost je chápána jako vlastnost na úrovni systému, kterou formuje člověk svými opatřeními a činnostmi [1,2,5]. Veličiny riziko a bezpečnost nejsou komplementární veličiny, protože bezpečnost prostředí i každého technického díla lze zvýšit pomocí organizačních opatření, např. zavedením varovacích systémů a záložních řešení, aniž bychom snížili velikost rizika; doplňkovým pojmem k bezpečnosti je kritičnost [1,2,5].

Bezpečnost technického díla a jeho okolí lze zajistit jen kvalitním antropogenním řízením [1,2,5,6]. Na základě hospodárnosti je třeba především provést snížení rizik v nejkritičtějších místech v rámci prevence, i připravit odezvu a obnovu na rizika, která nejsou vypořádána buď z důvodu opomenutí nebo neznalostí v procesu projektování a zhotovení, anebo preventivní opatření jsou velmi nákladná. Jedná se o velmi nákladnou činnost, a proto je nutná vzájemná komunikace mezi vlastníky a provozovateli technických děl, veřejnou správou, veřejností a médií [6].

4. ŘÍZENÍ RIZIK TECHNICKÝCH DĚL ZACÍLENÉ NA BEZPEČNOST

Řízení je druh činnosti, který vyvolává a zajišťuje fungování sledovaných systémů. Je to uvědomělý způsob aplikace teoretických a praktických znalostí člověka (řídícího pracovníka) zaměřený na identifikaci a rozpoznání problémů a cílů ve sledovaném systému, způsoby zvládnutí problémů, stanovení postupů k dosažení žádoucích cílů a na implementaci postupů spojenou s kontrolními mechanismy zaměřenými tak, aby žádoucí cíle byly dosaženy optimálně. Jeho prvním úkolem je správně diagnostikovat či specifikovat každý problém, racionálně rozhodnout, rozhodnutí akceptovat a realizovat v daných konkrétních podmínkách. Řízení má predispozici být úspěšné, když je založené na odborných znalostech a zkušenostech a když jednotlivá rozhodování, z nichž se řízení nebo lépe proces řízení skládá, jsou kvalifikovaná. Získání předmětných znalostí a zkušeností znamená neustále shromažďovat, vyhodnocovat i ověřovat data a provádět kvalifikovaná hodnocení.

Total Quality Management (TQM) [7,8] je typ řízení, který pomohl po druhé světové válce evropskému průmyslu zotavit se z propadu, který mu způsobila válka [9]. Pro úspěšnost byl do veřejného sektoru v EU zaveden smlouvou v Maastrichtu v r. 1989. Je základem ISO norem třídy 9000, 14000 a dalších. Přístup TQM spočívá v tom, že na procesu zlepšování kvality se musí podílet všichni zaměstnanci, od řadových zaměstnanců až po nejvyšší řídicí pracovníky. Proces zlepšování jakosti vychází z impulsu podle potřeb od zákazníka / občana. TQM vychází z toho, že trvalá kvalita výrobků a služeb se nedá zajistit příkazy, kontrolou, dílčími programy, organizačními nebo ekonomickými opatřeními, ale cíleným hledáním, měřením a hodnocením příčin toho, proč se produktivita a kvalita nezvyšuje [8]. Je to způsob, při kterém se pozornost zaměřuje na procesy probíhající v instituci. Při implementaci TQM se přihlíží na specifika instituce, protože z důvodu účinnosti musí odpovídat struktuře instituce. TQM se využívá v řízení podniků (technických děl), obcí a regionů.

Výstupy z procesu řízení rizik při aplikaci TQM pro zajištění bezpečnosti jsou následující:

1. *Seznam vyhodnocených rizik* (risk assessment document) - zde se zaznamenávají veškeré informace o příslušných rizicích.
2. *Seznam rizik vyžadujících nejvyšší pozornost* (top risks list) - obsahuje seznam vybraných rizik, jejichž řešení má nejvyšší nároky na zdroje a čas (u technických děl jde o rizika, která je třeba stále sledovat a podle výsledků monitoringu aplikovat opatření a činnosti vedoucí k bezpečnosti [6]).
3. *Seznam neaktuálních / vyřešených rizik* (retired risk list) - slouží jako historický odkaz pro budoucí rozhodování při změnách a modernizacích (např. aby se neodstranily bariéry, které byly do systému vsazeny z důvodu prevence nebo zmírnění [10]).

Podle údajů shrnutých v práci [1] jsou pro technická díla používané různé typy řízení. Dělí se podle cílů řízení technických děl na:

1. Řízení spolehlivosti (reliability management).
2. Řízení zabezpečení (security management).
3. Řízení bezpečnosti (safety management).
4. Řízení kontinuity (continuity management).
5. Řízení pružné odolnosti (resiliency management).
6. Řízení aktiv (asset management).

Každý z těchto typů má jistá specifika. První typ řízení upravují technické normy a standardy. Druhý typ řízení se kromě řízení spolehlivosti soustřeďuje na ochranu technických děl před

vnitřními i vnějšími škodlivými jevy (pohromami), a to včetně chování lidí, kteří je vytváří a provozují [2]. Zabezpečení (anglicky security) ve spojení s jistým objektem znamená obecně soubor opatření a činností, kterými se zajistí, že objekt neutrpí ztráty, škody a újmy při výskytu vnitřních i vnějších škodlivých jevů. K jeho realizaci se používá fyzická a kybernetická ochrana objektu [11], a to nejen proti útokům zvnějšku, ale i z vnitřku.

Pravidla pro zabezpečení technických děl jsou rozpracovaná v práci [12], ve které jsou i vymezení oproti bezpečnosti technických děl [13]; odlišení je též v dokumentech IAEA [14]. Přestože logicky je bezpečný objekt též objekt zabezpečený [6], tak existují stále dohady, co je důležitější. Shoda je v tom, že **zabezpečené technické dílo** stejně jako bezpečné technické dílo bezchybně plní stanovené úkoly po stanovenou dobu za určitých podmínek, a přitom je ochráněno proti všem vnitřním a vnějším pohromám, včetně lidského faktoru. Rozdíl je v tom že zabezpečené technické dílo nemá zabudovanou ochranu okolí.

Abychom zajistili bezpečnost technických děl, řešíme problém bezpečnosti systému systémů [1,6], protože soubor propojených bezpečných systémů není ještě nutně bezpečný systém, protože bezpečnost systému systémů závisí také na charakteru vzájemných propojení mezi systémy. Důsledkem vzájemných závislostí je to, že defekt v jedné části technického díla způsobí selhání dalších částí technického díla a kaskádu dalších dopadů. To znamená, že když chceme zajistit bezpečnost systému systémů, tak kromě bezpečnosti dílčích částí technického díla musíme ještě zvlášť sledovat soubor systémů jako celek. Musíme zjišťovat:

- typy selhání systému systémů,
- provozní podmínky systému systémů,
- vnitřní vazby a jejich projevy,
- charakteristiky kritických stavů systému systémů.

Řízení kontinuity je zacílené na bezpečnost technického díla i jeho okolí za všech možných podmínek [1]. Řízení pružné odolnosti je předstupněm řízení bezpečnosti a řízení kontinuity; snaží se zvýšit houževnatost systému a okolí, aby byl získán čas na zformování účinné odezvy [1]. Řízení aktiv upřednostňuje řízení rizik ve prospěch výroby před bezpečím lidí a okolí technického díla [1]. Součástí všech typů řízení jsou pak specifické typy, kterými jsou nouzové řízení a krizové řízení. Srovnání typů ukazuje, že:

- všechny typy používají stejné metody a nástroje pro práci s riziky, které z důvodů různých cílů předmětných postupů v konkrétních případech nedávají stejné výsledky [6],
- všechny typy mají stejný cíl, kterým je zvládnutí rizik a ochrana aktiv (je však rozdíl v tom, která rizika a která aktiva zvažují),
- počínaje druhým typem jsou nadstavbou řízení spolehlivosti (reliability management), které bylo po dlouhá léta královskou disciplínou při řízení technických děl [6],

Přes různé názvy typů řízení, jejich metodologie je stejná, a to získat:

- povědomí o riziku,
- pochopení rizika a jeho vztahu k aktivům a jejich bezpečí,
- a aplikovat příslušné znalosti o tom, co dělat pro dosažení cíle.

Pro strategický rozvoj lidské společnosti i technických děl je zásadní řízení rizik ve prospěch bezpečnosti (tj. safety management). V rámci řízení rizik technického díla ve prospěch bezpečnosti je třeba kvalitně provést pět klíčových aktivit [2], a to:

1. Vymezení cíle a centra zájmu řízení bezpečnosti: identifikovat kontext; určit prioritní cíle; a určit oblasti a zásadní úkoly. Výběry jsou založeny na hodnocení aktiv a cílů. Tím stanovíme, které riziko je v daném případě prioritní.

2. Popis: směřuje k objektivnímu pochopení pravděpodobnosti výskytu a velikosti dopadů (v kvalitativním nebo lépe kvantitativním vyjádření) možných pohrom a selhání technického díla. Jedná se o vysoce odbornou činnost vyžadující hluboké znalosti a kvalitní data.
3. Rozhodnutí: vyhodnocení kvality předpovědi vývoje technického díla, pokud možno jako optimum při zvážení přínosů a ztrát při provozu technického díla v dynamicky proměnném okolí. Rozhodnutí, jak zmírnit a řídit rizika a jak implementovat opatření, reprezentuje klíčový krok v rámci řízení rizika.
4. Komunikace: projednání souboru opatření a činností s klíčovými aktéry procesu provozu technického díla a s ostatními zúčastněnými. Legislativa vyžaduje v důležitých otázkách komunikaci s veřejností, konzultace, odstranění konfliktů a stanovení partnerství.
5. Monitoring a poučení: sledování určených veličin a jejich hodnot, které charakterizují důsledky rozhodnutí a činností na technické dílo, a v případě zjištění významných odchylek, které mohou narušit dosažení cíle, aplikovat korekce.

Zvládání rizik v případě, že riziko není přijatelné, spočívá dle [2,5,6] ve výběru některé z dále uvedených alternativ:

- vyhnoutí se riziku, tj. nezahájit nebo nepokračovat v činnostech, které jsou zdrojem rizika, když to jde (lidská společnost se může bez technického díla obejít),
- odstranění zdrojů rizik, tj. zabránění vzniku pohrom, když to jde (zvolit alternativu technického díla, která bude mít méně zdrojů rizik, anebo menší rizika),
- snížení pravděpodobnosti výskytu rizika, tj. výskytu větších pohrom, když to jde (aplikace zásad kultury bezpečnosti),
- snížení závažnosti dopadů rizika, tj. příprava zmírňujících opatření jako jsou varovací systémy, systémy odezvy a obnovy,
- sdílení rizika, tj. rozdělení rizika mezi zúčastněné a pojišťovny,
- retence rizika.

Vyjednávání s riziky vychází ze současných možností lidské společnosti a spočívá dle [2,5,6] v rozdělení rizik do kategorií:

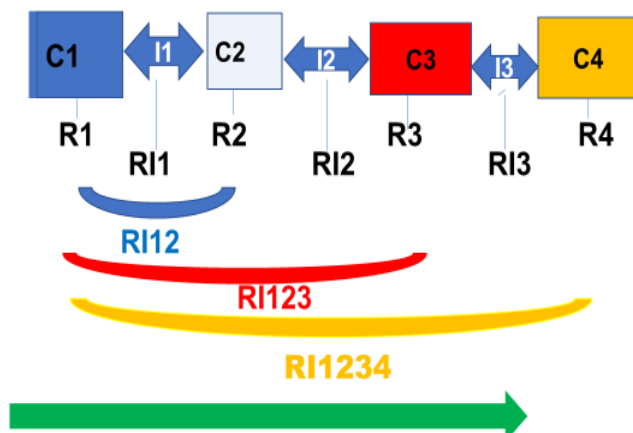
- část rizika se sníží, tj. preventivními opatřeními se odvrátí realizace rizika,
- část rizika se zmírní, tj. preventivními opatřeními a připraveností (varovné systémy a jiná opatření nouzového a krizového řízení) se sníží nebo odvrátí nepřijatelné dopady,
- část rizika se pojistí,
- část rizika, pro kterou se připraví rezervy na odezvu a obnovu,
- část rizika, která je neřiditelná nebo příliš nákladná nebo málo častá, pro kterou se připraví plán pro nepředvídané situace (Contingency plan).

K tomu se rovněž připojuje rozdělení zvládání rizik mezi všechny zúčastněné. Rozdělení ve správném řízení [5] se provádí tak, že se vychází z toho, že za zvládání rizik odpovídají všichni zúčastnění (od politiků přes pracovníky správy, vedení technických děl až po techniky a občany) a že zvládání konkrétního rizika se přiděluje tomu subjektu, který je na to nejlépe připraven. Při výběru opatření na zvládání rizik je třeba zajistit, aby náklady na zvládnutí rizik nepřevýšily možné škody vyvolané realizací rizika.

Z výše uvedeného vyplývá, že sestavování konceptu technického díla i při jeho umístění, projektování, zhotovení a provozu důležité jsou jak normy, tak řízení rizik ve prospěch bezpečnosti. Proto v souladu s poznáním jsou vytvořeny nástroje risk-based design [10] a risk-based operation [1], které propojují normy a výsledky řízení rizik.

5. PROJEKTOVÁNÍ TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ A DĚL ZALOŽENÉ NA ŘÍZENÍ RIZIK

Příklad propojení norem a řízení rizik při projektování je uveden na obrázku 2. Dle [15] Nejprve se sestaví pro dané technické dílo systém pro podporu rozhodování o rizicích jednotlivých komponent a jejich propojení, stanoví se stupnice pro hodnocení míry rizika – tabulka 1; a určí se postup budování projektu. Pak následuje:



Obr. 2. Schéma procesu projektování založeného na řízení rizik. Zelená šipka zobrazuje postup vytváření projektu.

- navržení komponent (C1, C2, C3, C4) a jejich propojení podle norem,
- podle scénářů pohrom se stanoví rizika komponent (R1, R2, R3, R4) a jejich propojení (RI1, RI2, RI3) a posoudí se dle tabulky 1 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení,
- podle DSS se určí riziko souboru propojení RI12 a posoudí se dle tabulky 1 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení,
- podle DSS se určí riziko souboru propojení RI123 a posoudí se dle tabulky 1 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení,
- podle DSS se určí riziko souboru propojení RI1234 a posoudí se dle tabulky 1 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení.

Tabulka 1. Hodnotová stupnice pro stanovení míry rizika.

Kategorie rizika	Hodnoty míry rizika v %
Extrémně vysoká – 5	Více než 95 %
Velmi vysoká – 4	70–95 %
Vysoká – 3	45–70 %
Střední – 2	25–45 %
Nízká – 1	5–25 %
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %

Podle zjištěných hodnot rizika se výsledky posouzení rizika řadí do tří skupin: riziko přijatelné – kategorie 0 a 1; riziko ALARA, tj. podmíněně přijatelné – kategorie 2 a 3; a riziko nepřijatelné – kategorie 4 a 5. Jeli riziko přijatelné, tak není třeba dělat žádné další opatření na zmírnění rizika. Je-li riziko ALARA, tak je třeba v projektu zabudovat technické prvky, které umožní odezvu v případě realizace rizika. V případě nepřijatelného rizika, je nutné provést korekce, např. v materiálu, konstrukci či způsobu propojení a znovu riziko posoudit.

Výsledky [10,15] ukazují, že u projektanta jsou velmi důležité kompetence pro: uplatňování výsledků metod analýzy a hodnocení rizik; provádění metodiky analýzy a hodnocení rizik přízpůsobených problému; řešení mimořádných situací a krizí; analýzu situací / činností / nehod; přeměnu politiky na skutečnou akci; přeměnu statistik nehod na akční plány; strategické plánování; stanovení hierarchie problémů; nalezení správných informací a poznatků; provádění kritických analýz; navrhování správných řešení; komunikaci; provádění syntézy a přizpůsobování znění určeného veřejnosti; a dodržování etiky. Při každém rozhodování ve prospěch bezpečnosti je třeba mít na paměti: všechny faktory a procesy, které mohou být nebezpečné a jak často se mohou vyskytnout; jak velké mohou být jejich dopady; jak lze snížit velikost dopadů nebo četnost výskytu; zda navrhovaná opatření nemohou být zdrojem nových nebezpečí; a kterými technickými a řídicími systémy lze ovládat ohrožení, kterým nelze zabránit.

A konečně je třeba poznamenat, že v souladu s výsledky v [6,10] je nezbytné, jaká je politická vůle vytvořit systém na ochranu před nepříjemnými dopady škodlivých jevů. Výzkum ukázal, že:

- každý projekt technického díla či zařízení má určitá nebezpečí. Umění projektanta spočívá v tom, že umí zvolit optimální řešení, tj. řešení dostatečně bezpečné a realizovatelné s ohledem na možnosti investora a veřejné správy,
- působivé a málo robustní konstrukce s nedostatečnými bezpečnostními rezervami často dříve nebo později selžou,
- chybně stanovené limity a podmínky pro kritické části technického díla či zařízení vedou k častým poruchám až k vážným nehodám; taková technická díla nejsou schopná reagovat na změny stavu.

Analýza dostupných právních předpisů [16] odhalila, že dle platných pravidel není vyžadováno sledovat bezpečnost procesů při provozu ve fázi projektování, což občas vede k problémům v provozu [1]. Další chybou legislativy je skutečnost, že nevyžaduje opatření na snížení rizik, která se vyskytnou při náhlé časové kombinaci řady škodlivých jevů. Podle posledních zkušeností je třeba do legislativy zavést povinnost na zvažování vyšších hodnot projektových pohrom, alespoň u objektů kritické infrastruktury.

6. PROVOZ TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ A DĚL ZALOŽENÝ NA ŘÍZENÍ RIZIK

Postup pro řízení rizik při provozu technického díla je popsán v práci [1] a jeho účinným nástrojem je plán řízení rizik. Plán řízení rizik se opírá o způsob řízení objektu TQM [8], tj. ve sledovaném objektu se zvažují prioritní rizika, která nebylo možno vypořádat, a při realizaci mají potenciál významně poškodit technické dílo. Samotný plán se zpracovává ve formě tabulky, která zvažuje rizika z oblastí:

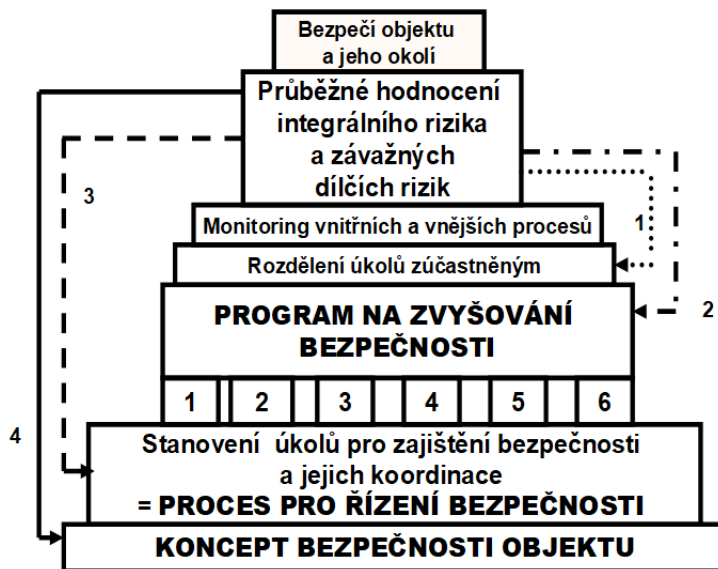
- řízení technického díla,
- vnitřní zdroje rizik technického díla spojené s jeho stavbou, konstrukcí, zařízeními a provozem,
- personál technického díla,
- vnější zdroje rizik technického díla spojené s živelními pohromami,
- vnější zdroje rizik technického díla spojené s chováním veřejné správy, konkurencí, trhem apod.,
- útoky na technické dílo,
- kybernetické zdroje rizik spojené se sítěmi,
- válka.

Pro každou oblast rizika se v tabulce uvádí:

- příčiny rizika,

- pravděpodobnost výskytu realizace rizika a očekávaná velikost dopadů rizika na chráněná aktiva (na základě požadavků legislativa je třeba zvažovat i základní veřejná aktiva),
- opatření na zvládnutí nebo alespoň zmírnění rizika, které jsou jasně stanoveny, a u každého z nich je uvedena odpovědnost za jejich provedení.

Plán řízení rizika doporučuje i norma ISO 31000. Příklad plánu je v pracích [1,10]. Pro sestavení plánu řízení rizik, který odpovídá nárokům řízení vyžadovaným TQM, je potřeba důkladně znát: pohromy, tj. zdroje rizik; místní zranitelnosti, které předurčují krutost (kritičnost, závažnost) kritických situací; a možnosti odezvy na kritické situace. Pro zajištění bezpečnosti je třeba neustále monitorovat velikost jak významných dílčích rizik, tak rizika integrálního. Postup řízení rizik je uveden na obrázku 3.



Obr. 2. Model řízení bezpečnosti komplexního kritického objektu v čase. Procesy: 1 - koncepce a řízení; 2 - administrativní postupy; 3 - technické záležitosti; 4 - vnější spolupráce; 5 - nouzová připravenost; a 6 - dokumentace a šetření havárií [6].

Systém řízení bezpečnosti objektu [6] je založen na monitoringu objektu a jeho okolí. Skládá se z šesti procesů: koncepce a řízení; administrativní postupy; technické záležitosti; vnější spolupráce; nouzová připravenost; a dokumentace a šetření havárií. Uvedené procesy se dále dělí na podprocesy:

1. První proces se skládá z podprocesů pro: celkovou koncepci; dosahování dílčích cílů bezpečnosti; vedení / správu bezpečnosti; systém řízení bezpečnosti; personál a zahrnuje úseky pro: řízení lidských zdrojů, výcvik a vzdělání, vnitřní komunikaci / informovanost a pracovní prostředí; revize a hodnocení plnění cílů v bezpečnosti.
2. Druhý proces se skládá z podprocesů pro: identifikaci ohrožení od možných pohrom a hodnocení rizika; dokumentaci postupů (včetně systémů pracovních povolení); řízení změn; bezpečnosti ve spojení s kontraktory; a dozor nad bezpečností výrobků.
3. Třetí proces zahrnuje podprocesy pro: výzkum a vývoj; projektování a montáže; inherentně bezpečnější procesy; technické standardy; skladování nebezpečných látek; a údržbu integrity a údržbu zařízení a objektů.

4. Čtvrtý proces obsahuje podprocesy pro: spolupráci se správními úřady; spolupráci s veřejností a dalšími zúčastněnými (včetně akademických pracovišť); a spolupráci s dalšími podniky.
5. Pátý proces obsahuje podprocesy pro: plánování vnitřní (on-site) připravenosti; usnadnění plánování vnější (off-site) připravenosti (za kterou odpovídá veřejná správa); a koordinaci činností resortních organizací při zajišťování nouzové připravenosti a při odezvě.
6. Šestý proces má podprocesy pro: zpracování zpráv o pohromách, haváriích, skoro nehodách a dalších poučných zkušenostech; vyšetřování škod, ztrát a újmy a jejich příčin; a odezvu a následné činnosti po pohromách (včetně aplikace poučení a sdílení informací).

V případě, že se monitoringem zjistí, že riziko je nepřijatelné, je třeba provést změny, jak naznačují zpětné vazby na obrázku 2. Protože změny vyžadují zdroje, síly a prostředky, tak na základě zajištění hospodárnosti se nejprve realizuje zpětná vazba 1, a teprve, když nepřinese žádoucí stav, tak se realizuje zpětná vazba 2; poté zpětná vazba 3, a když ani po ní není žádoucí výsledek, tak zpětná vazba 4. V případě výskytu extrémních jevů s katastrofickými dopady se přikračuje okamžitě k realizaci zpětné vazby 4.

Pro účinné řízení rizik při provozu musí být předem (na základě analýzy možných scénářů havárií a selhání objektů s ohledem na limity a podmínky) stanoveny opatření odezvy tak, aby se předešlo zpožděním a případným konfliktům při odezvě. Opatření musí být zajištěna po všech stránkách. Jasně musí být uvedeno, kdo odezvu zajistí a kdo za její provedení odpovídá.

Protože bylo ukázáno, že rizika jsou spojená i se samotnou prací s riziky [2], tak byl vypracován a v praxi otestován kontrolní seznam (tabulka 2) pro posuzování kritičnosti plánu řízení rizik; přičemž při posuzování jednotlivých položek byla použita stupnice:

0 bodu – naplnění kritéria má zanedbatelné nedostatky ve sledované oblasti (nižší než 5 %), tj. má zanedbatelnou kritičnost,

1 bod - naplnění kritéria má nízké nedostatky ve sledované oblasti (5-25 %), tj. má nízkou kritičnost,

2 body - naplnění kritéria má střední nedostatky ve sledované oblasti (25-45 %), tj. má střední kritičnost,

3 body - naplnění kritéria má vysoké nedostatky ve sledované oblasti (45-70 %), tj. má vysokou kritičnost,

4 body - naplnění kritéria má velmi vysoké nedostatky ve sledované oblasti (70-95 %), tj. má velmi vysokou kritičnost,

5 bodů - naplnění kritéria má extrémně vysoké nedostatky ve sledované oblasti (vyšší než 95 %), tj. má extrémně vysokou kritičnost.

Tabulka 2. Kontrolní seznam pro posuzování plánu řízení rizik.

Otázka	Hodnocení
Je plán pro zvládnutí rizik veden jasnou představou a sledovanými cíli?	
Uplatňuje se v plánu pro zvládnutí rizik princip celistvosti (tj. uvážení prosperity sociálního, ekologického a ekonomického subsystému; vyjádření nákladů a užitků; dopadů a přínosů ekonomické aktivity pomocí peněžních i nepeněžních hodnot)?	
Jsou v plánu pro zvládnutí rizik zváženy podstatné elementy (např. spravedlivá dělba využívání zdrojů mezi současnou generací a generacemi budoucími; nadměrná spotřeba a chudoba; lidská práva; ekologické poměry podmiňující život; prosperita umožněná ekonomickým rozvojem a mimotržními činnostmi)?	
Má plán pro zvládnutí rizik přiměřený rozsah (např. vhodné měřítko času a prostoru)?	
Je plán pro zvládnutí rizik prakticky zaměřen (např. explicitně definované kategorie, které spojují vytyčenou představu s indikátory a kritérii; omezený počet klíčových cílů; omezený počet	

indikátorů; standardizovaný způsob měření a porovnávání; referenční hodnoty indikátorů, prahové hodnoty, vývojové trendy)?	
Je plán pro zvládnutí rizik otevřený (např. všeobecně přijaté metody a databáze; explicitní věrohodnost, vyloučení nejistoty)?	
Je v plánu pro zvládnutí rizik zahrnuta efektivní komunikace v zájmové společnosti?	
Podílí se na plánu pro zvládnutí rizik široká veřejnost?	
Počítá se v plánu pro zvládnutí rizik s následným posuzováním (např. upřesňování postupných cílů vlivem vývoje systému)?	
Jsou v plánu pro zvládnutí rizik zabezpečeny kapacity institucí (např. určení odpovědnosti za dodržení cílů rozhodovacího procesu, sběr a uchovávání údajů, dokumentace)?	
CELKEM	

Stupnice pro celkovou kritičnost plánu řízení rizik se určuje analogicky k principům používaným od 80. let v normách ČSN. Výsledná míra kritičnosti za předpokladu, že všechna kritéria mají stejnou váhu, může nabýt hodnot 0 až 50; prahové hodnoty pro míru kritičnosti plánu pro řízení rizik, odpovídající použité stupnici jsou uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3. Hodnotová stupnice pro určení míry kritičnosti plánu pro řízení rizik.

Míra kritičnosti plánu pro řízení rizik	Hodnoty v %	Počet bodů pro všechna kritéria
Extrémně vysoká – 5	Více než 95 %	Více než 47.5
Velmi vysoká – 4	70 - 95 %	35 – 47.5
Vysoká – 3	45 - 70 %	22.5 – 35
Střední – 2	25 – 45 %	12.5 – 22.5
Nízká – 1	5 – 25 %	2.5 – 12.5
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %	Méně než 2.5

7. ZÁVĚR

Dodržování norem při projektování a provozu technických zařízení a technických děl zajistí, že nebudeme opakovat chyby našich předchůdců. Zajištění takto zajištěné bezpečnosti zvýší řízení rizik založené na monitoringu podmínek v dynamicky proměnném světě. Způsob řízení bezpečnosti (SMS) technického zařízení či technického díla se opírá o koncepci prevence pohrom či alespoň jejich závažných dopadů, která zahrnuje povinnost zavést a udržovat systém řízení, ve kterém jsou zohledněny dále uvedené problémy:

1. Role a odpovědnosti osob podílejících se na řízení závažných nebezpečí, která jsou spojená s možnými pohromami na všech organizačních úrovních kritického objektu a opatření na zajištění výcviku, která jsou sladěna s identifikovanými potřebami výcviku.
2. Plány pro systematické identifikování závažných nebezpečí spojených s možnými pohromami a z nich plynoucích rizik, která jsou spojena s normálními a abnormálními podmínkami, a pro hodnocení jejich pravděpodobnosti a krutosti (velikosti).
3. Plány a postupy pro zajištění bezpečnosti všech komponent, systémů a funkcí v kritickém objektu a v jeho okolí, a to včetně údržby objektů, zařízení.
4. Plány na implementaci změn v kritickém objektu a v objektech i zařízeních, které jsou v okolí.
5. Plány na identifikaci předvídatelných nouzových situací systematickou analýzou, včetně přípravy, testů a posuzování nouzových plánů pro odezvu na možné nouzové situace.

6. Plány pro průběžné hodnocení souladu s cíli uvedenými v koncepci bezpečnosti a zabudovanými v SMS, a účinné mechanismy pro vyšetřování a provádění korekčních činností v případě selhání s cílem dosáhnout stanovené cíle.
7. Plány na periodické systematické hodnocení koncepce bezpečnosti, účinnosti a vhodnosti SMS a kritéria pro posuzování úrovně bezpečnosti vrcholovým týmem pracovníků kritického objektu.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. doi:10.14311/BK.9788001066751.
- [2] PROCHÁZKOVÁ D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [3] <http://www.technické-normy-csn.cz>
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223 p.
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D. *Strategické řízení bezpečnosti území a organizace*. ISBN 978-80-01-04844-3. Praha: ČVUT 2011, 483 p.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN 78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [7] ZAIRI, M. *Total Quality Management for Engineers*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1991.
- [8] NENADÁL, J. *TQM. Role ekonomiky jakosti v koncepci TQM*. 1999, www: <http://fmimi10.vsb.cz/639/qmag/mj03-cz.htm>.
- [9] PROCHÁZKA, T. *Spolupráce veřejného a soukromého sektoru. Diplomová práce*. Praha: VŠFS 2008, 107 p.
- [10] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., BERAN, V., ŠINDLEROVÁ, V. *Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu*. ISBN 978-80-01-06609. Praha: ČVUT 2019, 207 p. <http://hdl.handle.net/10467/8446634>
- [11] PROCHÁZKOVÁ, D. *Ochrana osob a majetku*. ISBN 978-80-01-04843-6. Praha: ČVUT 2011, 301p.
- [12] ANDERSON, R. *Security Engineering- A Guide to Building Dependable Distributed Systems*. ISBN 978-0-470-068552-6. J. Willey, 2008, 1001 p.
- [13] ROLAND, H. E., MORIARITY, B. *System Safety Engineering and Management*. ISBN 0-471-6186-0. J. Willey, 1990, 321 p.
- [14] IAEA. *Safety Guides and Technical Documents*. Vienna : IAEA 1954 – 2019.
- [15] PROCHÁZKOVÁ, D. Risk-based Design of Technical facilities. In: *JUFOS 2021*. ISBN 978-80-214-5963-2. Brno: VUT 2021, pp. 40-51.
- [16] ČVUT. *Databáze pohrom, havárií a selhání technických děl, jejich příčin, poučení a opatření odezvy*. Praha: CVUT 2021.

Poděkování: Autorka děkuje podpoře z projektu RIRIZIBE CZ.02.2.69/0.0/0.0/16-018/00026 49.

STUDIE

IDENTIFIKACE, ANALÝZA A ŘÍZENÍ RIZIK PAROGENERÁRU V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ TEMELÍN

IDENTIFICATION, ANALYSIS AND RISK MANAGEMENT OF A STEAM GENERATOR IN THE TEMELIN NUCLEAR POWER PLANT

Jan Jiroušek

*Státní úřad pro jadernou bezpečnost, lokální pracoviště elektrárny Temelín, 373 05 Temelín-
elektrárna, Česká republika, jan.jirousek@sujb.cz*

Abstrakt: Článek rozebírá rizika spojená s provozem parogenerátoru VVER-1000 pro dochlazování bloku na jaderné elektrárně Temelín při dlouhodobém výpadku nouzového elektrického napájení. V textu jsou rozebrány podmínky provozu a hlavní hrozby pro vykonávání kritické bezpečnostní funkce komponenty. Součástí je i návrh technickoorganizačních opatření vedoucí ke zvýšení resilience bloku, maximální prodloužení provozuschopnosti parogenerátoru a tím i minimalizaci dopadů na kritickou i územní infrastrukturu.

Klíčová slova: Jaderná elektrárna, VVER, rizika, úplný výpadek napájení, feed & bleed, parogenerátor, austenitická ocel, chloridy, sírany, korozní praskání.

Abstract: The article analyses the risks associated with the operation of the WWER-1000 steam-generator for cooling-down Unit on Nuclear Power Plant Temelín during a long-term Station Black-Out. The text is disassembled conditions of operation and the main threats for performing the critical safety function of the component are. It also includes a proposal for technical and organizational measures to increase the resiliency of the block, maximally extend the operability of the steam generator and thus minimize the impact on critical and territorial infrastructure.

Key words: Nuclear power plant, WWER, risks, station black-out, feed & bleed, steam generator, austenitic steel, chlorides, sulphates, stress corrosion cracking.

1. ÚVOD

Účelem je podat souhrnnou informaci o současném stavu řízení rizik dlouhodobého výpadku elektrického napájení bezpečnostních systémů jaderné elektrárny (*zkratka JE*). Dále definovat chráněná aktiva. Stanovit kritické bezpečnostní funkce, a popsat současné způsoby jejich zajištění. Zhodnotit citlivost systémů a zařízení vykonávajících kritické bezpečnostní funkce. U nevypořádaných rizik doplnit plán nouzové odezvy primárně zaměřený na zachování celistvosti komponent zajišťujících v daných podmínkách kritické funkce (parogenerátory). V další řadě i na zařízení a postupy zajišťující zdroje pro výkon kritických funkcí. Konečným výsledkem má být podložený návrh zvýšení resilience objektu kritické infrastruktury, jaderná elektrárna Temelín, zohledňující poslední doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii [1] i dobrou praxi v dalších oblastech kritické infrastruktury [2,3].

Předkládaná seminární práce z předmětu bezpečnostní analýza vychází z řady dokumentů zpracovaných pro a posléze i držitelem povolení, ČEZ, a. s., sídlem Duhová 1444/2, Michle, 140 00. V některých případech je text proti zdroji zjednodušen a upraven, především pokud se týká předpisů a norem podle, kterých byla jaderná elektrárna Temelín navrhována a provozována. Podobně jsou poupraveny popisy a obrazové přílohy.

2. SOUHRN POZNATKŮ O ŘEŠENÉM PROBLÉMU

Kritická infrastruktura v legislativě ČR je definována v tzv. krizovém zákoně [3] a nařízení vlády [4] k §28 zákona č. 240/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Kritickou infrastrukturou se dle [3,4] rozumí systém prvků kritické infrastruktury, jehož narušení funkce by mělo závažný dopad na bezpečnost státu, zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva, zdraví osob nebo ekonomiku státu. Prvkem kritické infrastruktury je dle §2 písmene i) zejména stavba, zařízení, prostředek nebo veřejná infrastruktura, určené podle průřezových a odvětvových kritérií; je-li prvek kritické infrastruktury součástí evropské kritické infrastruktury, považuje se za prvek evropské kritické infrastruktury. Mezi prvky kritické infrastruktury patří energetika, vodní hospodářství, potravinářství a zemědělství, zdravotnictví, doprava, komunikační a informační systémy, finanční trh a měna, nouzové služby a veřejná správa [3].

Pro bezpečí lidí, životního prostředí i státu je nutné pro návrhovou fázi technického díla zadávací podmínky, při kterých je dostatečně malá pravděpodobnost vzniku škody při provozu technického díla. Prakticky se ve fázi umístování hodnotí nejvýznamnější územní charakteristiky, s cílem maximálního zajištění proti nejdůležitější vnějším pohromám. Ve fázi návrhu se projektant konstruuje dílo tak, aby neohrozilo své okolí, ale především sebe, a to ani při svých kritických podmínkách [2]. Podle svého významu je objekt kritické infrastruktury i za provozu opakovaně hodnocen, zkoumán za účelem dosažení trvalé shody se zadávacími podmínkami a dobrou praxí [2].

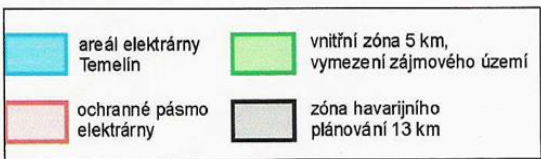
2.1. Definice chráněných aktiv, umístění objektu kritické infrastruktury

Jaderná elektrárna Temelín leží cca 25 km severně od Českých Budějovic. Blíže je stanoviště objektu kritické infrastruktury, jaderné elektrárny (*dále jen JE*) Temelín je vymezeno katastry obcí Temelín, Březí a osadami Křtěnov a Temelínec [5]. Elektrárna je vzdálena cca 45-50 km od státních hranic s Rakouskem a se SRN.

Stanoviště jaderné elektrárny, která je objektem nejen české, ale i evropské kritické infrastruktury, se nachází v pahorkatině v nadmořské výšce 510 m n.m. Do vzdálenosti 10 km od lokality se nevyskytují žádné výrazné výškové body. Severozápadně se rozprostírá rozsáhlý komplex lesů. I k elektrárně přilehlé území na obou březích přehradní nádrže Hněvkovice na řece Vltavě (cca 5 km východně) od lokality, je převážně zalesněno. Jižním, jihozápadním i západním směrem má krajina výrazně antropogenní charakter s výrazně převažujícím zemědělstvím, smíšeným s rybníkářstvím a částečně lesním hospodářstvím. Umístění a orientace hlavních objektů JE ukazuje obrázek 1 - výřez z mapy [5].

2.2. Popis dominantního vnitřního zdroje ohrožení

Představují palivové soubory, neboť 99 % radioaktivního inventáře elektrárny je obsaženo v palivu. I hlavním zdrojem plyných štěpných produktů je palivo v aktivní zóně reaktoru. Tu tvoří 163 palivových kazet a 61 regulačních orgánů uspořádaných v šestiúhelníkovém poli. Celková hmotnost vsázky paliva je cca 92 t. Jelikož aktivní zóna reaktoru VVER 1000 obsahuje 163 palivových souborů a firma TVEL event. Westinghouse, dodává palivo na čtyřletou, resp. šestiletou kampaň, vymění se při každé odstávce 42 palivových souborů [5]. Vyhořelé nebo nehermetické palivo je po vyjmutí z reaktoru uloženo do bazénů skladování vyhořelého paliva, které jsou uvnitř kontejneru v blízkosti reaktoru.



Ochranné pásmo, zóny havarijního plánování
 JE Temelín
 Příloha 2.1/5

Obr. 1. Širší dispozice objektu kritické infrastruktury [5].

Roztok kyseliny borité v bazénech zajišťuje především udržování podkritičnosti, dále odvod zbytkového tepla z palivových souborů a biologické stínění obsluhy. Teprve po uplynutí cca 10 let a poklesu zbytkového výkonu i aktivity je palivo uloženo do hermetických stíněných kontejnerů a dočasně uloženo do meziskladu vyhořelého paliva v areálu elektrárny Temelín [5].

Hlavním zdrojem ohrožení je palivo v aktivní zóně. Komplikaci představuje především veliký zbytkový výkon po přerušení štěpné reakce. I při normálním provozu kdy je teplo odváděné provozními systémy se teplota na povrchu palivových trubek blíží 600 °C. Za takové teploty se množství štěpných produktů nachází v plynné fázi. Šíření štěpných produktů do primárního okruhu, však brání hermetické pokrytí ze slitiny zirkonia. Proto je i většina ochranných opatření zaměřena právě na zachování této bariéry. Dalším důvodem je vyloučení zahájení exotermní vysokoteplotní oxidace zirkoniového pokrytí v páře vzniklé z chladiva. Její počátek je indikován dosažením teploty paroplynové směsi 650 °C na výstupu z aktivní zóny (*dále AZ*). Do bouřlivého propuknutí Zr-reakcí při teplotě cca 1200 °C je ještě AZ uchladitelná bez velkého poškození paliva (kromě jeho fragmentace). Jakmile teplota přesáhne 1200 °C, tak Zr-reakce generují obrovské množství tepla, čímž se AZ stává dočasně prakticky neuchladitelnou a poškození paliva je neodvratné. Při teplotách nad 1200 °C je v důsledku oxidace pokrytí nárůst teploty AZ exponenciální [6,7]. Přitom dochází ke neodvratné ztrátě geometrie aktivní zóny, tavení a jejímu propadnutí na dno šachty, posléze i dno reaktorové nádoby. Z uvedeného vychází i vstupní podmínka přechodu do předpisu pro těžké havárie. Při 1200 °C na pokrytí je poslední šance uchazení AZ dle strategií podle předpisu pro nouzové provozní stavy. Kdy podle [6] při 650 °C na výstupu z AZ je cca 10 minut na úspěšnou obnovu chlazení AZ, jinak následuje vstup do Severe Accident Management Guides (SAMGs) [6,7].

2.3. Popis chráněných aktiv

V souvislosti se zajištěním přežití lidí při kritických situacích se ve vyspělých zemích zpracovávají plány kontinuity [2,8]. Pojem kontinuita se obecně chápe, jako pokračování či propojení funkcí, opatření, činností v prostoru a čase, tj. jako nepřetržitá činnost v prostoru a ve sledovaném pojetí. Kontinuita činností / funkcí / procesů entit chápaných jako systém je dvojího druhu:

- kontinuita spjatá s pružnou odolností systému (v rámci odchylky se naruší funkce, ale dá se použít záložní systém),
- kontinuita zajištěná obnovou funkce po jejím přerušení pohromou. Kontinuita je výsledkem pokračování po přerušení pohromou (Resumption), tj. obnovy funkčnosti (Restoration) nebo opravy entity (Recovery).

Dle [2,8] kontinuitu podnikání definována jako „Kontinuita podnikání je holisticky orientovaná činnost identifikující potenciální ohrožení organizace a vytvářející rámec pro budování odolnosti a schopnosti účinné odezvy organizace, která ochraňuje zájmy klíčových skupin, pověst a značku podniku a činnosti vytvářející hodnoty“. Od r. 2005 proto Evropská unie požaduje, aby veřejná správa soustředila pozornost na plánování kontinuity. V praxi se používá několik druhů plánů kontinuity, které mají různou působnost a rozsah, a to plán kontinuity činností provozu, plán kontinuity podnikání, plán obnovy po pohromách, plán pro opětovné zahájení podnikání, plán pro krizovou komunikaci, nouzový plán pro uživatele (obyvatele, zaměstnance). Plán kontinuity kritické infrastruktury zpracovává veřejná správa pro zajištění základních funkcí v území i vlastník podniku či infrastruktury či technologie, aby si zajistil obživu a zisk [2,8].

Zatímco cílem plánování kontinuity ze strany vlastníka kritických infrastruktur (tj. objektů nebo sítí) je udržet dobré postavení podniku v hospodářské soutěži, tak cílem plánování kontinuity

ze strany veřejné správy je dohled nad zajištěním plynulosti poskytování veřejných služeb (energie, telekomunikace, zdravotní péče apod.) v území, a to i při snížené výkonnosti objektů či sítí kritické infrastruktury. Proto oba subjekty musí aktivně spolupracovat na vytvoření plánu kontinuity území.

Z filozofie řízení bezpečnosti území vyplývá, že úkoly při odezvě na selhání životně důležité infrastruktury vždy má i veřejná správa, protože odpovídá za bezpečnost území. Proto veřejná správa má v řadě vyspělých zemí nástroj, kterým je plán kontinuity území, který je vnímán především jako podpora sociálního procesu a teprve na druhém místě jako podpora ekonomického procesu. Ve strategických hodnoceních se oceňuje jejich přínos pro přežití lidí, pro zabránění panice a chaosu.

V dalším rozboru se zaměříme pouze na část plánů kontinuity. Bude to plány kontinuity kritické infrastruktury. Ochránit území má smysl s ohledem ke dvěma hlavním záměrům, zachování obyvatelnosti a zachování obslužnosti v druhé úrovni. Zachování obyvatelnosti s ohledem na možnost úniku radioaktivního inventáře aktivní zóny bude jednoznačně zaměřeno na zachování bariér šíření štěpných produktů vně ale i uvnitř jaderné elektrárny. Protože celistvost bariér je podmíněna i dodávkou chladiva a energie musí být mezi chráněná aktiva zahrnuty provozních, záložních, havarijních i DEC (Design Extended Conditions) zdrojů chladiv a energií. Z hlediska kontinuity území bude stěžejní ochrana vážnou poruchou nezasaženého bloku a servisní infrastruktury a dále ochrana stávající civilní infrastruktury. Další objekty kritické infrastruktury v okolí JE Temelín jsou vyznačeny na obrázku 2.

Jedná se v první řadě distribuční infrastrukturu velmi vysokého napětí hladin 400 a 110 kV propojenou v rozvodně Kočín, vybudované pro potřeby jaderné elektrárny Temelín [5]. Z hlediska dalších úvah tento systém systémů nebude uvažován, neboť jeho úplné vyřazení představuje východisko dalších rozborů. Další významnou strukturu představuje vodohospodářské zázemí jaderné elektrárny na Vltavě. Další, dosud nehodnocenou z hlediska rozsáhlého výpadku elektrické sítě, energetickou strukturou jsou tři větve tranzitního plynovodu provozovaného firmou NET4GAS.

Z hlediska dlouhodobého výpadku má prvořadý význam má soustava vodního díla Hněvkovice vybudovaného pro jímání technologické vody pro elektrárnu. Kromě toho zajišťuje i ochranu proti povodním, lodní dopravu, a energetické využití sanačního průtoku Vltavou [5,9]. Dalším vodním dílem sloužícím jaderné elektrárně je vodní dílo Kořensko. Jeho hlavní význam pro jadernou elektrárnu spočívá v řízeném a monitorovaném uvolňování kapalných odpadů do recipientu. Druhotné funkce představuje zajišťování vodní dopravy, energetické využití sanačního průtoku Vltavy po spojení s Lužnicí [5,10].

Další struktury tvoří silniční a železniční komunikace, kterými se v dalších rozbořech nebudeme zabývat, neboť postulovaná událost by na jejich funkci neměla mít významnější vliv.

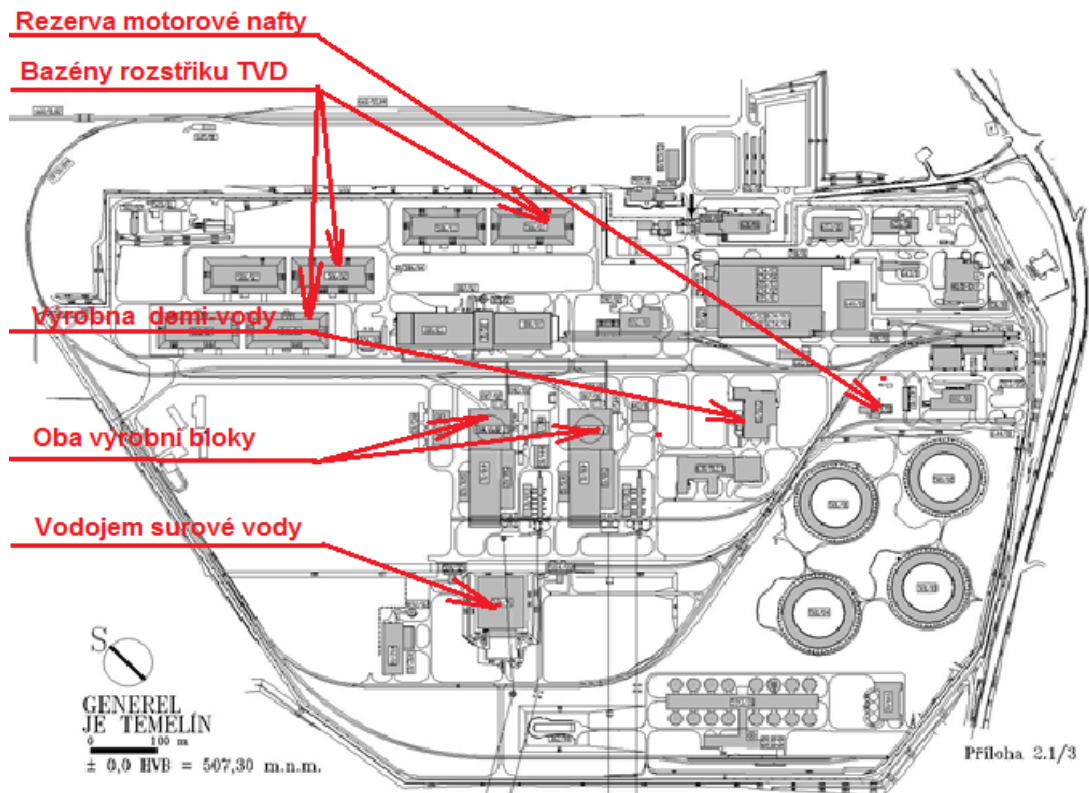
Ochrana obyvatelstva nebude v práci pojednávána, neboť bude zajištěna na základě již existujících havarijních a evakuačních plánů jejichž realizace v čase předcházejí všem dále popisovaným fenoménům [6,11].

2.3.1. Popis vnitřní struktury objektu JE Temelín

Jaderná elektrárna je tvořena 2 jadernými bloky z nichž každý má výkon 3100 MWt (1090 MWe); obrázek 3. Je umístěna v jižních Čechách asi 25 km severně od Českých Budějovic. Nejbližším městem je Týn nad Vltavou (obrázek 2) ležící 5 km severovýchodně od elektrárny [5].



Obr. 2. Dispozice dalších prvků kritické infrastruktury v okolí JE Temelín [5].



Obr. 3. Celková dispozice JE Temelín [5].

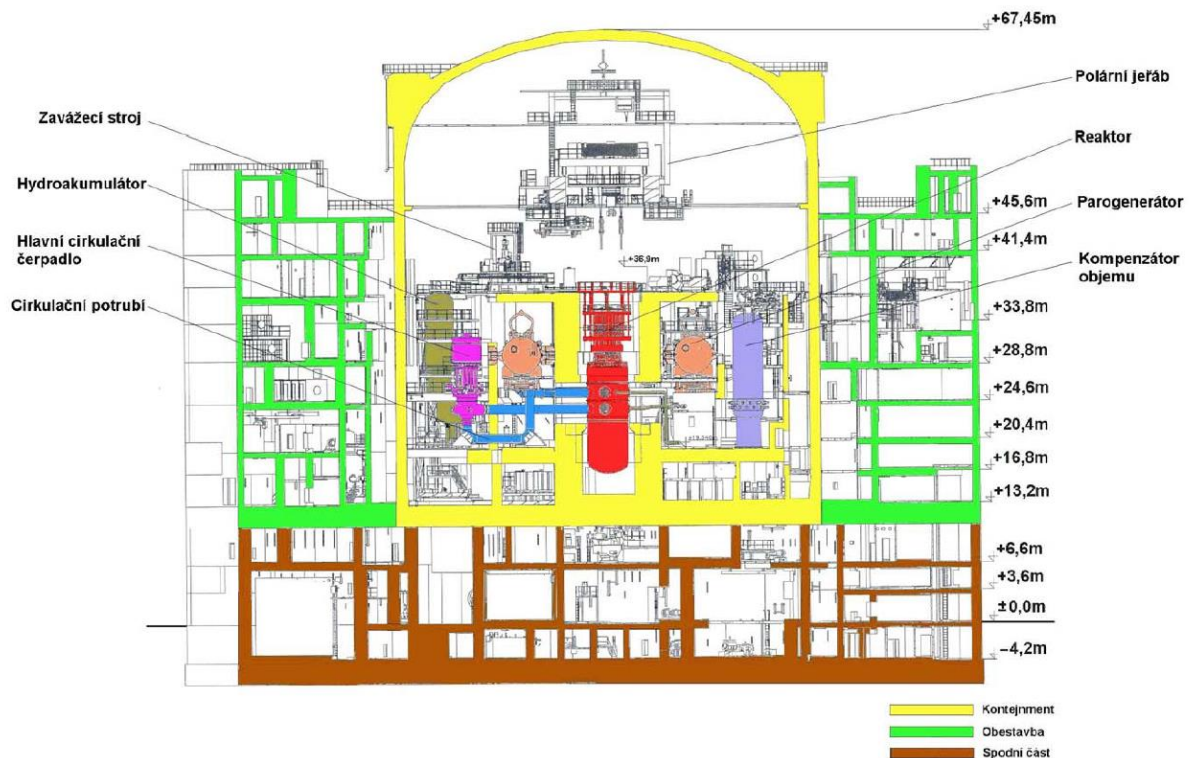
V roce 1980 federální vláda úrovní rozhodla o výstavbě čtyř bloků jaderné elektrárny s reaktory typu VVER-1000, typ 320 v lokalitě Temelín [5]. A po 2 letech byla s bývalým SSSR uzavřena smlouva o dodávce technického projektu. Projekt zahrnoval hlavní výrobní blok (obálku a obestavbu), budovu pomocných provozů a zodolněné budovy (bunkry) diesel-generátorových stanic. Ostatní části JE byly v souladu s mezistátní smlouvou projektovány československou stranou. Převzetí úvodního projektu prvního a druhého bloku jaderné elektrárny Temelín dokončil Energoprojekt Praha v roce 1985. Ve stejném roce bylo vydáno územní rozhodnutí. V listopadu 1986 bylo vydáno stavební povolení. Vlastní výstavba byla zahájena v únoru 1987. Po roce 1989 došlo k přehodnocení potřeby 4000 MWe instalovaného výkonu a současně probíhalo nové hodnocení projektu z pohledu bezpečnosti. V březnu 1993 se česká vláda znovu zabývala výstavbou JE Temelín a její dostavbu definitivně schválila a rozhodla, že z původně plánovaných čtyř bloků JE se dokončí pouze bloky dva.

Výstavba elektrárny byla zahájena v roce 1987 podle projektové dokumentace sériového bloku VVER-1000 z roku 1984. V porovnání s předchozím typem VVER-440 je koncepce bloku VVER-1000 mnohem bližší standardům obvyklým u tlakovodních reaktorů západní provenience. Byl uplatněn koncept ochrany do hloubky zajišťující jadernou bezpečnost pomocí vícenásobné bariéry proti úniku radioaktivních látek. Dále byla v ČSSR prvně použita hermetická ochranná obálka (kontejnmentu). Aktivní systémy splňovaly požadavky podle konceptu redundance bezpečnostních systémů 3 x 100 % požadovaného výkonu [12].

2.3.1.1. Popis technologických systémů

Zařízení primárního okruhu je umístěno v hermetické ochranné obálce (kontejnmentu), z předpjatého betonu. Ochranná obálka se skládá z válcové konstrukce z předpjatého betonu o

vnitřním průměru 45 m, uzavřené polokulovým vrchlíkem. Kontejnment (obrázek 4) tvoří jednu z bezpečnostních bariér JE, a to jak ve vztahu k životnímu prostředí, tak ve vztahu k technologickým zařízením. Tvoří hranici hermetické zóny.

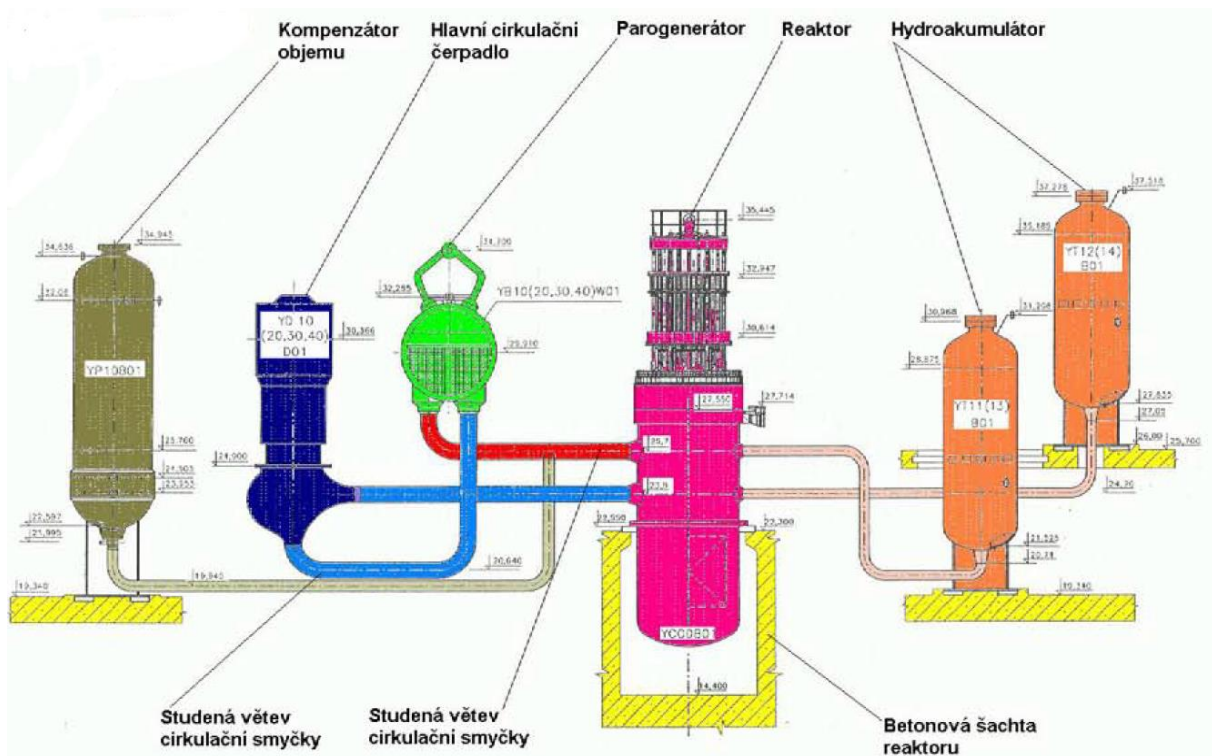


Obr. 4. Dispozice hlavních zařízení v budově reaktoru [13].

V kontejnmentu jsou umístěny nejdůležitější části jaderné elektrárny-celý primární okruh a další bezpečnostní a pomocná zařízení. Kontejnment JE Temelín je navržen a postaven v souladu s příslušnými předpisy z hlediska pevnosti a těsnosti. Mohutná železobetonová konstrukce kontejnmentu je stavba vysoká 56 metrů. Skládá se z válce a kulového vrchlíku. Stěny válce jsou silné 1,2 metru, konstrukce kopule je o deset centimetru slabší. Vnitřní průměr kontejnmentu je 45 metrů. Vnitřní povrch ochranné obálky je pokryt hermeticky těsnou ocelovou vystýlkou. Ochranná obálka je navržena na výpočtový tlak 0,49 MPa a výpočtovou teplotu 150 °C [5,12].

Jaderná elektrárna sestává ze dvou monobloků s tlakovodními energetickými reaktory VVER-1000 sériového provedení typu V 320 provozovaných v režimu základního zatížení i v režimu regulace frekvence. Zařízení na výrobu páry bloku JE Temelín tvoří heterogenní tlakovodní energetický reaktor VVER 1000, typu V 320 o nominálním tepelném výkonu 3100 MWt. Aktivní zóna reaktoru o průměru 3,16 m a výšce 3,53 m je umístěna ve válcové reaktorové nádobě vysoké 10,9 m o vnějším průměru 4,5 m. Celková hmotnost paliva je 92 tun. Tlaková nádoba reaktoru a primární okruh jsou navrženy pro tlak 17,6 MPa při teplotě 350 °C (provozní tlak je 15,7 MPa při teplotách chladiva před a za AZ 290 / 320⁰ C); obrázek 5 [5].

Aktivní zóna reaktoru je chlazená a moderována vodou primárního okruhu, která je čerpána přes aktivní zónu 4 hlavními cirkulačními čerpadly. Teplo předané při průchodu aktivní zónou z chladiva je v 4 parogenerátorech odebíráno přes teplosměnné trubičky vodou sekundárního okruhu. Tlak zabraňující varu vody v primárním okruhu je udržován kompenzátorem objemu [5].



Obr. 5. Hlavní zařízení primárního okruhu uvnitř kontejneru [13].

Jak bylo shora uvedeno, primární okruh elektrárny je tvořen čtyřmi chladicími smyčkami. Ve 4 parních generátorech se teplem odebraném chladivu primárního okruhu vyrábí pára o tlaku 6,3 MPa a teplotě 278,5 °C. Tato pára pohání parní turbínu o výkonu aktuálně 1090 MWe. Část kondenzačního tepla páry odebrané z turbíny se využívá pro ohřev horké vody pro dodávky tepla mimo objekt elektrárny [5,14]. Od doby výstavby je teplo dodáváno do Týna nad Vltavou a od sezóny 2022 by měl horkovod zajišťovat dodávky tepla i do Českých Budějovic.

Koncepce bezpečnostních systémů

Pro zajištění spolehlivosti bezpečnostních systémů je u aktivních systémů bloku JE použita zásada zálohování 3×100 % (1+1+1) tj. jeden aktivní systém je schopen plnit požadovanou funkci, druhý je v rezervě a třetí může být nefunkční z důvodů poruchy [12,13]. Každá ze tří divizí zajišťuje všechny důležité ochranné funkce. Zahrnuje v sobě jak řídicí systémy, tak i výkonné a podpůrné systémy. U pasivních systémů (např. ochranná obálka, pasivní systém havarijního chlazení AZ apod.) není tato zásada dodržena, neboť pasivní systémy jsou obecně spolehlivější než aktivní, protože ke své funkci nevyžadují zdroj energie a obsahují buď žádné, nebo jen velmi málo jednoduchých pohyblivých prvků a jsou řešeny na jiném principu (např. ochranná obálka je společná pro všechny divize, pasivní systém chlazení AZ má redundanci 2×100 %) [5,12].

Bezpečnostně důležitá zařízení na primárním okruhu [13] jsou:

- systémy vysokotlakého chlazení aktivní zóny,
- systémy nízkotlakého chlazení aktivní zóny,
- systém vysokotlakého doplňování primárního okruhu,
- sprechová čerpadla pro potlačení tlaku uvnitř obálky, včetně nádrží havarijní zásoby kyseliny borité, hydrazinu a hydroxidu draselného.

Bezpečnostně důležitá zařízení na sekundárním okruhu [14] jsou:

- parogenerátory,
- přepouštěcí stanice do atmosféry,
- pomocné elektrické napáječky,
- napájecí nádrž s odplyňovákou.

2.3.1.2. Popis systémů dodávky elektrické energie

Základní elektrické schéma JE Temelín je řešeno v zásadě blokově. Vyvedení elektrického výkonu je pro každý blok provedeno linkou 400 kV do nedaleké rozvodny R 400 kV Kočín. Tato má v části, do které jsou zaústěny bloky ETE, odolné uspořádání 4/3 vypínače na odbočku, které zabraňuje šíření poruch. Rozvodna Kočín je pěti linkami přenosové soustavy 400 kV přímo spojena s rozvodnami Dasný, Přeštice, Řeporyje a Chodov, což zaručuje velkou spolehlivost vyvedení výkonu [5]. Jako pracovní zdroje slouží dva odbočkové třívintuřové transformátory 1BT1 a 1BT2. Tyto transformátory jsou napájeny z generátoru a/nebo přes blokový transformátor z T 400 kV Kočín.

Rezervní napájení ETE zajišťuje R 110 kV Kočín, která je spojena s R 400 kV Kočín dvěma autotransformátory. Dále je R 110 kV Kočín připojena do R 110 kV Dasný (v této rozvodně jsou také dva autotransformátory 400/110 kV). Z této rozvodny je rovněž napájena čerpací stanice surové vody Hněvkovice a distribuční síť EoN. Zdrojem rezervního napájení jsou dva třívintuřové transformátory.

V případě ztráty pracovního i rezervního napájení jsou důležité systémy napájeny z nouzových zdrojů. Pro napájení bezpečnostních systémů slouží tři redundantní nezávislé systémy zajištěného napájení-SZN 1, SZN 2 a SZN 3. Každý z těchto SZN má vlastní zdroj nouzového napájení-diesलगenerátor pro 1. blok 1GV, 1GW a 1GX. Ostatní důležité spotřebiče primárního i sekundárního okruhu jsou připojeny na SZN 5. Tento je možné napájet z diesलगenerátorů 7 GJ a/nebo 7GK, které jsou pro oba bloky společné.

Z hlediska požadavků bezpečnosti se jedná o zařazení spotřebičů do skupin důležitosti (skupiny I, II, III/I, III/II, III) a o jejich přiřazení k určitému SZN. Všechny zdroje jsou dimenzovány tak, aby pokryly požadované výkony při normálním a abnormálním provozu i při havarijních podmínkách.

Kromě těchto nouzových zdrojů bylo elektrické napájení posíleno po roce 2011 v souladu s [1] byly po roce 2011 instalovány 2 stabilní tzv. „SBO diesलगenerátory“ po 1,6 MWe, které jsou schopné napájet jak čerpadla havarijního napájení TX, tak zároveň cirkulační čerpadlo technické vody důležité, sloužící odvodu reziduálního výkonu do bazénů rozstřiku. Kromě „Stabilních SBO DGS“ je k dispozici 6 mobilních diesलगenerátorů po 50 kWe schopných s dostatečnou rezervou napájet systémy řízení a monitorování, dále elektrická čerpadla TB 50 pro omezené „Feed & Bleed“ aktivní zóny a doplňování bazénů vyhořelého paliva [6].

Napájení vlastní spotřeby každého bloku je tedy zajišťováno:

- pracovními zdroji,
- rezervními zdroji,
- nouzovými zdroji; obrázek 6 ukazuje jeden ze šesti nouzových divizních diesलगenerátorů 6,3 MWe,
- 2 stabilními SBO diesलगenerátory, obrázek 7 ukazuje jeden z nich 1,6 MWe,
- SBO mobilními zdroji elektrické energie.



Obr. 6. Jeden z jeden ze šesti nouzových divizních diesel-generátorů 6,3 MWe.



Obr. 7. Jeden ze dvou stabilních diesel-generátorů.

2.3.1.3. Popis systémů dodávky vody do jaderné elektrárny

Se samotnou jadernou elektrárnou funkčně úzce souvisí i další infrastruktura v okolí [3,5]. Na prvním místě to je Vodní dílo Hněvkovice [3,5,9]; obrázek 8. Vzniklo jako přehradní nádrž celoročně zajišťující dodávku povrchové vody pro elektrárnu původní kapacitou dostačující pro 4 bloky VVER-1000, model 320 [3,5]. Vodní dílo Hněvkovice ačkoli se na pohled jeví jako celek, ve skutečnosti je rozdělen na 3 části. Tyto části zajišťují různé funkce a je i fakticky rozčleněn mezi 3 právní subjekty [9]. Jde o přehradní nádrž se vzduším 27 m pro akumulaci vody, dále vodní zdymadlo slouží pro osobní a nákladní dopravu loděmi do 300t a zároveň ochrana proti povodni Týnu nad Vltavou [9]. Tuto činnost zajišťuje Povodí Vltavy, s. p. , ředitelství Horní Vltava v Českých Budějovicích. Dále je v hrázní zdi zabudována vodní elektrárna se 2 soustrojími. Ta podle výšky hladiny vyrábí 2,2 - 4,8 MWe [9]. Vodní elektrárna pracuje v polo-špičkovém režimu využívá potenciál sanačního průtoku řekou. Provoz je řízen dispečersky z centrály na vodním díle Štěchovice. Provozovatelem je ČEZ, a. s., Obnovitelné zdroje [9]. A konečně čerpací stanici surové vody pro JE Temelín, kterou z místa provozuje ČEZ, a. s., Divize výroba [5].

Z hlediska kontinuity infrastruktury je hlavním objektem čerpací stanice surové vody na levém břehu Vltavy. Čerpací stanice má personální vstupy na kótě +377,00 m a je jediným zdrojem surové vody pro elektrárnu. Zde sloužící výrobě napájecí vody pro primární i sekundární okruh, tak i výrobě chladících vod. Elektrické napájení čerpací stanice je zajištěno zdvojeným vedením R110 kV z rozvodny Kočín [5].



Obr. 8. Vodní dílo Hněvkovice v kontextu JE Temelín; vlevo čerpací stanice surové vody, vpravo dole zdi zdymadla [15].

2.3.1.4. Uvolňování kapalných radioaktivních odpadů do recipientu

Dalším vodním dílem sloužícím jaderné elektrárně je vodní dílo Kořensko se vzdušným hladinám 2,0-6,2 m. Jeho hlavní význam pro jadernou elektrárnu spočívá v řízeném a monitorovaném uvolňování kapalných odpadů do recipientu. Druhotné funkce představuje zajišťování vodní dopravy, energetické využití sanačního průtoku Vltavy po spojení s Lužnicí [5,10] na obrázku 9. Výrobu v malé vodní elektrárně zajišťují dvě horizontální Kaplanovy turbíny 2x1,9 MWe a energetické využití vodních výpustí jaderné elektrárny na malé vodní elektrárně (špičkově 0,8 MWe). Vodní dílo je připojeno na lokální síť vysokého napětí 22kV [5,10] provozovanou firmou EoN.



Obr. 9. Pohled na hydraulicky stavitelné tabule jezu vodního díla Kořensko, ze stěny zdymadla.

2.3.1.5. Energetická síť pro záložní zdroj tepla jaderné elektrárny Temelín

Záložní kotelná jaderné elektrárny Temelín s 5 plynovými kotli je připojena vlastní vysokotlakou přípojkou na tranzitní plynovod. Tento je v nejbližším místě vzdálen 900 m od perimetru jaderné elektrárny Temelín. Jeho 3 potrubní trasy DN 1400, DN 1000 a DN 800 prochází severo-východo-severně od jaderné elektrárny Temelín, v minimální vzdálenosti 900 m od výrobního bloku jak je zachycen na výřezu z mapy obrázek 2 [5].

2.4. Popis chráněných aktiv vně perimetru elektrárny

Lokalita JE Temelín spadá do bývalého okresu České Budějovice a to společně s blízkou obcí Temelín (katastrální území Břeží u Týna nad Vltavou, Knín, Kočín, Křtěnov, Lhota pod Horami, Litoradlice, Sedlec u Temelína, Temelínek, Zvěrkovice u Týna nad Vltavou) a cca 6 km vzdáleným městem Týn nad Vltavou (katastrální území Hněvkovice u Týna nad Vltavou, Koloděje nad Lužnicí, Netěchovice, Nuzice a Předčice), který je současně správním obvodem s rozšířenou působností pro ETE. Území jihočeského kraje se skládá z 1615 katastrálních území. Rozloha Jihočeského kraje činí 10 055,6 km², což je 12,8 % rozlohy celé České republiky. Z tohoto území zaujímají třetinu lesy, 4 % pokrývají vodní plochy. Převážná část území Jihočeského kraje leží v nadmořské výšce 400-600 m n.m., s čímž souvisejí poněkud drsnější klimatické podmínky a hustota osídlení [5].

V blízkém okolí se nachází:

1. Hlavní chráněné aktivum představují samotné trasy tranzitního plynovodu. V kontextu jejich umístění, uložení v zemi a robustnosti nemohou být postulovanou událostí významně ovlivněny [3,6].
2. Od 27.07.2021 opět představuje Vltava jeden z více zdrojů pro výrobu pitné vody pro hlavní město Prahu; obrázek 10 [16].

Strukturovaný kanalizační systém JE Temelín je sveden, kromě oddělené dešťové kanalizace, do společného potrubí, které je do recipientu zaústěno pod vodním dílem Kořensko, jak je zachyceno na obrázku 2 a 11. Samotná dešťová kanalizace odvodňující plochu areálu, ústí do povrchové vodoteče Strouha. Strouha se pod rybníkem Býšov u samoty Buzov, na přehradě Hněvkovice z levého břehu vlévá do Vltavy. Situace je patrná i na výřezu z mapy označeném jako obrázek 2. Popsaný systém odvodu dešťových i odpadních vod tak za jistých okolností, představuje pro jinou kritickou infrastrukturu obrázek 10 – zásobování pitnou vodou hlavního města Prahy, ohrožení [3,11].



Obr. 10. Podolská vodárna, nově rekonstruovaná hala filtrů [16].



Obr. 11. Dispozice výpustí na ředění tritiových vod, foceno za extrémního snížení hladiny.

3. DATA

Analyzovaný děj je podmíněný současným rozpadem sítě 400 i 110 kV minimálně v rozsahu jihočeského kraje cca 2,3 milionu obyvatel [5], a to po dobu 8 hodin a delší [6]. Taková doba odpovídá vyčerpání zásoby demineralizované vody v napájecí nádrži použité pro gravitační odvod tepla metodou Feed & Bleed z parogenerátorů [6].

Dostupných údajů pro ČR, resp. Jihočeský kraj není dostatečné množství. Proto byl jako zdroj dat o rozsáhlých výpadcích byla použita Wikipedia [17] a Povedlo se nalézt celkem 79 událostí takového rozsahu. Následně byla provedená částečná analýza dat. Dále je vnořena tabulka s popisem významnějších velkých výpadků dodávky elektrické energie. Užitím dat o výpadcích sítí VVN starých několik desetiletí a jejich projekcí do podmínek ČR se vědomě dopouštíme řady diskrepancí [2,8].

Nejzásadnější důvody pro zamítnutí podobného porovnávání dat o srovnatelných výpadcích sítí jsou představovány odlišnostmi:

- různé kořenové a přímé příčiny událostí,
- odlišné technologie konstrukce sítí VVN,
- rozdílné priority ve způsobu řízení provozu, v řešení přechodových i nouzových stavů, záskoků i zálohování,
- rozdíly v podnebí a meteorologických fenoménech (záplavy, vichřice, resp. tornáda a tajfuny),
- kvalitativní posun pohledu na spolehlivost dodávek elektrické energie během celého analyzovaného období,
- příspěvky do otevřeného zdroje netvořili vždy odborníci, řada dohledatelných zdrojů je zpracována žurnalisty.

Pro jejich zahrnutí všech uvedených událostí:

- nedostatek dat z ČR resp. EU o výpadcích obdobného rozsahu,
- neexistovala kategorie „organizačních havárie“, v předchozích desetiletích obvykle byly podobné poruchy považovány za kombinaci selhání lidského faktoru s různou mírou přispění technických poruch a omezení,

- neexistovalo takové množství dat o momentálním stavu sítí,
- bylo archivováno daleko menší množství dat a proto nemusela být jako kořenová příčina vždy správně identifikována,
- bylo postupováno v souladu s principem All Hazard Approach [2,8].

Vyvozované závěry se z uvedených důvodů se budou jevit jako příliš konzervativní. A právě proto, by měl být souladu se základními principy ISO 9001 aplikován přístup PDCA (Plan, Do, Check, Assess).

Jako výchozí podmínky byla zvolena událost Station Black-Out přibližně o velikosti jihočeského kraje. Jak bylo uvedeno v okruhu do 30 km žilo podle posledního sčítání lidu k 01.01.2003 260 880 obyvatel, v okruhu do 100 km pak 2 302 767 obyvatel. Proto byly na Wikipedii vyhledány seznamy velkých výpadků evidované kdekoli na světě. Výběr byl zúžen jen na události ke kterým byly dohledatelné zdroje a minimum požadovaných detailů. S ohledem k malému počtu byly zpracovávány události bez ohledu k přímým i kořenovým i přispívajícím příčinám v tabulce 1 [17].

Ukázalo se, že medián návratu podobné pohromy v celosvětovém měřítku je 91 dní, medián trvání 22 hodin a potvrdil se i medián postižených výpadkem - 3 miliony obyvatel (tabulka 1). Ze shora uvedeného můžeme dovodit, že v obdobném případě požadavky na zdroje budou přesahovat kapacitu záchranného systému jihočeského kraje, resp. ČR. Záchranné složky tak budou zaměstnány evakuací ohroženého obyvatelstva, případně i nouzovou obsluhou území o velikosti 10 055,6 km² [5]. Rozhodně nebudou mít technické ani personální kapacity pro technologickou podporu zasažené JE Temelín. Z této rozvahy vyplývají zvýšené požadavky na autonomii JE. V tomto případě požadavky na vybavení, vypracování procedur a školení personálu technického podpůrného střediska a hasičského záchranného sboru JE Temelín.

V dokumentu [12] a s využitím zkušeností z realizace jaderných elektráren s VVER v ČR i v dalších zemích, jsou dále definovány bezpečnostní funkce aplikované v projektu JE [5,13]. Přitom je v projektu JE respektována zásada, že tam kde bezpečnostní funkce vyžadují funkceschopnost nějakého zařízení, je vyžadována zároveň i funkceschopnost systémů zajišťujících podpůrné funkce pro tato zařízení (zajištění energií a médií, mazání apod.).

Seznam kritických bezpečnostních funkcí dle [12]:

1. Zabránit nepříjemným přechodovým procesům reaktivity.
2. Po odstavení udržet reaktor bezpečně odstavený po všech činnostech, které vedly k odstavení.
3. Odstavit reaktor podle potřeby tak, aby v důsledku očekávaných provozních událostí nedošlo až k projektovým haváriím a odstavit reaktor pro zmírnění následků projektových havárií.
4. Udržet dostatečné množství chladiva v reaktoru pro chlazení aktivní zóny v havarijních podmínkách a po jejich odeznění bez porušení tlakové hranice primárního okruhu.
5. Udržet dostatečné množství chladiva v reaktoru pro chlazení aktivní zóny v průběhu a po odeznění všech PIU, které jsou zohledněny v projektu.
6. Odvádět teplo z aktivní zóny po porušení tlakové hranice primárního okruhu tak, aby byl omezen stupeň poškození paliva. Poznámka: Tato bezpečnostní funkce platí pro systémy prvního stupně odvodu tepla. Ostatní stupně jsou pokryty bezpečnostními funkcí (8).
7. Odvádět zbytkové teplo v průběhu všech provozních stavů a v havarijních podmínkách, při kterých nedošlo k porušení tlakové hranice primárního okruhu; Poznámka: Tyto

Tabulka 1. Přehled velkých výpadků elektřiny dle [17].

Lokalita	Datum	Perioda	Medi	Trvání	Mediá Postřeno	Mediá Příklad	Poznámka
USA, Utah	08.01.1981	713	91	3	22	1,5	3 Lidský faktor
USA, Kalifornie	22.12.1982	279				5	Technická příčina
Švédsko, jih	27.09.1983	598	7			4,5	Technická příčina
USA, Flórida	17.05.1985	882	3,5			4,5	Kaskádové selhání od přehřátí v rozvodně
Velká Británie a Francie	16.10.1987	514					
Kanada, Quebec	13.03.1989	218	9			7	Geomagnetická bouře
USA, Kalifornie	17.10.1989	628				1,4	Zemětřesení
USA, Iowa	07.07.1991	1550				1	Hurikán
USA,	04.10.1995	311				2	Hurikán
	10.08.1996	659				7,5	Lidský faktor
USA, severo-východ	31.05.1998	99	24			2	Vichřice
USA, severo-východ	07.09.1998	92	48			0,2	Vichřice
USA, Kalifornie	08.12.1998	93	7,5			0,94	Lidský faktor
Brazílie	11.03.1999	663	2472			97	Lidský faktor
Indie, Uttar Pradesh	02.01.2001	138	5			230	Chyba na přenosové soustavě
Iran	20.05.2001	816	10			30	Není zřejmá
Indie, Uttar Pradesh	14.08.2003	10				50	Lidský faktor
USA, Kanada	24.08.2003	11	330			55	Lidský faktor, organizační havárie
Malaysia, Kuala Lumpur	04.09.2003	19	5			13,8	
Švédsko, Dánsko	23.09.2003	5	6			5,3	Chyba projektu, nedostatečná robustnost
Itálie, Švýcarsko	28.09.2003	288	12			56	Kaskádové selhání
Recko	12.07.2004	317	12			2	Kaskádové selhání
Ruská Federace, Moskva	25.05.2005	96	30			2	Kaskádové selhání za spolupůsobení přehřátí
USA, Flórida, Alabama	29.08.2005	337	72			2,6	Hurikán Katrina
Kanada, Quebec	01.08.2006	95	24			0,45	Vichřice
Německo, CR, Belgie	04.11.2006	40	2			30	Odpojení linie a kaskádové selhání,
USA, Kanada	14.12.2006	134	72			1,8	Hurikán Eve
Kolumbie, Bogotá	27.04.2007	87	2,5			25	Lidský faktor
Španělsko, Barcelona	23.07.2007	65	78			1,6	Kaskádové selhání
Brazílie	26.09.2007	73	24			3	Počítačový útok
USA, Oklahoma, Nebraska	08.12.2007	56	100			3	Námraza
USA, Flórida	02.02.2008	66	30			2	Kaskádové selhání
Polsko, severo-východ	08.04.2008	42	20			0,4	Sněh a námraza
Zanzibar	20.05.2008	116	696			1,5	Poškození podmořského přívodního kabelu
USA, Houston	13.09.2008	90	144			2	Hurikán Ike
USA, Maine	12.12.2008	14	336			1,5	Sněh a námraza
USA, Hawaj	26.12.2008	32	12			0,97	Úder blesku
USA, Indiana	27.01.2009	78	100			0,8	Sněhová bouře
Kazachstan, Almaty	15.04.2009	209	5			2	
Brazílie, Paraguaj	10.11.2009	124	80			240	Vichřice
Chile,	14.03.2010	325	3			15	Porucha transformátoru v elektrárně
USA, Texas	02.02.2011	2	72			3,2	Kaskádové selhání od chladného počasí
Brazílie, sever	04.02.2011	216	4			53	Porucha na páteřím vedení
USA, Kalifornie, Arizona	08.09.2011	8	12			5	Organizační havárie
Jižní Korea	16.09.2011	43	4,5			3	Horké počasí
USA, Massachusetts	29.10.2011	181	264			2	Sněhová bouře
Turecko, západ	27.04.2012	63	2496			20	Kaskádové selhání
USA, Iowa	29.06.2012	31	72			3	Hurikán
Indie sever, 9 států	30.07.2012	1	4,5			400	
Indie sever, 22 států	31.07.2012	90	2			600	Kaskádové selhání
USA, New Jersey	29.10.2012	102	8			8	Hurikán Sandy
USA, Boston	08.02.2013	94	24			1,2	Sněhová bouře, námraza
Filipíny, Luzon	13.05.2013	9	7			45	Kaskádové selhání zdrojů
Vietnam, Kambodža	22.05.2013	125	8			8	Výpadek linky 500kV
Turecko, evropská část	24.09.2013	89	1			1,5	Porucha vedení 154kV
Kanada, Ontario	22.12.2013	67	144			1,2	Bouře
Filipíny, Mindanao	27.02.2014	166	6			15	Není zřejmá příčina
Malta	12.08.2014	23	6			0,5	Porucha v rozvodně
Egypt	04.09.2014	58	2			40	Kaskádová porucha,
Bangladéš	01.11.2014	20	10			50	Neznámá příčina
Jihoafrická republika	21.11.2014	281	38			10	Porucha na uhlé elektrárně
Kanada, Vancouver	29.08.2015	283	72			0,7	Bouře
Keňa	07.06.2016	274	4			10	Výpadek zdroje
USA, Michigan	08.03.2017	115	24			0,73	Vichřice
Panama, Costa Rica	01.07.2017	367	6			5	
Azerbájdžán, Baku	03.07.2018	-322	7,5			1,5	Přetížení sítě
Taiwan	15.08.2017	36	5			6,5	
Puerto Rico	20.09.2017	40	2208			1,8	Hurikán Maria
Kanada, Nová Anglie	30.10.2017	38	144			1,8	Hurikán Filip
USA, jihovýchod	07.12.2017	34	72			0,9	Bouře Banji
Sudán	10.01.2018	51	24			44	Není známá
USA, severovýchod	02.03.2018	41	25			2	Bouře
Puerto Rico	12.04.2018	6	26			0,7	Porucha na lince
Puerto Rico	18.04.2018	141	27			0,87	Zkrat na lince
Japonsko, ostrov Hokkaido	06.09.2018	105	10,5			2,95	Zemětřesení
Kanada, Vancouver	20.12.2018	77	264			0,6	Vichřice, poškodila vedení
Venezuela,	07.03.2019	18	144			32	Požár generátoru vodní elektrárny
Venezuela,	25.03.2019	-43549					

bezpečnostní funkce platí pro systémy prvního stupně odvodu tepla. Ostatní stupně jsou pokryty bezpečnostní funkcí (8).

8. Předávat teplo z bezpečnostních systémů až do koncového stupně odvodu tepla; Poznámka: Jedná se o podpůrnou funkci bezpečnostních systémů, pokud tyto plní příslušné bezpečnostní funkce.
9. Zajistit nezbytnou podporu (např. elektrické, pneumatické nebo hydraulické zdroje dodávky energie, mazání) jako podpůrnou funkci pro provoz bezpečnostního systému.
10. Udržet přijatelný stupeň celistvosti pokrytí paliva v aktivní zóně reaktoru.
11. Udržet celistvost tlakové hranice primárního okruhu reaktoru.
12. Omezit únik radioaktivních látek z hermetické obálky v průběhu a po odeznění havarijních podmínek.
13. Omezit radiační ozáření obyvatelstva a personálu jaderného zařízení v průběhu a po odeznění projektových havárií a některých těžkých havárií, následkem kterých dochází k únikům radioaktivních látek ze zdrojů, které se nacházejí vně ochranné obálky reaktoru.
14. Omezit vypouštění nebo úniky radioaktivních odpadů a plyných radioaktivních látek pod předepsané hodnoty při všech provozních stavech.
15. Udržet kontrolu podmínek prostředí, nezbytných pro provoz bezpečnostních systémů a pro přístup personálu jaderného zařízení, při plnění činností důležitých pro bezpečnost.
16. Udržet při všech provozních stavech kontrolu nad radioaktivními úniky z vyhořelého paliva dopravovaného nebo skladovaného v místě jaderného zařízení, pokud je mimo systém chlazení reaktoru.
17. Odvádět zbytkové teplo z vyhořelého paliva skladovaného v místě jaderného zařízení, pokud je mimo systém chlazení reaktoru.
18. Udržet dostatečnou podkritičnost paliva skladovaného v místě jaderného zařízení, pokud je mimo systém chlazení reaktoru.
19. Zabránit selhání nebo omezit následky poruch zařízení, systémů a komponent, jejichž porucha by mohla vést k narušení plnění bezpečnostní funkce.

Legitimním je i požadavek vyplývající ze samotné podstaty jaderné elektrárny jako prvku kritické infrastruktury [2,8] je „Zajistit, aby byly zachovány důležité komponenty a jejich propojení tak, aby po opravě bylo možno obnovit provoz jaderné elektrárny“. Jde o zabránění dlouhodobých ekonomických ztrát.

4. POUŽITÉ METODY

Při zpracování dat byly použity metody inženýrství, které pracují s riziky [18], např. určení kritičnosti jednotlivých prvků objektu, specifická What, If aj. S ohledem k výše uvedenému seznamu bezpečnostních funkcí budou rozebrány události s maticí pro posouzení rizika a budou analyzovány postupy pro řízení pohrom spojený s rozsáhlým SBO [6,17]. Postupy pro pravděpodobné události s nízkými následky jsou součástí provozních předpisů. Zde se uvažuje s automatickým přechodem do ostrovního provozu a v extrémním případě i se zregulováním bloku na vlastní spotřebu (cca 35MWe) [19]. Při nezregulování zasáhnou regulační, případně bezpečnostní systémy a reaktor bude odstaven. V této chvíli následuje start systému dochlazování napájenému z jednoho ze tří divizních nouzových generátorů (3x6,3 MWe). Nově je ještě uvažována možnost výpadku všech 3 systémových přípojníc. I tento stav je uvažován a řešen

„SBO Diesel-generátory“ (2x1,6 MWe). Oblast havarijního odstavení a dochlazení je popsána v předpisech pro abnormální provozní stavy EOPs (Emergency Operation Procedures) [6]. Podle [6] není-li k dispozici žádný z uvedených stabilních DGS (3+1+1), takže postupy dále uvažují pouze s použitím mobilních hasicích čerpadel pro plnění parogenerátorů resp. Doplnění vody do reaktoru s cílem zabránit úplnému roztavení paliva a propadnutí na dno reaktoru [7].

Analyzované možnosti budou zaměřeny na funkce ovlivňující havarijní odvod tepla v podmínkách dlouhodobého výpadku hlavního, rezervního i nouzového napájení bloku JE Temelín [6].

Zadání úlohy lze shrnout jako popis a zhodnocení možností jak se při dějích spojených s rozsáhlým rozpadem sítě (**91 dní, 22hodin a 3 miliony postižených**) [17] ztížených poruchou všech havarijních diesel-agregátů a zabránit prohrátí pokrytí paliva nad kritickou teplotou 1200 °C. Její počátek je indikován dosažením teploty paroplynové směsi 650 °C na výstupu z aktivní zóny. Do momentu bouřlivého propuknutí Zr-reakcí do teplot cca 1200 °C je ještě aktivní zóna uchlazitelná bez velkého poškození paliva (kromě jeho fragmentace). Při teplotách nad 1200 °C je v důsledku oxidace pokrytí nárůst teploty aktivní zóna exponenciální. Exotermní oxidace zirkoniového pokrytí v přehřáté páře začne generovat obrovské množství tepla [6,7]. Tím se aktivní zóna stává dočasně prakticky neuchlazenou a poškození paliva je neodvratné [6,7].

V dalším bude u navrženého postupu doložena aplikace uplatnitelných zásad podle [20]:

- princip předběžné opatrnosti,
- optimální opatření pro všechny relevantní pohromy možné v daném místě.

Dále bude návrh respektovat prakticky uplatnitelné závěry Mezinárodní organizace pro standardizaci kvalifikované řízení rizik musí respektovat především [18,20]:

1. Řízení rizik musí vycházet z nejlepších dostupných informací.
2. Řízení rizik musí být dynamické a vhodně reagovat na různé změny.
3. Řízení rizik musí mít schopnost neustálého zlepšování.

Postup dochlazování se uveden na obrázku 12 [7].

5. VÝSLEDKY

S ohledem ke shora uvedeným kritickým bezpečnostním funkcím [2,8,12], a mezinárodním požadavkům [1] na kvalifikované řízení rizik bude ze stromu událostí spojených s SBO vybrána větev s poruchou všech nouzových i „Stabilních SBO DGS“. Bude uvažován a situace kdy řídicí personál vstupuje do stavu dlouhodobého SBO, pokud jsou všechny bezpečnostní přípojnice bez napětí a předpokládaná doba do jeho obnovení napájení je delší než 1 hodina [6].

A v souladu s výstupy z rozboru „velkých výpadků“ nebude napětí na bezpečnostních přípojnicích obnoveno dříve než za 22 hodin.

Všeobecně přijaté všechny postupy řešení uvažují s užitím metoda „Feed & Bleed“ byla vyvinuta firmou Westinghouse jako protiopatření po havárii Three Mile Island-2 v roce 1979 a posléze byla implementována [1,6]. Uvažuje se v souladu s mezinárodní praxí [20] v případech, kdy nejsou k dispozici aktivní systémy dochlazování [12]. Její princip „Feed & Bleed“ spočívá v chlazení aktivní zóny do otevřeného okruhu, tj. chlazení je doprovázeno úplnou ztrátou použitého chladiva. V tomto případě máme na mysli sekundární okruh [6]. V primárním okruhu je přenos tepla zajištěn přirozenou konvekcí chladiva [6]. Aktivní zóna jako zdroj tepla je položena níže, než teplosměnné plochy v parogenerátorech. Teplo je ze sekundární strany trubiček odváděné varem napájecí vody, pára uniká přes regulační ventil přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA) [1,6].

Odvod zbytkového tepla z aktivní zóny do koncového jímače tepla	Odvod přes PG do PSA	Dosažitelné chladiivo	<ul style="list-style-type: none"> - Zásoba demineralizované vody 	<ul style="list-style-type: none"> - Zásoby TX na bloku - Společné zásoby - Zásoba před blokem TB40 	Obnovení obnovy surové vody	<ul style="list-style-type: none"> - Obnovením projektového elektrického napájení 	Provozschopnost diesel motorů	Zajištění periodické obsluhy, množství a jakosti paliva, maziva, spotřebního materiálu, dostatečného chlazení, množství a čistoty spalovacího vzduchu
			<ul style="list-style-type: none"> - Vodojem - Bazény rozstříku - TVD - Velká cirkulační voda 	<ul style="list-style-type: none"> - Jedna polovina - Obě poloviny 		<ul style="list-style-type: none"> - Zajištění neprojektového elektrického napájení ČSSV - Hněvkovice z MVE - Hněvkovice 		
			<ul style="list-style-type: none"> - 2 bazény - 3 bazény - Všechny Bazény 	<ul style="list-style-type: none"> - Použití prostředků DAM, 6 oběžných cisteren 				
			<ul style="list-style-type: none"> - Jeden blok - Oba bloky 	<ul style="list-style-type: none"> - Provozschopnost diesel motorů 				
		Provozschopná čerpadla	Stacionární elektrická čerpadla TB50	<ul style="list-style-type: none"> - El. napájení ze stabilních SBO diesel-generátorů 	<ul style="list-style-type: none"> - Provozschopnost diesel motorů 			
			<ul style="list-style-type: none"> - Mobilní čerpadlo DAM 	<ul style="list-style-type: none"> - El. napájení z DAM diesel-generátorů - Pohon prostřednictvím vlastního diesel motoru stříkačky 	<ul style="list-style-type: none"> - Provozschopnost diesel motorů - Provozschopný personál dostatečné Kapacity 			
		Dosažitelné a průchozí trasy napájení PG	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilní Potrubí - Stabilní přípojovací DAM prostředků místa na HVB - Přípojovací místa je potřeba vytvořit DAM prostředky 	<ul style="list-style-type: none"> - Provozschopný personál dostatečné kapacity 				
Funkční teplo-směnné plochy v PG	Nezanesené sedimentem	<ul style="list-style-type: none"> - Čistota dodávaného chladiwa - Dostatečné odluhování PG 	<ul style="list-style-type: none"> - Udržení množství příměsí v kotelní vodě PG 	<ul style="list-style-type: none"> - Dostatečný přebytek dodávky nouzového chladiwa 	<ul style="list-style-type: none"> - Provozschopnost diesel motorů - Provozschopný personál dostatečné kapacity 			
	Těsné bez úniku I.O. do I.I.O.	<ul style="list-style-type: none"> - Integrita teplo-směnných trubiček PG 	<ul style="list-style-type: none"> - DAM prostředky odvodu odluhu z PG 					
	Nastavení přirozené cirkulace AZ-PG	<ul style="list-style-type: none"> - Udržení tlaku v I.O. a hladiny v KO 						
Primární Feed & Bleed								

Obr. 12. Strom událostí při SBO dochlazování [7].

Přes zřejmou jednoduchost, přímý odvod tepla odpouštěním páry z parogenerátoru do atmosféry za jejich současného doplňování napájecí vodou ze svého principu neumožňuje převést reaktor do studeného stavu, tj. významně snížit teplotu primárního okruhu. Dostatečný přenos tepla mezi aktivní zónou a parogenerátorem je podmíněn udržením teploty v primárním okruhu na cca 110 °C [6]. Technické řešení spočívá v tom, že k doplňování parogenerátoru se použije hasičská automobilní stříkačka. Podle [6] k havarijnímu odvodu tepla plně postačí jeden ze čtyř parogenerátorů. Voda je do něj doplňována stříkačkou v množství 25 m³/hod pod tlakem 2,6 MPa [6]. Podle nastavených pravidel, se přednostně k odvodu tepla musí užít parogenerátoru, na kterém nebyl detekován únik chladiva z primární na sekundární stranu [1,6].

Podle technické dokumentace [5,14] na každém z bloků existuje rezerva 2460 m³ demineralizované vody a k tomu společná zásoba demineralizované vody 1540 m³ v budově v budově chemické úpravy vody [14]. Při nejlepším však po 98, resp. 129 hodinách dochlazování metodou Feed & Bleed bude zásoba demineralizované vody s obsahem méně než 0,1mg/L chloridů vyčerpána.

Z kontinuity kritické infrastruktury i kontinuity území je nezbytné naplňovat kritické bezpečnostní funkce v pořadí požadovaném v Agenturním dokumentu [12]. V podmínkách dlouhodobého SBO nelze zajistit funkce číslo 4, 5, 11, 12, 13 a 19 s poškozeným, resp. netěsnými parogenerátory [6]. Je nezbytné na maximální míru omezit možnost poškození nejkritičtější hranice primárního okruhu – teplosměnných trubiček v parogenerátoru a jejich napojení na horký, resp. studený kolektor.

Nejvýznamnějším mechanismem poškození teplosměnných trubiček z austenitické oceli typu 08Ch18N10T je korozní praskání (*Stress Corrosion Creep-SCC*). Z hlediska zvyšování rizika SSC nejdůležitější složkou chladiva ohrožující strukturu austenitických trubiček parogenerátoru představují chloridy [5].

Zároveň však nejpozději od 6. dne z předpokládaných 22, bude muset být pro odvod zbytkového tepla užito chladivo nesplňující kvalitativní požadavky pro normální provoz [14,22]. Pro naplnění kritických bezpečnostní funkcí č. 10, 11 a 12 se vyžaduje užití nejbližší dosažitelné zásoby chladiva [6,10]. Tuto zásobu tvoří celkově 2x15 000 m³ surové vody ve vodojemu mezi výrobními bloky [5,14]. Podle provedených analýz surová voda čerpaná z vodního toku Vltavy běžně obsahuje 8-10 mg/L chloridů, 20mg/L nerozpustných látek, do 10mg/L vápenatých sloučenin [22]. Zároveň však toto chladivo svými charakteristikami ohrožuje celistvost teplosměnných trubiček i samotných spojů teplosměnných trubiček a svým složením tak ohrožuje spolehlivost (těsnost) kritické bezpečnostní komponenty-parogenerátoru. Prakticky tak může dlouhodobě narušit plnění kritických bezpečnostní funkcí číslo 4, 5, 11, 12, 13 a 19 [10].

Napájení nejdostupnějším chladivem v první fázi zajistí odvod dostatečného množství tepla. Klesající kvalita dosažitelné vody neodvratně povede k akumulaci solí v kotelní vodě parogenerátoru. Dalším v kontextu SBO méně významným faktorem je vyššímu tepelnému pnutí materiálu trubiček vyplývající z nízké teploty čerpané vody [6,14]. Oba faktory společně zvyšují riziko korozního praskání teplosměnných trubiček a tím i bypassu kontejnmentu [5,10]. Při doplňování parogenerátoru surovou vodou vzroste už za první den celková koncentrace chloridů na 77 mg/L a obsah kalu o cca 12 kg. Vyčerpáním první poloviny vodojemu (15 000 m³) se tak do provozovaného parogenerátoru dostane cca 150 kg chloridů a jejich koncentrace v kotelní vodě dosáhne cca 2000 mg/L. Navíc se v parogenerátoru usadí přibližně 300 kg kalu a vysráží 150 kg vápenatých sloučenin [22]. To významně ovlivní spolehlivost parogenerátoru. Při porušení těsnosti teplosměnných trubiček, resp. štěrbinové korozi zaválcovaných a zavařených spojů austenitických trubiček v kolektoru parogenerátoru a následném úniku chladiva

postupně dojde ke ztrátě chladiva z primárního okruhu, resp. samotížnému přenosu tepla mezi níže položenou aktivní zónou a parogenerátorem. S postupně unikajícím primárním chladivem se přes PSA uniknou do atmosféry plynné radionuklidy, především radioaktivní jód 131 (poločas rozpadu 8 dní [5]).

6. POUČENÍ A NÁVRHY OPATŘENÍ PRO BEZPEČNOST

Ukážeme jednak matematický výpočet a jednak praktický problém.

6.1. Stanovení požadovaného množství odluhu kotelní vody z parogenerátoru a ověření dostatečné kapacity navržené odvodní trasy

Obecně jsou teplosměnné trubky parogenerátoru i komponenty havarijních systémů vyrobeny ze stejných materiálů 08CH18N10T, 08CH18N10T-S, resp. 17248.4 [5]. Původní projektové požadavky na armatury VVER předpokládaly, chladivo havarijních systémů s mezní hodnotou obsahem chloridů 300mg/L [23]. Výpočtem množství příměsí vnesených do parogenerátoru doplňovanou surovou vodou [6,22] lze stanovit, že limitní koncentrace stanovené ruským hlavním konstruktérem, bude dosaženo, již po 94 hodinách doplňování surovou vodou. Nabízí se však cesta jak řídit riziko problematického chladiva a tím zároveň na nejnižší míru omezit nebezpečí selhání kritické bezpečnostní funkce [2,20] bezpečnostně kritické komponenty v podmínkách dlouhodobého SBO. Touto cestou je zabránění akumulaci chloridů a síranů v parogenerátoru. Obě složky chladiva jsou zůstávají ve vodě rozpustné v celém zkoumaném rozsahu teplot [6,24]. Lze je tak odpouštět ze dna parogenerátoru, kde dochází k jejich hromadění [24,25]. Jednoduchým výpočtem podle vzorce v práci [24] lze pak stanovit hodinové množství odluhu parogenerátoru dle vztahu (1):

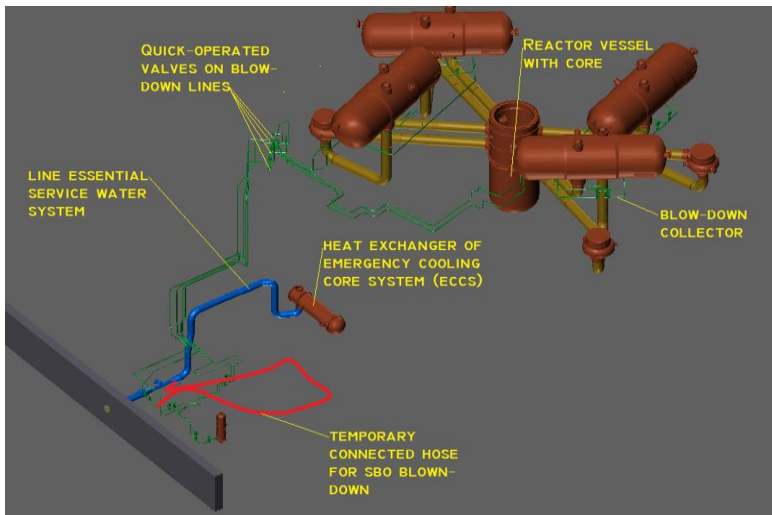
$$Q_o = Q_n \cdot (c_n / (c_o - c_n)), \quad (1)$$

ve kterém Q_o je hodinové množství odluhu (m^3/h), Q_n je průtok doplňované vody (m^3/h), c_o je koncentrace chloridů v odluhu (mg/L), a c_n je koncentrace chloridů v doplňované vodě (mg/L).

Výpočet provedený na základě uvedeného vzorce (1) ukazuje, že trvalým odpouštěním pouhých $0,862 \text{ m}^3/\text{h}$ kotelní vody, lze předepsanou koncentraci dlouhodobě udržet [6,22,23]. Přitom ztráta odluhem představuje jen 3,5 % doplňované surové vody [6]. Tuto ztrátu si můžeme prakticky představit jako zkrácení doby čerpání obsahu $\frac{1}{2}$ vodojemu z 25 na 24 dní [6,14]. Tak lze na 29 dnů (5+24) zajistit dochlazování v podmínkách dlouhodobého SBO s parametry odpovídajícími původnímu projektu.

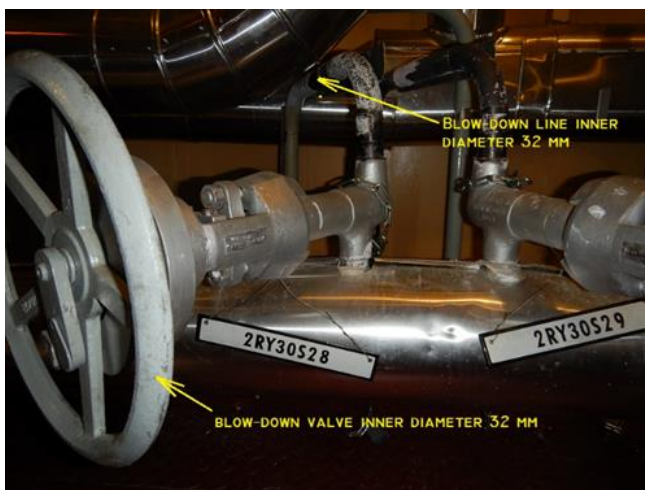
Pro posouzení realizovatelnosti odluhování parogenerátoru je proto třeba navrhnout odpovídající potrubní trasu pro odluhování. Následně provést kontrolu hydraulických ztrát podle zásad dobré technické praxe [25,26]. Při návrhu můžeme uvažovat pouze s přetlakem na sekundární straně parogenerátoru 1,6 MPa vytvářeném mobilními hasičskými čerpadly a výškovou dispozicí parogenerátoru (na podlaží +27,70 m) [5,25]. A dále je potřeba uvažovat s gravitačním odvedením odluhu mimo reaktorovnu, nejlépe do retence uvnitř areálu JE. Tím bude naplněna kritická bezpečnostní funkce číslo 13 a 14 [12]. A bude tím vyloučena kontaminace podzemních vod štěpnými produkty absorbovanými v odluzích.

K odpouštění kotelní vody ze dna parogenerátoru se použijí společně 4 provozní potrubí odkalu parogenerátorů RY11-14Z03.1, DN25. Další úsek je představován kolektorem RY11-14Z02, DN80, se 3 uzavírací ventily a pak do trasy ochozu expandéru RY30Z25 [25]. Axonometrie celého navrženého řešení je zachycena na obrázku 13. Na obrázcích 14 až 15 jsou na fotografiích vyznačena přípojovací místa pro připojení DAM provizorií.



Obr. 13. Axonometrie „SBO odluhování“ parogenerátorů [25].

Obrázek 14 zachycuje potrubní situaci v A037, jmenovitě trasu RY30Z25. Zde je vyznačeno místo pro vedení řezu a připevnění svěrné hadicové spojky. Spojka hadice bude cca 2 m za ventil RY30S028.

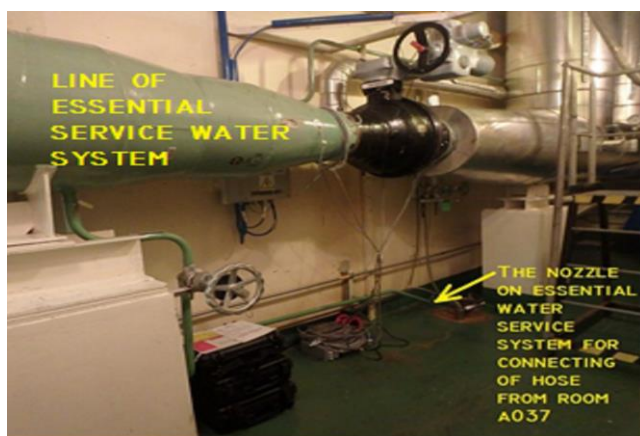


Obr. 14. Místnost A037-dispozice tras odluhu před místem pro připojení provizorní hadice.



Obr. 15. Dispozice řezu potrubí připojovacího místa hadice v A037.

Jak bylo výše doloženo, odpouštění odluhu parogenerátoru přímo na gulu umístěnou v místnosti A037 na podlaží -4,20 m není možné, protože v SBO podmínkách dojde k zaplavení spodního podlaží reaktorovny [5,25]. Proto bylo třeba najít trasu, jež nahradí aktivně čerpaný systém kanalizace reaktorové budovy, a která povede do retenční nádrže odpovídající velikosti. Takové potrubí se nachází v blízkosti místnosti A 037, jedná se o potrubí *technické vody důležité* VF60Z03, DN600 [5,25], které ústí do chladicích bazénů rozstříku uvnitř JE [5]. Hadici DN25 o délce 50 m s odluhem lze připojit na šroubení drenážní armatury (obrázek 16). Odtud odluh odtéká přes ruční ventil VF60S265 drenážní trasou VF60Z03.4, DN25 připojená do VF60Z03, DN600 v chodbě A017/1 [24]. Potrubí VF60Z03 zajistí odtok odluhu do bazénů chlazení rozstříkem [5,14,25].



Obr. 16. Dispozice připojovacího místa hadice v chodbě A017/1 do 3. divize systému TVD (technické vody důležité).

Ověření realizovatelnosti návrhu

Realizovatelnost navrženého opatření byla validována výpočtem tlakových ztrát navržené trasy odluhování. Pro výpočet hydraulického odporu byly užity vztahy (2) a (3) dle [26] je

$$\Delta p_{RF} = a \cdot \sum_{j=1}^n (l_j \cdot R_j), \quad (2)$$

kde a představuje součinitel vlivu místních odporů (u přívodního potrubí $a = 2$ až 3), l délka posuzovaného úseku potrubí (m), R délková tlaková ztráta třením (kPa/m), v posuzovaném úseku potrubí, a počet posuzovaných úseků. Tlakové ztráty vlivem místních odporů Δp_F (kPa) se stanoví podle vztahu [26]

$$\Delta p_{RF} = \frac{\rho}{2000} \cdot \sum_{i=1}^m (\xi_i \cdot v_i^2) \quad (3)$$

kde ξ součinitel místního odporu, v průtočná rychlost (m/s), ρ hustota vody (kg/m^3), m – počet místních odporů.

Celková tlaková ztráta představuje superpozicí 5 různých úseků podle obrázku 13 [25,26]:

1. Čtyř paralelních potrubních tras se světlostí 25 mm o délce 50 metrů.
2. 160 m dlouhého kolektoru se světlostí 80 mm osazeném 1 elektrickým uzavíracím ventilem DN80, dále 2 pneumatickými rychločinnými ventily stejné světlosti a 1 ručním regulačním ventilem.
3. Potrubím dn 32 o délce s ručním uzavíracím ventilem.
4. Gumovou hadicí DN 32 o délce 50 m.

5. 4 m dlouhým potrubím se světlostí 25 mm s ručním uzavíracím ventilem na systému TVD (technické vody důležité).

Výpočet podle rovnic (2) a (3) provedený s velkou mírou konzervatismu ukázal, že průtok při celkovém tlakovém spádu 1,2 MPa navrženou trasou může spolehlivě dosáhnout až 10 m³/h. Na základě výsledků analýz velkých výpadků zásobování byla doba trvání stanovena na 22 dnů. Možnosti navrženého řešení byly v souladu s principem předběžné opatrnosti i s tím, že řízení rizik musí být dynamické a vhodně reagovat na různé změny. Proto byly analyzován potenciál navrženého řešení i pro pokračování SBO po 24. dnu, tj. Po vyčerpání zásoby surové vody z vodojemu. V takovém případě tvoří dostupnou zásobou chladiva voda velkého cirkulačního okruhu [14]. Podle provozní úrovně vody v bazénech chladicích věží zálohu představuje cca 90 000 m³. Kvůli odparu chladicích věží při normálním provozu se dosahuje zahuštění koncentrace chloridů 30-35 mg/L [22], které se po odstavení reaktoru a přerušением cirkulace v okruhu již nezmění. Proto při doplňování vodou z cirkulačního okruhu kdy bude nezbytné z parogenerátoru odluhovat 2,8 až 3,3 m³/h.

6.2. Nová úskalí dlouhodobého provozu parogenerátoru v podmínkách SBO

Havárie jaderné elektrárny Fukušima, však ukázala i další nový problém a tím je nakládání s množstvím radioaktivních vod vznikajících během záchranných prací. I zde navržené opatření v sobě skrývá dodatečné riziko v podobě shromážděného odluhu s možným obsahem radionuklidů. Ohrožení podzemních vod, resp. povrchové vody vodotečí v lokalitě, průnikem nashromážděného odluhu v bazénech rozstříku technické vody důležité není významné v období čerpání surové vody z vodojemu. Za celých 24 dnů čerpání surové vody z vodojemu, drenážovaný odluh zvýší hladinu v bazénu při jejich projektových rozměrech 60 x 130 m hloubce 3,3 m o maximálně 8 cm [6,22]. Situace je zřejmá z obrázcích č. 17 a 18.



Obr.17. Bazén rozstříku technické vody důležité, ve vypuštěném stavu.



Obr. 18. Bazén rozstříku technické vody důležité za provozu při normální hladině.

Na obrázku 19 jsou patrné zvýšené okraje bazénů rozstříku proti komunikacím v areálu jaderné elektrárny. Zpevněné komunikace v areálu jsou odvodněny do dešťové kanalizace, vedoucí do podle obrázku 2 do vodoteče Strouha, jenž se vlévá na vodním díle Hněvkovice do Vltavy [5].



Obr. 19. Okraje bazénů rozstříku zvýšené proti úrovni servisních komunikací o cca 20 cm.

V případě přeplnění bazénů je nekontrolovaný únik obsahu bazénu do dešťové kanalizace zřejmý. Tím mohou být ohroženy nejen místní zdroje podzemní pitné vody, ale i jeden ze zdrojů pro výrobu pitné vody v Praze, Podolí obrázek 10. Proto při doplňování vodou z cirkulačního okruhu kdy bude nezbytné z parogenerátoru odluhovat 2,8 až 3,3 m³/h se plnění bazénů zrychlí. Za 24 hodin přibude 1 cm. Během 146 dnů čerpání vody v okruhu cirkulační vody k přeplnění bazénů musí dojít

Při vizuální kontrole personálem 1x za týden lze toto nebezpečí včas eliminovat gravitačním přepuštěním obsahu bazénu 3. divize do bazénu nevyužívané 1. nebo 2. divize. Jak je patrné z obrázku 17 a 18 mimo zimní období zůstává obvykle zaplněna pouze polovina bazénů (nevyužité bazény pro blok č. 3 a 4), takže je kapacita pro odpouštění odluhů dostatečná [5,6,21]. Zároveň je nezbytné, aby byly personálem zajištěny všechny trasy přeplnění z bazénů tak aby obsah neunikl ani prostřednictvím technologické kanalizace tak jak je patrná na obrázku 2 do vodoteče vyústěními na obrázku 11 [2,5,9].

V průběhu zpracování práce se zjistilo, že v dosavadních analýzách nebyl zachycen významný energetický zdroj celoevropského významu. Tímto zdrojem je poblíž vedoucí tranzitní plynovod [3,5]. Jaderná elektrárna jej dosud využívá pouze jako palivo pro záložní zdroj tepla, v místní plynové kotelně zachycené na obrázku 20. V textu zmíněné zakončení vysokotlaké plynové přípojky z tranzitního plynovodu na obrázku 21.



Obr. 20. Plynová kotelná s 5 kotli.



Obr. 21. Uzávěr plynové přípojky před kotelnou.

S ohledem k robustnosti tranzitního plynovodu, umístění většiny čerpacích stanic mimo oblast zasaženou předpokládaným dlouhodobým výpadkem, může být jeho přínos pro zvýšení resilience jaderné elektrárny v popsanych podmínkách velmi významným [2,20]. Užití zemního plynu jako alternativního zdroje v podmínkách SBO, by umožnilo snížit rychlost čerpání zásob 4000 t motorové nafty, deponovaných na elektrárně. Tím ještě zvýšit resilienci jaderné elektrárny Temelín [2,8,20].

7. PŘEDPOKLÁDANÉ PŘÍNOSY

Předložený návrh představuje doplnění již zpracovaných *návodů pro abnormální provoz* [6] vypracovaný v souladu s Národním akčním plánem [1], i zásadami podle [3,20]. Konečným výsledkem jeho aplikace je snížení nebezpečí ztráty těsnosti primárního okruhu a následného bypassu kontejnmentu [12] v důsledku korozního praskání materiálu v prostředí s vysokým obsahem chloridů. trub, resp. štěrbinové koroze zaválcovaných spojů v parogenerátoru. Odluhovaná voda z parogenerátoru, s potencionálním obsahem radioaktivních částic, zůstává uvnitř JE – v bazénech technické vody důležité. To znamená zachování podmínek pro plnění kritických bezpečnostních funkcí číslo 4, 5, 10, 11, 12, 13 a 19 agenturního dokumentu [12], a tím i obnovení continuity kritické infrastruktury [3,2,20].

Snížením nebezpečí korozního praskání trubiček, udržováním obsahu chloridů v kotelní vodě na nejnižší rozumně dosažitelné úrovni v souladu s principem ALARP [2,20] navíc nedochází k úplné ztrátě chladiva. Aplikací navrženého technického řešení oddálíme úplnou ztrátu chladiva na dobu, kdy se sníží zbytkový výkon. V důsledku nižšího zbytkového výkonu se sníží i namáhání teplosměnných ploch, a tím nebezpečí důsledků koroze teplosměnných trubiček – prodloužíme čas na přípravu odezvy [2,8,20] a mezitím se část inventáře redukuje množstvím jódu 131 radioaktivním rozpadem. Který by mohl při předčasném roztěsnění primárního okruhu, uniknout do okolí jaderné elektrárny Temelín. Z uvedených výpočtů i rezerv chladiva je patrné, že na rozhodnutí, přípravu a nastavení trasy odluhování bude od začátku události i omezené kapacitě personálu poměrně dost času-minimálně 193 hodin.

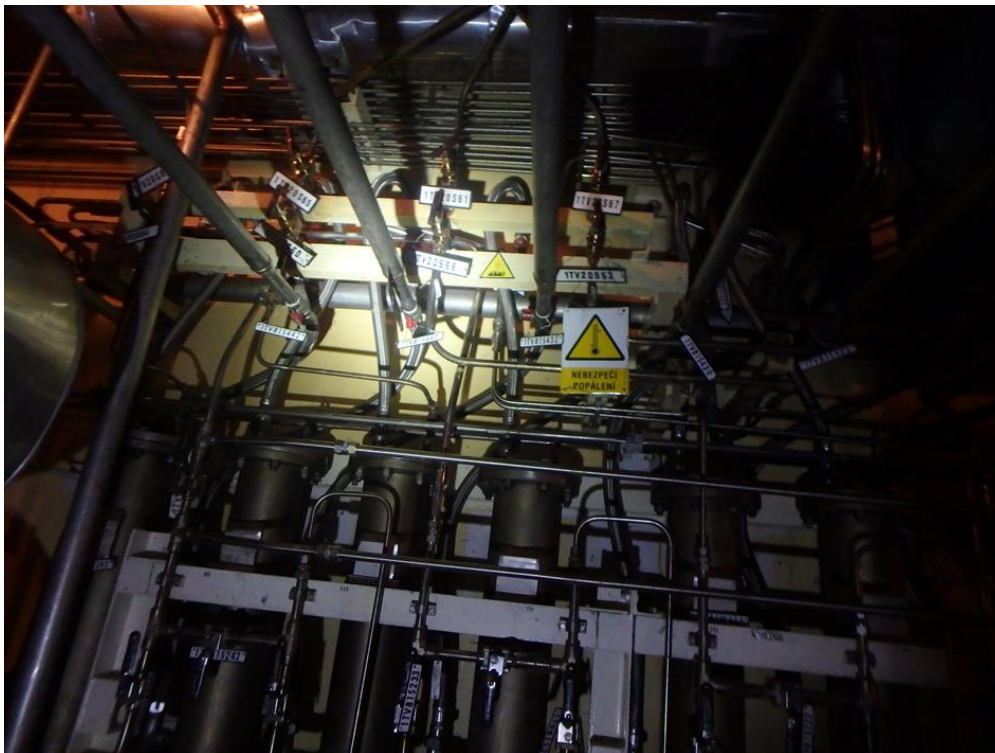
Na navržené trase podle obrázku 14 není v podmínkách SBO možné stanovit aktuální průtok. Zároveň pro efektivní využití chladiva i dodržení požadavků ruského projektanta je však vhodnější neměřit samotný průtok, ale zajistit aby nebyla překročena požadovaná solnost kotelní vody. V podmínkách SBO je proto jednodušší regulovat průtok ručně na základě změny vodivosti odebraného vzorku odluhu. Takové komerční přístroje jsou dobře dostupné. Na obrázku

22 je zachycen jeden z běžně dostupných přenosných digitálních přístrojů [26]. Pracuje až do solnosti 1382 mg/L s dostatečnou přesností $\pm 2 \%$ rozsahu.



Obr. 22. Přenosný konduktometr COMBO [27].

Nezanedbatelný přínos popsaného řešení představuje i možnost ručního ovládání procesu, resp. regulace armatur odluhování parogenerátoru z místnosti, která se nachází v dostatečné vzdálenosti od kontejnmentu [25]] a zároveň se v této místnosti nachází stabilní odběrové soupravy vzorku jak je patrné z obrázku 23. Jedinou výjimkou armatur, které nejsou ovladatelné silami směny, jsou 2 rychločinné pneumatické ventily uvnitř kontejnmentu, které musí být otevřeny dálkově pomocí prostředků DAM [28].



Obr. 23. Soupravy pro odběr a dochlazení vzorků odluhů a odkalů PG, přímo v kobce A037.

LITERATURA

- [1] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Národní Akční Plán na posílení jaderné bezpečnosti jaderných zařízení v České republice*. Praha: SUJB 2018. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/Cesky_NAcP_Rev3_final.pdf.
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05103-0. Praha: ČVUT 2012, 318 p.
- [3] ČR. *Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)*.
- [4] ČR. *Nářízení vlády č. 462/2000 Sb. k provedení § 27 odst. 8 a § 28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů*
- [5] ČEZ, a. s., Jaderná elektrárna Temelín, *Předprovozní bezpečnostní zpráva JETE*. Temelín: JE 2009, 6159 p.
- [6] ČEZ, a. s., Jaderná elektrárna Temelín, *Celoblokový předpis pro nouzové provozní stavy OTC007/6, Činnosti při haváriích – Postupy pro úplnou ztrátu bezpečnostního napájení*, rev.3. Temelín: JE 2020, 227 p.
- [7] ČEZ, a. s., Jaderná elektrárna Temelín *Návody pro řízení těžkých havárií - Návod pro BD(ND), OTC030/1*. Temelín: JE 2018, 213 p.
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D., *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223 p.
- [9] Internetové periodikum Vodní hospodářství. *Popis Vodního díla Hněvkovice*, <https://vodniho.spodarstvi.cz/vodni-dilo-hnevkovice/>
- [10] WIKIPEDIA. *Popis Vodního díla Kořensko*, https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodní_nádrž_Kořensko
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-1, Rev.1* Vienna: IAEA 2000, 67 p.
- [13] ČEZ, a. s., útvar Příprava JE, *PRIMÁRNÍ ČÁST JE VVER 1000, Díl I., ZÁKLADNÍ ZAŘÍZENÍ PRIMÁRNÍHO OKRUHU*, Brno: ČEZ 2008, 599 p.,
- [14] ČEZ, a. s., útvar Příprava JE, *SEKUDÁRNÍ ČÁST JE VVER 1000, Díl II.*, Brno: ČEZ 2011, 442 p.
- [15] ČEZ, a. s., Divize výroba, Podnikový časopis *Temelínky*, č.4, Praha: ČEZ 2006, 6p.
- [16] https://www.novinky.cz/domaci/clanek/prazane-mohou-opet-pitnou-vodu-z-vltavy-podolska-vodarna-jicisti-piskem-i-uhlim-40367356#utm_content=ribbonnews&utm_term=pražské_vodárny_podolská_vodárna_rekonstrukce&utm_medium=hint&utm_source=search.seznam.cz
- [17] WIKIPEDIA. *Seznam velkých Black-Outů*. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_major_power_outages
- [18] PROCHÁZKOVÁ D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [19] JADERNÁ ELEKTRÁRNA TEMELÍN. *Systémový provozní předpis postup obnovy napájení při SBO OTS 419*, rev.5, 2021, 11 p.
- [20] PROCHÁZKOVÁ D. *Rizika spojená s pohromami a inženýrské postupy pro jejich zvládnání*. ISBN 978-80-01-05479-6. Praha: ČVUT 2014, 234 p.
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-35*. Vienna: IAEA 2015, 61 p. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1690Web-41934783.pdf>
- [22] ČEZ, a. s., Jaderná elektrárna Temelín, *Informační systém CHEMIS*.
- [23] MINISTERSTVO RUSKOY FEDERECII PO ATOMONNOY ENERGII. *Armatura dlya oborudovania i truboprovodov atomnyh stanciy, obschchkiye techniceskiye trebovaniya, OTT-87/91*, Moskva: 2004, 140 p.
- [24] HÜBNER, P. *Úprava vody v energetice*. ISBN 978-80-7080-746-0. Praha: VŠCHT, 2010, 296 p.
- [25] ČEZ, a. s., Jaderná elektrárna Temelín, *Informační systém GADUS*.
- [26] ÚNMZ. *ČSN 75 54 55. Výpočet vnitřních vodovodů*. 2014, 64 p.
- [27] HANNA INSTRUMENTS CZECH s.r.o., *Kombinovaný bateriový měřicí přístroj kotelní vody „COMBO“* <https://www.hanna-instruments.cz/phectdst-combo-tester-vodotesny>
- [28] ČEZ, a. s., Jaderná elektrárna Temelín, *Celoblokový předpis pro použití prostředků DAM, dálkové ovládání armatur OTC033R1/DZ01*, příloha 17, vydáno 2018, 9 p.

Poděkování: Autor děkuje za konzultace doc. RNDr. Daně Procházkové, DrSc. při zpracování článku.

PROJEKTOVÁNÍ TECHNICKÝCH DĚL ZALOŽENÉ NA ŘÍZENÍ RIZIK

RISK-BASED DESIGN OF TECHNICAL FACILITIES

Dana Procházková

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 00 Praha 6, Česká republika, danuse.prochazkova@fs.cvut.cz

Abstrakt: Lidská společnost potřebuje pro své bezpečí a rozvoj socio-kyber-fyzická díla, která zajišťují výrobky a služby, které jsou bezpečné, tj. plní spolehlivě své funkce a mají dobrou koexistenci se svým okolím, a to i za kritických podmínek. Pro zajištění uvedeného požadavku je nutné v co největší míře vypořádat relevantní rizika (a to i ta, která souvisí se stárnutím zařízení a komponent technických děl a s dynamickým vývojem prostředí v čase) při přípravě zadávacích podmínek a při projektování. Aby bylo možné vyprojektovat socio-kyber-fyzické dílo s těmito vlastnostmi, nestačí respektovat jen platné normy, standardy a postupy dobré praxe. Při projektování je třeba respektovat údaje o všech možných rizicích a jejich kombinacích, a k tomu používat také opatření uvedená v plánu řízení rizik pro projektování, který specifikuje místní podmínky a možnosti. Proto musí být použita správná metodika tvorby projektu, která zohledňuje všechna relevantní rizika. Protože předmětná metodika není dosud specifikovaná, článek navrhuje metodiku generace projektů technických děl socio-kyber-fyzické povahy, která se opírá o řízení rizik (risk-based-design methodology) a která již byla ověřena v praxi.

Klíčová slova: Rizika; socio-kyber-fyzické systémy; technická díla; projektování; projektování založené na řízení rizik; bezpečnost.

Abstract: For security and development, human society needs socio-cyber-physical facilities that provide products and services that are safe, i.e. they reliably perform their functions and they have good coexistence with their surroundings, even under critical conditions. In order to ensure that requirement, it is necessary in the highest extent to address all relevant risks (namely those that are related to ageing of fittings and components of technical facilities and with dynamic development of environment in time) in the preparation of the terms of references and in the design process. In order to design the socio-cyber-physical facility with these properties, it is not enough to respect only valid standards and norms and procedures of good practice. At designing, they need to be respected data on all possible risks and their combinations, and for this to use measures identified in the risk management plan for design, which specifies local conditions and possibilities. Therefore, the correct methodology of design creation considering the relevant risks needs to be used. Because such methodology has not been specified yet, the article proposes such the methodology of generation of technical facilities risk-based design, which was verified in practice.

Key words: Risks; socio-cyber-physical systems; technical facilities; designing; risk-based design; safety.

1. ÚVOD

Lidské životy v moderní společnosti jsou usnadňovány prostřednictvím socio-kyber-fyzických zařízení a děl, jejichž složitá systémová povaha je výsledkem znalostí a dovedností předešlých

lidských generací. Všechny pozitivní důsledky technického pokroku na fungování lidské společnosti jsou však vykoupeny existencí mnohem většího počtu rizik, která za jistých podmínek vedou k: selhání základních funkcí státu; snížení úrovně bezpečnosti a narušení koexistence socio-kyber-fyzických systémů (*dále jen "SKFS"*) s jejich okolím; a ztrátám na lidských životech a poškození zdraví lidí. Koexistence obecně znamená společnou existenci a v dnešní době, která se vyznačuje mnoha rozmanitými konflikty, roste její potřeba a význam [1–12].

SKFS se skládají z řady částí, které jsou propojeny a mají objektové nebo síťové struktury. Zvláštní pozornost je v současné době věnována rozsáhlým *SKFS*, které poskytují kvalitní základní služby a výrobky lidem. Jsou složité a mnohé z nich zajišťují plnění základních funkcí státu, a proto je s nimi spojeno slovo kritické [1–17]. Inženýrské systémy, od nejjednodušších po nejsložitější, splňují každodenní potřeby a požadavky občanů, a proto vyžadují cílenou antropogenní péči od fáze projektování až po ukončení životnosti.

Složité *SKFS* patří do různých odvětví řízení, a proto se velmi liší jak projektem, tak povahou a posláním. Kritéria a opatření pro řízení a vypořádání jejich rizik jsou proto závislá na odvětví, i když mají stejný cíl, a to bezpečnost. Bezpečnost znamená, že plní spolehlivé úkoly, pro které byly vytvořeny, a ani za kritických podmínek neohrožují sebe a své okolí [1-19]. Z důvodů velké rozmanitosti *SKFS* a prostředí, v němž jsou umístěny, jsou postupy pro budování jejich bezpečnosti specifické pro lokalitu a odvětví. Aspekty důležité pro provoz částí *SKFS* a celých *SKFS* se liší zejména v oblastech: znalostí a technických záležitostí, které podmiňují kapacitní možnosti *SKFS*; organizačních a právních záležitostí umožňujících provoz *SKFS* na určité úrovni bezpečnosti v území a v průběhu času; finančních záležitostí; personálu; sociální; a politiky na vnitrostátní a mezinárodní úrovni.

Na základě současných poznatků [13,14] se každý inženýrský systém vyznačuje strukturou, hardwarem, postupy, prostředím, informačními toky, organizací a rozhraními mezi uvedenými komponentami. Základním prvkem bezpečného navrhování *SKFS* v oblasti technických řešení je použití bezpečných prvků (tj. spolehlivých, funkčních a neohrožujících sebe a svá okolí), jejich kvalifikovaná propojení a provozní režimy umožňující bezpečný (tj. spolehlivý a bezproblémový) provoz a řádnou údržbu, zálohování prioritních částí prvků, součástí nebo systémů, používání různých zásad zálohování a promyšlené zavádění záloh. Vzhledem ke složitosti *SKFS* nestačí dodržovat platné normy a standardy, ale je nutné uplatňovat zásady inženýrství, která pracují s riziky, jak ukládá novelizace normy ISO 9000 z r. 2016.

Riziko je mírou ztrát, škod a újmy na aktivech veřejných i *SKFS*, které způsobí škodlivý jev (pohroma) s velikostí normativně určeného ohrožení rozpočtená na jednotku plochy a času, tj. je místně a časově specifické [12-20]. Aplikací dnes stále propagovaných metod řízení rizik při projektování (risk-based design) se nezpochybňují existující normy a standardy, protože jsou v nich skryty znalosti i zkušenosti z praxe; platí, že bez norem, standardů a legislativy by odborníci i odborná veřejnost byli odsouzeni k opakování chyb z minula.

Poučení z praxe ukazuje, že respektování norem, standardů a dobré inženýrské praxe pokrývá 68.4 % možných scénářů pohrom [16]. Proto novelizace mezinárodní normy ISO 9000, vydané v ČR v r. 2016 vyžaduje aplikovat analýzu rizik v souvislosti se zajišťováním kvality procesů a produktů ve firmách, které usilují o certifikaci či re-certifikaci systému řízení kvality. Předmětná norma odkazuje na další normy: ČSN ISO 31000 Management rizik – principy a směrnice; ČSN EN 31010 Management rizik – Techniky posuzování rizik atd. Předmětné normy však nestanovují, jak předmětné řízení rizik provádět.

Předložená práce ukazuje postup projektování technických děl, ve kterém se respektují požadavky platných norem a standardů a jsou doplněny (zprecizovány) poznatky získanými z řízení rizik. Pro praxi byl v práci [12] vytvořen plán řízení rizik pro projektování, který ukazuje

oblasti, ve kterých byly udělány chyby, které zapříčinily později při provozu havárie či selhání, a které v zájmu bezpečnosti musí být v rámci zpracování projektu řádně ošetřeny.

2. SOUHRN ZNALOSTÍ O PROJEKTOVÁNÍ SKFS

Každé území má své vlastní zdroje rizik [18] a vložením každého elementu, tj. *SKFS*, zdroje rizik přibydou, a proto je třeba z pohledu lidského bezpečí se vnějšími i vnitřními zdroji rizik zabývat v souvislosti s projektem *SKFS*. Současné poznatky ukazují, že rizika, která nebyla vypořádána, způsobují *SKFS* dříve či později ztráty, škody a újmy jak na veřejných aktivech, tak na aktivech *SKFS* [19].

SKFS mají formu objektů nebo sítí a představují složité systémy, jejichž formou je systém systémů – SoS [1-12,14,20]. Zahrnují technické, kybernetické, organizační a sociální systémy, tj. jednotlivá zařízení, stroje, komponenty, systémy nebo celé výrobní nebo servisní jednotky, a jejich propojení. Propojení jsou žádaná (vkládaná tvůrci *SKFS*) a nežádaná (tzv. interdependences), která vznikají jen za určitých podmínek (pohromách všeho druhu) a vedou ke ztrátám. Znalosti a zkušenosti ukazují, že *SKFS* jsou umístěny do určitého prostředí, které v každém případě reaguje na tyto *SKFS*, a to dříve či později. Z důvodů bezpečnosti musí být tyto reakce odhaleny předem a zváženy v projektu, aby bylo zajištěno bezpečí lidí, životního prostředí i samotných *SKFS*.

Cílem každého projektu *SKFS* je vytvořit zařízení či dílo, které je ziskové, ekonomické a bezpečné, a proto je nutno řešit širokou škálu problémů, např.: teoretická analýza kritických procesů, vybavení a umístění *SKFS*; postup praktického provádění technicky a finančně dostupných protiopatření v *SKFS*; výběr: materiálů; technických principů; konstrukčních postupů; stanovení kritických konstrukčních a montážních procesů atd.; experimentální ověření instalovaných zařízení a jejich provozuschopnosti za normálních, abnormálních a kritických podmínek; a zajištění: trvanlivosti; ovladatelnosti zařízení a procesů; požadované životnosti; kvality; dostatečných lidských zdrojů; udržení nákladů v požadované výši; technických služeb; a realizace budov, sítí a zařízení za stanovených podmínek atd.

Jak již bylo zdůrazněno, tak pro lidské bezpečí je to nutné, aby reakce prostředí po celou dobu životnosti *SKFS* byly přiměřené a aby fungovalo jeho soužití s okolím. **Zajištění těchto cílů musí být vloženo již do projektu *SKFS*.** Za prvé je třeba vzít v úvahu zdroje všech rizik (pohrom), tj. aplikovat přístup „All-Hazard-Approach“ [21]. Do této sady zdrojů rizik patří také zdroje destruktivních jevů, které jsou výsledkem všech vzájemných reakcí uvnitř *SKFS* i v jeho propojení s okolím za normálních, abnormálních a kritických podmínek [12].

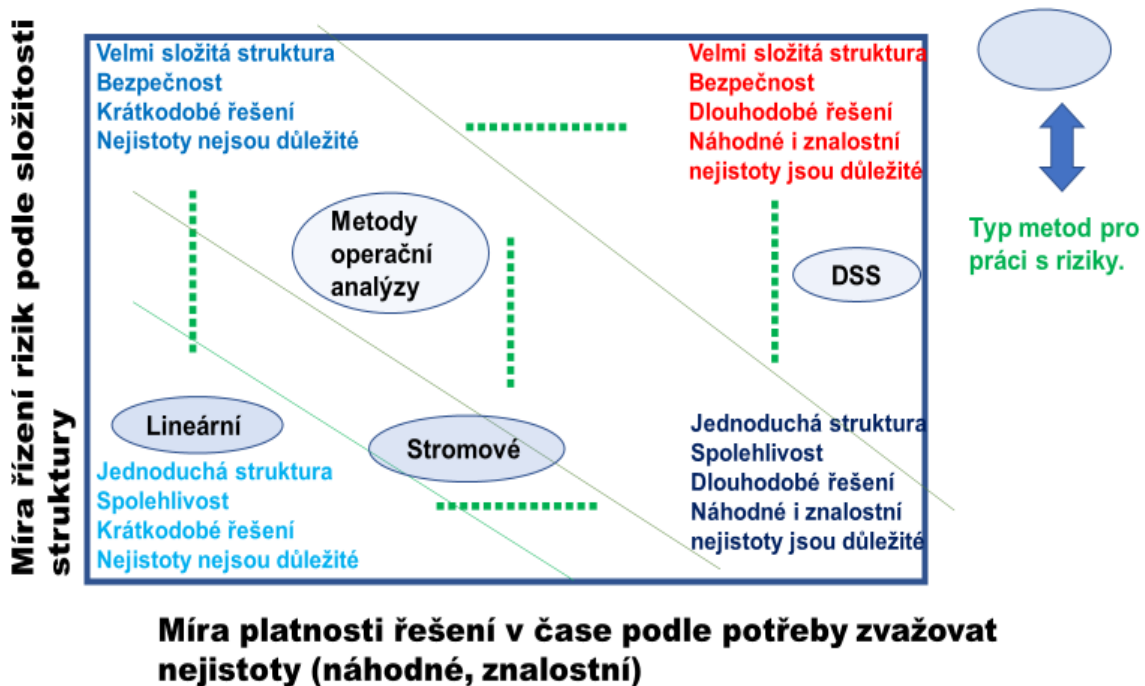
Identifikace interních zdrojů rizik v *SKFS*, které jsou spojené na jedné straně s jednotlivými technickými zařízeními, jejich uspořádání do konstrukčních částí a systémů a na straně druhé s výrobními procesy a jejich řízením, je činnost specifická pro konkrétní místo, která vyžaduje identifikaci rizik na několika úrovních, a to: technické vybavení; komponenty; systémy; technická, organizační a kybernetická propojení za běžných provozních podmínek; technická, organizační a kybernetická propojení za abnormálních provozních podmínek; technická, organizační a kybernetická propojení za kritických provozních podmínek; a pro vysoce důležité *SKFS*, jako jsou jaderné elektrárny, přehrady atd., technické, organizační a kybernetické propojení za extrémních provozních podmínek [13,14,22].

Při identifikaci zdrojů rizik *SKFS* je velmi důležité vzít v úvahu všechny stabilní a mobilní zdroje rizik uvnitř i vně *SKFS*: požáry (mžikový, proudový, kaluže, zážehový, tryskový, ohnivá koule – BLEVE, VCE); výbuchy (mechanické, elektrické, chemické, exploze mraků plynu, prachů a popř. jaderné); úniky nebezpečných látek, protože jejich dopady způsobí, jak přímé škody, tak i dominové efekty, které škody znásobují [6].

Každý nebezpečný jev může mít různé velikosti a různé pravděpodobnosti výskytu, a proto je důležité stanovení ohrožení pro každý možný jev. Vzhledem k tomu, že extrémní nebezpečné jevy (pohromy) se vyskytují zřídka a nepravidelně, je stanovení ohrožení jedním z hlavních kroků pro určení rizika [20].

Stanovení ohrožení je technicko-metodický postup stanovení maximální očekávané velikosti pohrom (včetně havárií a selhání všeho druhu). Vzhledem k tomu, že k závažným událostem dochází náhodně a nepravidelně, a svět se dynamicky vyvíjí v prostoru a čase (což také vede ke změnám podmínek, které vedou k pohromám, a samozřejmě také ke změnám vlastností pohrom), nelze použít jednoduché statistické metody (jejich předpoklady vyžadující stabilní procesy nejsou plně splněny). Vzhledem k tomu, že o této oblasti nemáme dostatek znalostí, musíme zvážit existenci nejistot, náhodných i znalostních, a používat metody založené na teoriích extrémů [23].

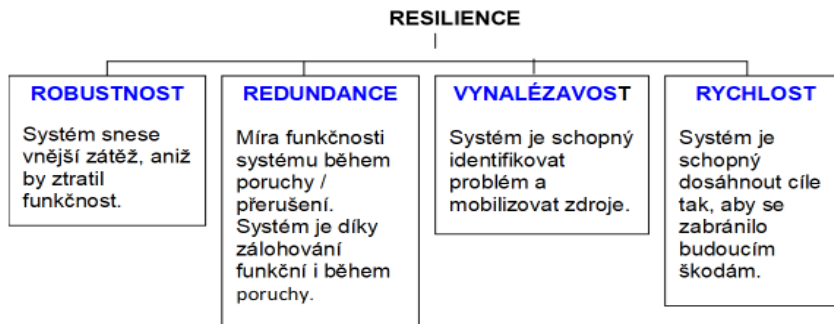
Podle křivek ohrožení určujeme projektovou (normální) pohromu, což je velikost pohromy, jejíž pravděpodobnost výskytu je jednou za časový interval, který je stanoven právními předpisy [20]. Parametry projektových pohrom se používají při projektování technických děl, výstavbě, vybavení komponentami a systémy a později i při provozu. Na základě místních podmínek se na základě normativně určených hodnot ohrožení se určují rizika a jejich rozložení. Metody pro jejich určení závisí na složitosti SKFS [12]; obrázek 1.



Obr. 1. Skórování způsobů řízení rizik podle složitosti struktury SKFS a cíle řízení rizik s identifikací potřeby zvážení nejistot a vhodných metod identifikace rizik.

Pro potřebu projektování parametry projektových pohrom vytvářejí zadávací podmínky SKFS. Jejich respektování při výběru materiálů, prvků, způsobu propojování prvků atd. zajišťuje, že do SKFS se vloží schopnosti pro prevenci, zmírňování a reakci na nepřijatelné situace způsobené vnitřními, vnějšími a organizačními zdroji nehod, havárií a selhání prvků, součástí a systémů, a to pro pohromy, které jsou menší než projektové pohromy. Zadávací podmínky jsou proto klíčovou součástí projektové dokumentace SKFS, která obsahuje technické, finanční, časové a další údaje určující bezpečné, spolehlivé a funkční SKFS. Vytvářejí tzv.

limity a podmínky pro bezpečný provoz *SKFS* [12]. Identifikují míru resilience (tj. souhrn robustnosti, redundance, vynalézavosti a rychlosti), obrázek 2, kterou bude mít *SKFS*.



Obr. 2. Vlastnosti zabudované do systému pomocí vložení resilience [16,17].

Podle údajů v [12,20] je nezbytné mít při vytváření zadávacích podmínek:

- znalosti: předpisů; rizik v místě, do kterého je *SKFS* umístěn; technického systému, který představuje *SKFS*; modelů a teorií spojených s haváriemi; metod analýzy, řízení a vypořádání rizik; a řízení podniku (finance, lidské zdroje, organizace, technologie, inovace...),
- kompetence pro: uplatňování výsledků metod analýzy a hodnocení rizik; provádění metodiky analýzy a hodnocení rizik přizpůsobených problému; řízení nouzových a krizových situací; analýzu situací / činností / nehod; přeměnu politiky na skutečná opatření; přeměnu statistik nehod na akční plány; strategické plánování; hierarchizaci problémů; vyhledání a aplikaci správných informací a poučení; kritickou analýzu; navrhování správných řešení; psanou a mluvenou komunikaci; provádění syntézy a přizpůsobování formulace určené veřejnosti; a prosazování etiky.

Pokud jde o vytváření zadávacích podmínek, je s ohledem na možné pohromy v lokalitě a v souvislosti se koexistencí *SKFS* s okolím nezbytné: upřesnit pro každou relevantní pohromu velikost ohrožení podle dané normy; určit kritické úkoly *SKFS* z hlediska integrální bezpečnosti; pochopit úkoly *SKFS* a příčiny jejich závažnosti; identifikovat možná lidská selhání při provozu *SKFS*; a navrhnout opatření pro zajištění bezpečnosti s ohledem na proměnlivé podmínky.

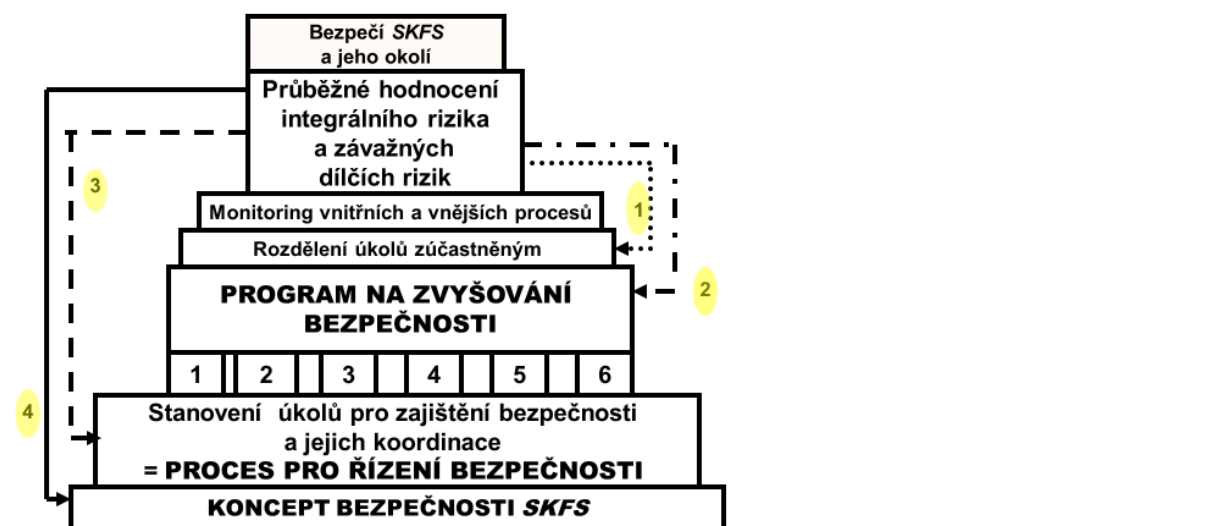
Kritické úkoly *SKFS* z hlediska integrální bezpečnosti jsou fyzické činnosti, kterými provozovatel přispívá k: vyvolání nežádáných a nepřijatelných jevů; detekci a prevenci těchto jevů; řízení a zmírňování těchto jevů; a reakci na mimořádnou situaci. Při vytváření zadávacích podmínek je třeba vzít v úvahu, že ke kritičnosti přispívají dle [12] také: nedostatečná komunikace (chyby a přerušení toku informací); rutinní přístup (jistota vyplývající z dlouhodobé praxe v kombinaci se ztrátou povědomí o rizicích způsobenou častými opakujícími se činnostmi a unavenou prací); nedostatek znalostí (nejednoznačnost nebo nepochopení); rozptýlení (zmatek, duševní chaos); nedostatečná týmová spolupráce (nekonzistentní úsilí skupiny lidí kvůli nedostatku sounáležitosti, strachu z jiných chyb, nevhodnému stylu vedení nebo nevhodné komunikaci); únava (je ignorována, protože ji lidé vnímají poté, co je nadměrná); nedostatek prostředků (nedostatek zdrojů, nástrojů a materiálů, nedostatečná dokumentace, nevhodné pracovní podmínky); nátlak (od nadřízených nebo kolegů, nedostatek času, nesprávné nastavení úkolu); nedostatek sebevědomí (neschopnost odmítnout provádět úkoly vyplývající z nedostatku sebevědomí, úzkosti nebo komplexů); stres (nervozita způsobená např.: časový tlak, nová metodika, změna rozsahu úkolů, soutěže nebo soukromé faktory); nedbalost (nesprávné posouzení možných důsledků jednání způsobeného např.: nátlakem, nedostatkem zkušeností nebo nedostatkem znalostí); přijatelnost velkého počtu odchylek od pokynů a norem s cílem usnadnit práci.

Jak již bylo výše uvedeno, cílem návrhu *SKFS* je vytvořit výrobní proces, který je ziskový, ekonomický, bezpečný a neohrožuje veřejná aktiva, zejména lidi a životní prostředí. Toho lze dosáhnout optimalizací bezpečnostních, ekonomických a funkčních kritérií. Proto projekt *SKFS* pokrývá širokou škálu problémů, např. výběr: materiálů; technických principů; postupy výstavby; postupy konstrukce; stanovení kritických procesů výstavby a konstrukce; způsobů ochrany v doménách fyzických, kybernetických atd.

Projektování proto vyžaduje účast mnoha různých znalostních oborů, tj. Je třeba mít na paměti, že zde se právě nejvíce projevuje lidský faktor. *Nízká spolupráce odborníků vede k chybám, ke kterým dojde později při provozu*, např. problémy s údržbou [13,14]; nemožnost opravovat důležité díly [25] atd. Proto je třeba již od začátku zvažovat základní logiku zacílenou na budování bezpečí, která je zobrazena na obrázcích 3 a 4.



Obr. 3. Procesní model vytváření bezpečí, jeho vstupy a výstupy.



Obr. 4. Model řízení bezpečnosti *SKFS* v čase. Procesy: 1- koncepce a řízení; 2 - administrativní postupy; 3 - technické záležitosti; 4 - vnější spolupráce; 5 - nouzová připravenost; a 6 - dokumentace a šetření havárií. Čísla ve žlutém kroužku označují zpětné vazby, které se aplikují, když integrální riziko nebo závažné dílčí riziko se ukáže nepřijatelné.

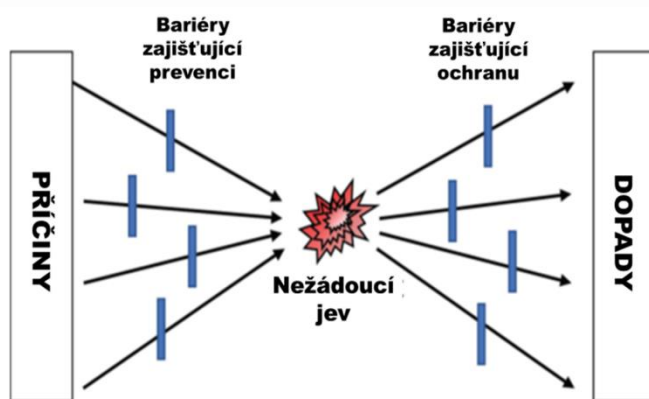
V každém projektu *SKFS* z hlediska bezpečnosti je nutné dodržovat požadavky na: trvanlivost; ovladatelnost zařízení a procesů; životnost; lidské zdroje; náklady; technické a jiné služby; bezpečí zaměstnanců, lidí v okolí a životního prostředí. Zvážení a řádné zajištění těchto požadavků určuje budoucí náklady na zajištění bezpečnosti a koexistence technického díla či zařízení s okolím. Například nezajištění lidských zdrojů pro provoz vede k omezení výroby nebo služeb poskytovaných *SKFS* [12]. Do ovladatelnosti patří i jasné naplánování rozdělení odpovědností za úkony, a to jak technické, tak organizační a kontrolní [14].

Projektování *SKFS* je velmi složitá činnost a v každé zemi je upravena vnitrostátní legislativou (např. v České republice zákon č. 183/2006 Sb.) a v některých případech mezinárodními předpisy [26,27]. Výsledky výzkumu [12] ukazují, že z hlediska bezpečnosti je hlavním cílem odvrátit nežádoucí kombinace nehod a selhání, které mohou způsobit havárie doprovázené velkými škodami. K tomuto účelu se používají proaktivní ukazatele nebo bezpečnostní funkce, které udržují bezpečnost při hraničních a popř. i přeshraničních (nadprojektových) podmínkách tak, aby nedošlo k výskytu závažné havárie.

Při projektování se používá sedm principů resilience (pružné odolnosti): zálohování; vkládání schopnosti pozvolné a řízené degradace; vkládání schopnosti návratu zařízení ze zhoršeného stavu do stavu normálního; flexibilita jak v systému, tak v organizaci provozu; vkládání schopnosti řídit mezní podmínky v blízkosti rozhraní; vkládání optimálních modelů řízení; snižování složitosti; a snižování možnosti výskytu nežádáných spřažení.

Do projektu je nutné zahrnout možnosti pro aplikaci programu na zvyšování bezpečnosti (obrázek 4), který zajišťuje: bezpečnost a funkčnost všech zařízení, které odpovídají jejich poslání; identifikaci, hodnocení, eliminaci nebo regulaci potenciálních rizik na přijatelné úrovni pro důležitá zařízení, systémy a jejich různé části; řízení rizik od všech zdrojů uvnitř i vně *SKFS*, které nelze odstranit; ochranu personálu, osob v okolí, zařízení a majetku; používání nových materiálů nebo výrobků a zkušebních technik pouze způsobem, který je spojen pouze s minimálním rizikem; vkládání faktorů pro podporu bezpečnosti, které zajišťují nápravná opatření, která vedou ke zlepšení; a zvažování všech vhodných historických údajů pro zajištění bezpečnosti generované podobnými programy na zvyšování bezpečnosti.

Umění projektanta spočívá v tom, jak rozdělí zvládnání rizik mezi preventivní opatření zabudovaná do projektu a opatření, které se provedou při odezvě, až se riziko realizuje; diagram bow-tie na obrázku 5. V druhém případě musí projektant uspořádat technické prvky a komponenty tak, aby byla možná údržba, testování, inspekce a byly tam i technické prvky, které umožní odezvu.



Obr. 5. Bow-tie diagram – rozdělení opatření na snížení rizik mezi projekt a odezvu při provozu *SKFS*.

Z technického hlediska v projektu *SKFS*:

- jsou: stanoveny podmínky a limity pro provoz; instalovány systémy pro podporu bezpečnosti (aktivní, pasivní a hybridní); a zajištěny vhodné zálohy,
- je vyřešeno: jaké systémy pro podporu bezpečnosti jsou vhodné a co musí být jejich zálohou; kde / kdy systémy pro podporu bezpečnosti systémy fungují nejučinněji; proč musí být používány právě tam a ne jinde; a v jakých mezích spolehlivě pracují.

Je skutečností, že při navrhování *SKFS* se často používají software pro identifikaci šíření škodlivých jevů založená na stromových modelech. Na základě současných poznatků shrnutých v [20] je třeba mít na paměti, že modely stromů nevytvářející základ pro zvládnutí všech možných pohrom, které jsou zdrojem rizik, jež ovlivňují celý *SKFS*, protože začínají v jednom bodě technického díla či zařízení. Např. nelze jimi modelovat dopady vnějších živelních pohrom, útoků a lidského faktoru, které postihnou najednou více míst *SKFS*. Přitom právě většina velkých havárií technických děl vznikla současnou kombinací několika malých nehod a selhání [19].

Podle [10,11,30-33] je pro bezpečnost *SCPS* během životnosti nutné při navrhování zvážit u každého kritického procesu problémy spojené s: daným procesem; projektem procesu; řízením procesu; provozním personálem a signalizováním jeho stavu; systémem řízení bezpečnosti; dalšími technickými systémy, které podporují bezpečnost; externími aktivními a pasivními systémy pro zmírnění rizik, která vedou k selhání procesu; nouzovou odezvou *SKFS*; a odezvou v okolí *SKFS*.

Podle poznatků shrnutých v [12,14] je důležité, aby strategie řízení rizik procesů používala: zásady inherentní bezpečnosti; systémy pasivní bezpečnosti; systémy aktivní bezpečnosti; různé typy bariér; a procedurální postupy, které jsou prokázány nebo důkladně otestovány tak, aby za možných podmínek neobsahovaly latentní zdroje nebezpečí [12].

Pro zajištění bezpečnosti *SKFS* se při projektování používá princip "obrana do hloubky" [32]. Uvedený princip je zajištěn promyšlenou kombinací několika následných, téměř nezávislých úrovní ochrany. Jeho základním cílem je zajistit, že když selže jedna úroveň ochrany nebo bariéry, tak je k dispozici následující úroveň. Pokud je přístup dobře aplikován, tak by nemělo individuální technické, lidské nebo organizační selhání vést k ničivým dopadům a kombinace současných několika selhání vedoucí k ničivým dopadům by měla mít jen nízkou pravděpodobnost výskytu [12,25].

Z odborného hlediska musí finální projekt obsahovat dokument o bezpečnosti (bezpečnostní zpráva) *SKFS*, ve kterém jsou obsaženy odpovědi na otázky: co se může porouchat; co nemusí fungovat (identifikace nebezpečí a jeho analýza); jak závažné mohou být důsledky (posouzení rizik); jaká opatření je třeba přijmout, aby se tomu zabránilo (řízení rizik); co je třeba udělat, když k tomu dojde (opatření odezvy).

3. ÚDAJE A METODY POUŽITÉ PŘI VÝZKUMU

Pro výzkum byla sestavena původní databáze havárií a selhání *SKFS* ze světových údajů [25]. Databáze obsahuje 7829 událostí ze světových zdrojů za posledních 35 let, které byly autorům práce [12] přístupné; 521 událostí vzniklo kvůli chybám při projektování. V práci [12] je podrobně analyzováno několik případových studií, které ukazují, jak zanedbání v projektu vede k nepřijatelným dopadům. Při jejich vyhodnocení byly použity metody: What, If; Kontrolní seznam; diagram rybí kosti; případové studie; strom událostí; FMECA; atd. [33].

Příčiny selhání *SKFS* vzniklé při projektování byly kriticky posouzeny a rozděleny do tříd podle podobnosti příčin a vytvořily základ pro zpracování systému pro podporu rozhodování o rizicích (decision support system-*DSS*). Předmětný nástroj umožňuje vícekritériální posouzení možných rizik *SKFS* a stanovení velikosti celkového (integrálního) rizika [12].

Výsledky získané z analýzy faktů získaných z poučení při odezvách na dopady rizik byly rovněž kriticky posouzeny a rozděleny do tříd podle podobnosti nástrojů odezvy a vytvořily základ pro plán řízení rizik, který je založen na metodě řízení TQM [34] a je doporučen normou ISO 31000 [35]. Předmětný plán obsahuje opatření, která je třeba přijmout při projektování, aby se předešlo realizaci závažných rizik.

4. PŘÍČINY RIZIK SKFS, KTERÉ MAJÍ PŮVOD V PROJEKTOVÁNÍ

Jelikož projektování je lidská činnost, tak jde o řízení rizik, které vyvolávají tzv. organizační havárie. Původci organizačních havárií jsou projektant, zadavatel projektu a dozorné orgány [12,14,36]. Příčiny selhání SKFS a nehod v databázi [25] byly rozděleny do kategorií: věcné nedostatky v projektování SKFS; nedostatky při výkonu dohledu investora, budoucího provozovatele a veřejné správy nad projektováním; nedostatky právních předpisů; a další. Tyto kategorie byly pak dále rozděleny. Konkrétními zjištěnými příčinami selhání a nehod SKFS zjištěných při navrhování jsou opomenutí, chyby a nedostatky při:

1. Projektování SKFS – věcná oblast:

- chyby v zadávacích podmínkách (nepoužití postup All Hazard Approach – tj. zanedbání některých možných pohrom možných v lokalitě; nesprávně stanovená velikost ohrožení (podcenění velikosti pohrom – např. jen aplikací deterministických anebo pravděpodobnostních metod; tj. nepoužití teorií dovolujících stanovení extrémů z důvodu nepravděpodobnosti a řídkosti výskytu extrémních jevů),
- chyby v projektu (pro výpočty použit nevhodný model stavby s ohledem na podmínky v lokalitě, a to buď příliš teoretický, nebo obecný či neměl vypořádané nejistoty a neurčitosti; nezpracován správně princip Defence-in-depth)
- nezávažování zranitelnosti lokality (např. velké množství obyvatel, existenci objektů jako jsou nemocnice, školy apod.; nedostatečně kapacitní zdroje energie, vody a kanalizace, nedostatečná kapacita dopravních cest, nedostatek personálu k obsluze apod.),
- neurčení kritických míst stavby, a tudíž nepřijetí opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, tj. k zajištění jejich spolehlivosti a zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy),
- neurčení kritických míst technologie a výrobních procesů, a tudíž nepřijetí opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, ochraně a k zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy, principy ke zvýšení bezpečnosti),
- nebyla určena a v projektu zvážena a odpovídajícím způsobem řešena kritická místa technologie (tlaková zařízení, ve kterých jsou nebezpečné látky, anebo v nich probíhají nebezpečné reakce či natlakovaná potrubí, hlavně tas s nebezpečnými látkami) a místa, ve kterých je nebezpečí selhání obsluhy z pohledu možných rizik,
- nedodržení norem a přístupů dobré praxe či použití chybných norem, což způsobilo, že v projektu navrženy: nevhodné materiály; nevhodné technické principy; nevhodné postupy výstavby; nevhodné postupy konstrukce; nebyly stanoveny kritické procesy výstavby a konstrukce a navržena specifická opatření pro jejich kvalitní provedení; zařízení, stroje, komponenty a systémy nesplňovaly požadavek na bezpečnost, spolehlivost a dlouhodobou funkčnost, tj. trvanlivost a snadnou ovladatelnost zařízení a procesů; nerespektovány ergonomické požadavky obsluhy, nároky servisu, údržbu a finanční náklady s nimi spojené; nevhodné umístění ochranných zařízení a systémů na podporu bezpečnosti; nevhodné technologie výstavby, konstrukcí a montáže,
- při vytváření projektu automatických a poloautomatických systémů řízení byly nedostatky způsobené nedostatečným poznáním nebo nedostatečnou spoluprací specialistů z různých oborů či použitím chybných nebo nedokonalých nástrojů IT,
- nezpracování technických opatření pro základní fyzickou a kybernetickou ochranu SKFS,
- nezávažování možností změn v: zákonech během výstavby; systému daní během výstavby; systému úroků během výstavby; situaci na trhu – inflace, deflace, změny poptávky aj.; podpory SKFS ze strany státu (např. při změně politické reprezentace); dodávkách zásadních materiálů a technologií a spoléhalo se jen na jednoho dodavatele, což vedlo

k problémům při výstavbě a provozu – např. z nedostatku financí či nedostupnosti daného materiálu pak byly ošizeny některé stavby a vybavení.

2. Dohled veřejné správy nad projektováním a zhotovováním *SKFS*– organizační oblast:
 - nedostatečný dohled veřejné správy, např. nevyžadovala dokumentaci o průkazu bezpečnosti technického díla (tj. v českém slangu bezpečnostní dokumentaci) ve všech důležitých sledovaných šesti etapách *SKFS*,
 - zanedbání řešení dostatečné kapacity místních zdrojů energie, vody a kanalizace, dopravních cest a personálu při umístění a projektování *SKFS*,
 - dovolena významná kontaminace životního prostředí a dlouhodobé narušení života místních obyvatel při výstavbě,
 - zanedbání posouzení finanční schopnosti zhodnotitele a investora při udělování příslušných povolení.
3. Nedostatečná legislativa:
 - nedostatečná kontrolní pravomoc veřejné správy,
 - nedostatečná legislativa upravující požadavky na projektování, zhotovení a uvedení do provozu *SKFS* (příliš obecná, neúplná, dovoluje několikerý výklad),
 - nedostatečná vynutitelnost práva na úseku bezpečnosti, ochrany zaměstnanců, ochrany veřejnosti a životního prostředí.
4. Jiné:
 - stát neměl zajištěnu odbornou instituci, která byla schopna odborně posoudit proces zhotovení *SKFS* po všech stránkách,
 - uspěchanost při projektování a výstavbě kvůli tlaku politiků,
 - stát neměl vypracován systém dohledu nad projektováním a zhotovováním *SKFS*,
 - stát neměl kritéria na posuzování správnosti projektování a zhotovování *SKFS*,
 - zhotovitel a investor během projektování a zhotovování *SKFS* nespolečovali s veřejnou správou,
 - výskyt přírodní katastrofy jako: zemětřesení; sesuv půdy; povodeň; Oheň výskyt jevů jako: korupce; útok zasvěcených osob; útok hackerů; teroristického útoku.

Schematicky jsou příčiny rizik spojené s projektováním ukázány na obrázku 6.



Obr. 6. Příčiny selhání koexistence *SKFS* a jeho okolí z důvodu nedostatku či chyb při projektování, zhotovení a spouštění technického díla do provozu.

Kritické vyhodnocení havárií a selhání SKFS [19] ukázaly, že předmětné jevy jsou způsobeny buď velkou pohromou (obvykle živelnou), anebo náhodnou kombinací mnoha “malých” škodlivých jevů nahromaděných v krátkém časovém okamžiku, která se stane ničivou, i když jednotlivé škodlivé jevy ničivý potenciál nemají. Protože druhý případ je častější (70-80%), je třeba již v projektování **zvažovat kombinace škodlivých jevů**. Některé kombinace zatížení se zvažují u jaderných zařízení [27], ale i tam je třeba podle výsledků analýz havárií v posledních 30 letech zvýšit jejich počet.

5. PLÁN ŘÍZENÍ RIZIK PŘI PROJEKTOVÁNÍ

Plán řízení rizik pro proces projektování je po principech prevence druhým důležitým nástrojem pro projektování SKFS. Zabraňuje opakování chyb minulých projektantů SKFS. Při vytváření tohoto špičkového nástroje řízení bezpečnosti v konkrétním případě je nutno zvažovat jak současné znalosti a zkušenosti s riziky spojenými s SKFS a jejich okolím shrnuté v [12], tak nové skutečné poznatky, které se získají analýzou místních podmínek. Cílem plánu řízení rizik je zajistit koexistenci SKFS s okolím. Uvažuje se o dvou hlavních aktérech, a to veřejné správě, která dohlíží na činnost na území včetně SKFS s cílem zajistit bezpečnost území a občanů, a projektantovi, který je zodpovědný za bezpečnost projektu SKFS, která zahrnuje také ochranu okolí a obyvatel. Povinnosti v oblasti druhého aktéra mají i investor a budoucí provozovatel SKFS. Plán řízení rizik se připravuje ve formě tabulky. Tabulka 1 ukazuje výtah z kompletního plánu řízení rizik při projektování, který je uveden v [12].

Tabulka 1. Plán řízení rizik pro projektování technického díla (SKFS).

Oblast původců rizika	Popis rizika	Pravděpodobnost výskytu Velikost dopadů	Opatření na zmírnění rizika
Veřejná správa	V důsledku neexistence strategie státu na úseku řízení projektování technických děl zacílené na bezpečnost je možné upřednostnění momentálních politických zájmů, prosazení požadavků nátlakových skupin či nezvládnutí extrémních politických situací (válka, teroristické útoky), což následně vede ke snížení životní úrovně a bezpečí občanů, ekonomické nestabilitě apod.	Pravděpodobnost: velká Dopady: velké	Opatření: vypracovat příslušnou strategii ČR a upravit stavební zákon Provede: předseda vlády Odpovědnost: předseda parlamentu
		
	V důsledku nedostatečné kompetence orgánu veřejné správy při dozoru nad projektováním technických děl dochází k prodloužení výstavby, problémům při uvedení do provozu či k haváriím doprovázenými enormními výdaji z veřejného rozpočtu, narušení bezpečí občanů	Pravděpodobnost: velká Dopady: velké	Opatření: upravit kompetenční zákon a zákony s ním spojené, zákon o krajích a zákon o obcích Provede: předseda vlády ministr vnitra Odpovědnost: předseda Parlamentu
Investor technického díla		
	V důsledku chyb při výběru autorizovaného projektanta (nedostatečné znalosti a zkušenosti ze všech oborů, které musí být zohledněny v projektu) je projekt nekvalitní, což dříve nebo později	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: změna projektanta Provede: pověřený pracovník investora Odpovědnost:

	naruší výstavbu nebo provoz technického díla a povede k haváriím doprovázenými enormními výdaji, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou		ředitel investora
	V důsledku nezvážení průřezových rizik (spojených s propojeními zařízení, IT a člověk-stroj) v provedených bezpečnostních analýzách dojde dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla a povede k haváriím doprovázenými enormními výdaji, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: velká Dopady: velké	Opatření: zajistit, aby projektant provedl nápravu na své náklady a ve stanovené době Provede: pověřený pracovník investora Odpovědnost: ředitel investora
		
Budoucí provozovatel	V důsledku nepřesně zadaných požadavků na technické dílo projekt nekvalitně vyřeší místní specifika a dojde dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla a povede k haváriím doprovázenými enormními výdaji, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: zajistit, aby investor provedl nápravu Provede: pověřený pracovník budoucího provozovatele Odpovědnost: ředitel budoucího provozovatele
	V důsledku špatného odhadu nároků technického díla na energii, dopravu, dodávky vody, kanalizaci, likvidaci odpadů je projekt postaven na nereálných datech, což dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: zajistit, aby investor provedl nápravu, a jednat s veřejnou správou s cílem najít vyřešení problému Provede: pověřený pracovník budoucího provozovatele Odpovědnost: ředitel budoucího provozovatele
		
Autorizovaný projektant technického díla	V důsledku neznalosti nebo nepoužití požadované legislativy, norem a osvědčených principů dobré inženýrské praxe a výsledků práce s riziky je projekt nekvalitní a dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: zajistit nápravu, buď vlastními zdroji, anebo vnějšími zdroji přes objednávku Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
	V důsledku nejasného a nekompletního plánu prací na projektu ve formě ověřeného kontrolního seznamu a dříve nebo později dojde k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: stanovit jasný harmonogram prací, jejich kvality, cílů a termínu dodání Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
	V důsledku nedostatečných znalostí nebo financí nebyl vyžádán specifický průzkum místních podmínek, což vede dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: u investora vyžádat nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta

	V důsledku nedostatečné legislativy chybí v projektu opatření pro ochranu veřejných aktiv, limity a podmínky pro provoz kritických zařízení, záložní zdroje pro zvládnutí nouzových a kritických situací, což vede dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: u investora vyžádat nápravu a popř. požádat o podporu veřejnou správu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
	V důsledku nedostatečných znalostí zpracovatele projektu a špatného dohledu investora a veřejné správy použita technologie zpracování projektu způsobila nedostatky v projektu, které dříve nebo později povedou k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: doplnit tým o odborníky ve spolupráci s investorem a provést nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
	Nezpracování kompletní technické dokumentace (např. není přesný popis všech zařízení a způsobu jejich provozu) vede dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: doplnit tým o odborníky ve spolupráci s investorem a provést nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
	Nezvážení technických děl v okolí, která mohou způsobit selhání či havárii předmětného technického díla vede dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: velká Dopady: velké	Opatření: doplnit tým o odborníky ve spolupráci s investorem a provést nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
	Nezvážení výskytu situací, které mohou vyžadovat vícenásobky (např. zvýšení daňového zatížení, změna podpory ze strany veřejné správy, výskyt živelní či jiné pohromy apod.) vede dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: velká Dopady: velké	Opatření: doplnit tým o odborníky ve spolupráci s investorem a provést nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
	Chybné rozdělení investičního celku do etap vede dříve nebo později k narušení výstavby nebo provozu technického díla, enormním výdajům, narušení bezpečí občanů a k problémům s veřejnou správou.	Pravděpodobnost: velká Dopady: velké	Opatření: ve spolupráci s investorem a provést nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
.....			

Živelní pohroma, požár objektu	V důsledku výskytu dojde k narušení práce na projektu, což povede k nedodržení termínu, anebo ke snížení kvality projektu, což naruší další fáze zhotovení technického díla a povede k nedodržení termínu zhotovení a s tím spojenými vícenáklady a vícepracemi (např. údržba a fyzická ochrana zabraňujícího území)	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední	Opatření: ve spolupráci s investorem a provést nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
Selhání techniky, havárie, selhání kritických infrastruktur	V důsledku výskytu dojde k narušení práce na projektu, což povede k nedodržení termínu, anebo ke snížení kvality projektu, což naruší další fáze zhotovení technického díla a povede k nedodržení termínu zhotovení a s tím spojenými vícenáklady a vícepracemi (např. údržba a fyzická ochrana zabraňujícího území)	Pravděpodobnost: malá Dopady: velké	Opatření: ve spolupráci s investorem a provést nápravu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
Insider	V důsledku výskytu dojde k chybám v na projektu, což povede k nedodržení termínu, anebo ke snížení kvality projektu, anebo dokonce k narušení dalších fází zhotovení, či dokonce provozu technického díla, což si vyžádá vícenáklady, a způsobí narušení bezpečí, či dokonce újmy na životním prostředí a poškození zdraví zaměstnanců či lidí v okolí technického díla a problémy s veřejnou správou	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední až velké	Opatření: budovat kulturu bezpečnosti a motivovat pracovníky k práci zacílené na plnění úkolů Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
Teroristický útok	V důsledku výskytu dojde k chybám v na projektu, což povede k nedodržení termínu, anebo ke snížení kvality projektu, anebo dokonce k narušení dalších fází zhotovení, či dokonce provozu technického díla, což si vyžádá vícenáklady, a způsobí narušení bezpečí, či dokonce újmy na životním prostředí a poškození zdraví zaměstnanců či lidí v okolí technického díla a problémy s veřejnou správou	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední až velké	Opatření: ve spolupráci s investorem provést nápravu, tj. odezvu a obnovu, a zlepšit fyzickou ochranu a ostrahu pracoviště Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
Finanční krize	V důsledku výskytu dojde k nedostatku financí, což povede k chybám v projektu, zastavení prací na projektu či k nedodržení termínu dokončení projektu, a s tím spojeným narušením dalších fází zhotovení a k opoždění provozu technického díla, což způsobí vícenáklady, a sociální problémy (nezaměstnanost a narušení bezpečí), či dokonce újmy na životním prostředí a tím i problémy veřejné správě (náklady na sociální dávky, boj proti kriminalitě apod.)	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední až velké	Opatření: ve spolupráci s investorem a veřejnou správou provést ochranná opatření a zjistit přijatelný způsob řešení úkolu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta

Válka	V důsledku výskytu dojde k nedostatku financí, personálu, změně podpory státu apod., což povede k chybám v projektu, zastavení prací na projektu či k nedodržení termínu dokončení projektu, a s tím spojeným narušením dalších fází zhotovení a k opoždění provozu technického díla, což způsobí vícenásobné náklady, a sociální problémy (nezaměstnanost a narušení bezpečí), či dokonce újmy na životním prostředí a tím i problémy veřejné správě (náklady na sociální dávky, boj proti kriminalitě apod.)	Pravděpodobnost: malá Dopady: velké	Opatření: ve spolupráci s investorem a veřejnou správou provést ochranná opatření a zjistit přijatelný způsob řešení úkolu Provede: pověřený pracovník projektanta Odpovědnost: ředitel projektanta
-------	--	--	---

Plán řízení rizik při projektování *SKFS* slouží k ochraně před problémy, které z pohledu správnosti projektu bezpečného technického díla (*SKFS*) by měly bránit vydání stavebního povolení. Tabulka 1 ukazuje, že velkou roli hraje lidský faktor, a to při plnění kritických úkolů projektování (sestavování zadávacích podmínek, využití znalostí o tvorbě bezpečného projektu atd.), a při dohledu prováděného veřejnou správou, který musí být zaměřen na veřejný zájem.

Plán řízení rizik byl úspěšně testován na šesti středních *SKFS* [25]; jejich sestavování pro konkrétní místně specifické podmínky je v praxi náročné, pokud jde o znalosti a čas odborníků, a vyžaduje přístup k podrobným dokumentům *SKFS* a veřejné správy, které jsou spojeny s dodržováním určitých právních předpisů.

6. POSTUP VYTVOŘENÍ PROJEKTU *SKFS* ZALOŽENÉHO NA ŘÍZENÍ RIZIK

Na základě výše uvedených skutečností a zkušeností z praxe je sestaven postup pro sestavování projektu *SKFS* založený na řízení rizik, který respektuje platné normy, osvědčené postupy pro projektování a výše uvedené zásady pro řízení rizik. Vzhledem k tomu, že v mnoha případech je nutné při rozhodování o problému vzít v úvahu i protichůdná kritéria, použili jsme jak jednoduché metody při práci s riziky (lineární a stromové), tak nástroj s více kritérii, tj. DSS [12,19,36] pro každou komponentu, propojení komponent, výrobní proces a celé technické dílo.

Při rozhodování o konkrétních položkách je nutno použít jak dílčí rizika kritických komponent a systémů a jejich propojení, tak integrovaná procesní rizika i integrální riziko celku. Je třeba zvážit všechny zdroje rizik uvedené v kapitole 4 a určit jejich velikosti pro uvedené položky, které mají parametry požadované normami. U všech relevantních zdrojů rizik je třeba určit velikosti dopadů a podle nich navrhnout vhodná opatření, tj. změny vlastností sledované položky vedoucí ke zvýšení bezpečnosti.

Základním úkolem projektanta je rozpoznat všechna možná ohrožení aplikací přístupu All-Hazard-Approach, který byl vysvětlen výše a rozdělit je na přijatelná, podmíněně přijatelná (tolerovatelná ve smyslu ALARP) a nepřijatelná. V případě druhém a třetím musí projektant přemýšlet následujícím způsobem:

1. Jak mohu eliminovat dané ohrožení?
2. Jak mohu snížit velikost tohoto ohrožení?
3. Nemohu navrženými opatřeními na zvládnutí daného ohrožení vytvořit nové ohrožení?
4. Jaké technické a řídicí systémy je nutno použít pro řízení ohrožení, které zbylo?

Pro řízení bezpečnosti *SKFS* při provozu podle [12,19] v rámci tvorby projektu je nutné vytvořit:

- podmínky pro utváření kultury bezpečnosti při provozu *SKFS*, které jsou prováděny: dodržováním bezpečnostních pravidel a postupů; odpovědností vedoucích pracovníků; provozováním systémů hlášení na pracovišti; audity na pracovišti; komunikací se zaměstnanci; proaktivními přístupy k řízení rizik; zajištěním bezpečného pracoviště; komunikací o bezpečnosti a školeními zaměstnanců,
- správnou politiku prevence ztrát prováděnou řízením bezpečnosti (jde o vyšší prioritu než v případě orientace jen na spolehlivost),
- jasné rozdělení odpovědností (důležitý je soulad mezi pravomocemi a odpovědnostmi),
- rozřídění zařízení, konstrukčních částí a systémů podle kritičnosti,
- provozní předpisy pro normální, abnormální a kritické podmínky,
- správné režimy pro provoz zařízení, součástí a systémů, zejména kritických,
- souhrn kritických aktiv-jejich limity a podmínky a požadavky na kontroly založené na rizicích (risk-based inspections-RBI),
- plán údržby podporující bezpečnost (zvažuje prevenci a prognózy chování kritických zařízení, součástí a systémů),
- plán modernizace a obnovy zařízení, komponentů a systémů, zejména těch kritických,
- program nedestruktivních zkoušek kritických zařízení,
- nouzové (pohotovostní) plány,
- plán continuity, který zajišťuje přežití *SKFS* (zejména jeho kritických položek) v kritických i extrémních podmínkách.

Na základě výše uvedených znalostí a zkušeností z praxe shrnutých v pracích [12,14,18,19,25,36,37], navrhujeme techniku sestavování návrhu založeného na řízení rizik:

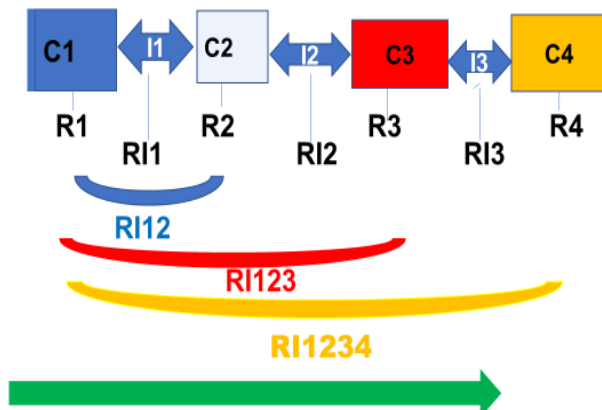
1. Vytvořit seznam součástí (prvky, komponenty) a systémů, které splňují normy a budou spojovány do dílčích celků.
2. Pro všechny položky v seznamu součástí a systémů (bod 1), které splňují stanovené normy a standardy určit limity a podmínky z hlediska jejich provozu na určitém místě, pokud jde o: a) materiál, ze kterého jsou vyrobeny; požadavky na provozuschopnost; pracovní režim, ve kterém budou pracovat; lidský faktor; a možná další rizika (vnitřní požár nebo výbuch a důležitá vnější rizika).
3. Pro všechny položky v seznamu součástí a systémů (bod 1) určit pro zdroje rizik specifické pro lokalitu či místo, ve které je *SKFS* či sledované položky umístěné se zvážením přístupu All-Hazard-Approach velikosti a charakteristiky dílčích rizik.
4. Pro všechny zdroje rizika (bod 3) stanovit scénáře dopadů pro nejméně příznivé podmínky; a pokud některé dopady rizik nejsou přijatelné, je nutné zvýšit požadavky na materiál, ze kterého jsou zhotoveny komponenty či systémy tak, aby tato rizika byla přijatelná. Není-li to možné, je třeba vložit do projektu *SKFS* opatření (opatrně, aby se nevytvořil zdroj dalších rizik), která umožní kvalitní odezvu na realizaci příslušného rizika při provozu.
5. Vytvořit propojení komponent a model jejich propojení, který splňuje normy a požadavky na inherentní bezpečnost.
6. Pro všechna propojení (bod 5) určit limity a podmínky z hlediska jejich materiálového složení, způsobu provedení (volné, těsné nebo složité), metody propojení (svary, šrouby, nýty, lepení atd.) a realizace možných dalších rizik (vnitřní požár nebo výbuch, lidský faktor a vnější rizika).
7. Pro zdroje rizik (bod 3) stanovit scénáře dopadů dílčích rizik pro všechna propojení (bod 5) a integrované riziko pro celek, které je vytvořeno propojením komponent či systémů; nejsou-li dílčí rizika a integrované riziko přijatelné, je nezbytné zvýšit požadavky na materiál či způsob provedení propojení komponent či systémů tak, aby tato rizika byla přijatelná. Není-

li to možné, je třeba vložit do projektu *SKFS* opatření (opatrně, aby se nevytvořil zdroj dalších rizik), která umožní kvalitní odezvu na realizaci příslušného rizika při provozu.

8. Pro zdroje rizik (bod 3) určit pro každý výrobní proces scénáře dopadů procesu pro nejméně příznivé podmínky, které ukazují dopady integrovaného rizika (tj. rizika procesu). V případě, že integrované riziko není přijatelné, zvýšit nároky na projekt: komponent výrobního procesu; pracovní režim; a operátory, aby rizika mohla být přijatelná. Není-li to možné, je třeba vložit do projektu *SKFS* opatření (opatrně, aby se nevytvořil zdroj dalších rizik), která umožní kvalitní odezvu na realizaci příslušného rizika při provozu.
9. Pro zdroje rizik (bod 3) určit integrální riziko, tj. celkové riziko *SKFS*. Pokud je riziko přijatelné pouze podmíněně (ALARP), provádět změny technologie, které umožní okamžitou reakci s cílem navrátit se do normálního stavu. V případě nepřijatelného rizika je nutné se vrátit k úpravě rizik procesů, dílčích rizik komponentů, systémů a jejich propojení a zavést do projektu *SKFS* opatření (opatrně, aby se nevytvořil zdroj dalších rizik), která umožní realizaci principů jako je “selži bezpečně”, tj. neprováděj nebezpečný úkon, informuj obsluhu a popř. začni provádět stanovené úkony odezvy.
10. S ohledem na zdroje rizika (bod 3) určit požadavky na systém řízení, tj. pro I&C i obsluhu za běžných, abnormálních a kritických podmínek. Zde je nutné, aby v každém okamžiku byly pro řízení k dispozici správné informace o stavu zařízení a okamžitých provozních podmínkách hlavně kritických zařízení a kritických procesů.

Příklad procesu projektování je zobrazen na jednoduchém obrázku 7. Nejprve se sestaví pro daný *SKFS* systém pro podporu rozhodování o rizicích jednotlivých komponent a jejich propojení, stanoví se stupnice pro hodnocení míry rizika – tabulka 2; a určí se postup budování projektu. Pak následuje:

- navržení komponent (C1, C2, C3, C4) a jejich propojení podle norem,
- podle scénářů pohrom se stanoví rizika komponent (R1, R2, R3, R4) a jejich propojení (RI1, RI2, RI3) a posoudí se dle tabulky 2 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení,
- podle DSS se určí riziko souboru propojení RI12 a posoudí se dle tabulky 2 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení,
- podle DSS se určí riziko souboru propojení RI123 a posoudí se dle tabulky 2 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení,
- podle DSS se určí riziko souboru propojení RI1234 a posoudí se dle tabulky 2 a v případě, že rizika nejsou přijatelná, tak se provedou korekce, např. v materiálu či způsobu propojení.



Obr. 7. Schéma procesu projektování založeného na řízení rizik. Zelená šipka zobrazuje postup vytváření projektu.

Podle zjištěných hodnot rizika se výsledky posouzení rizika řadí do tří skupin: riziko přijatelné – kategorie 0 a 1; riziko ALARA, tj. podmíněně přijatelné – kategorie 2 a 3; a riziko nepřijatelné – kategorie 4 a 5. Jeli riziko přijatelné, tak není třeba dělat žádné další opatření na zmírnění rizika. Je-li riziko ALARA, tak je třeba v projektu zabudovat technické prvky, které umožní odezvu v případě realizace rizika. V případě nepřijatelného rizika, je nutné provést korekce, např. v materiálu, konstrukci či způsobu propojení a znovu riziko posoudit.

Tabulka 2. Hodnotová stupnice pro stanovení míry rizika.

Kategorie rizika	Hodnoty míry rizika v %
Extrémně vysoká – 5	Více než 95 %
Velmi vysoká – 4	70–95 %
Vysoká – 3	45–70 %
Střední – 2	25–45 %
Nízká – 1	5–25 %
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %

Výše uvedený postup generace projektu *SKPS* založeného na řízení rizik byl úspěšně testován na sedmi středně velkých *SKFS* [25,37]. V současné době je aplikován při sestavení projektu malého modulárního reaktoru [39].

7. ZAVĚR

Kvalita projektu *SKFS* předurčuje bezpečnost *SKFS* po celou dobu provozu. Příklady z praxe ukazují, že některé chyby, jako je podcenění základových podmínek nebo některé chyby v zadávacích podmínkách nelze po dokončení a uvedení technického díla do provozu odstranit. Za určitých podmínek (např. při povodni nebo zemětřesení) představujících nebezpečí a mohou být dopady zmíněných rizik zmírněny pouze organizačními opatřeními, která s sebou nesou dodatečné náklady a nejsou schopny zajistit úroveň bezpečnosti na takové úrovni, jako správná opatření ve fázi projektování [12,13,14,25].

Výše shrnuté znalosti a výsledky studia nehod a poruch *SKFS* ukazují, že základem pro zajištění bezpečnosti technických děl a zařízení v požadovaném životním cyklu jsou znalosti: právních předpisů, norem a standardů; rizik v místě, kde je technické dílo či zařízení umístěno; technického systému, který představuje technické dílo či zařízení; modelů a teorií spojených s haváriemi a selháními; metod analýzy, řízení a vypořádání rizik; a způsobu řízení, který by měl provozovatel používat po uvedení technického díla do provozu (finance, lidské zdroje, organizace, technologie, inovace...). Kromě toho je nezbytné, aby všichni zúčastnění respektovali veřejný zájem, podíleli se na budování kultury bezpečnosti a aby manažeři motivovali zaměstnance ke kvalitní práci, a to i vlastním příkladem, jak ukazují tzv. zlatá pravidla [29]. Zásady pro jejich provádění musí být vloženy do projektu.

Analýza rozvoje životního prostředí a rozvoje politické, sociální a hospodářské situace ve světě ukazuje, že je třeba se připravit na řešení případů a opatření, která způsobí kritické situace s vyšší intenzitou dopadů, než je dnes. Aby bylo možné řídit realizace rizik, která jsou vlastní současnému světu, za použití odpovídajících sil, zdrojů a prostředků, je třeba mít: zásady pro zvládání nouzových a kritických situací, zejména těch, které jsou velkého rozsahu; zásady pro přidělování zdrojů; rozdělení odpovědnosti; a plán řízení rizik.

Při projektování složitých *SKFS* je nutné do projektu vložit racionální řízení každého procesu zacílené na bezpečnost procesu (proces safety management-PSM) a pro řízení celého technického díla vložit systém řízení bezpečnosti (safety management systém-SMS) [13,16,29]. Pro praxi je vytvořeno dvanáct metodik pro veřejnou správu [33], která ve veřejném zájmu provádí dozor nad všemi fázemi životnosti *SKFS*. Adaptované metodiky lze použít i pro práci s riziky v *SKFS* v případě externích zdrojů rizik. U interních zdrojů rizik je třeba vždy provádět zvláštní šetření, anebo uplatnit postupy používané v analogických *SKFS*, pokud jsou splněny podmínky pro přenos technologií [38].

Výsledky [12,36,37] ukazují, že u projektanta jsou velmi důležité kompetence pro: uplatňování výsledků metod analýzy a hodnocení rizik; provádění metodiky analýzy a hodnocení rizik přizpůsobených problému; řešení mimořádných situací a krizí; analýzu situací / činností / nehod; přeměnu politiky na skutečnou akci; přeměnu statistik nehod na akční plány; strategické plánování; stanovení hierarchie problémů; nalezení správných informací a poznatků; provádění kritických analýz; navrhování správných řešení; komunikaci; provádění syntézy a přizpůsobování znění určeného veřejnosti; a dodržování etiky. Při každém rozhodování ve prospěch bezpečnosti je třeba mít na paměti: všechny faktory a procesy, které mohou být nebezpečné a jak často se mohou vyskytnout; jak velké mohou být jejich dopady; jak lze snížit velikost dopadů nebo četnost výskytu; zda navrhovaná opatření nemohou být zdrojem nových nebezpečí; a kterými technickými a řídicími systémy lze ovládat ohrožení, kterým nelze zabránit.

A konečně je třeba poznamenat, že v souladu s výsledky v [12,14] je nezbytné, jaká je politická vůle vytvořit systém na ochranu před nepřijatelnými dopady škodlivých jevů. Výzkum ukázal, že:

- každý projekt technického díla či zařízení má určitá nebezpečí. Umění projektanta spočívá v tom, že umí zvolit optimální řešení, tj. řešení dostatečně bezpečné a realizovatelné s ohledem na možnosti investora a veřejné správy,
- působivé a málo robustní konstrukce s nedostatečnými bezpečnostními rezervami často dříve nebo později selžou,
- chybně stanovené limity a podmínky pro kritické části technického díla či zařízení vedou k častým poruchám až k vážným nehodám; taková technická díla nejsou schopná reagovat na změny stavu.

Analýza dostupných právních předpisů [25] odhalila, že dle platných pravidel není vyžadováno sledovat bezpečnost procesů při provozu ve fázi projektování, což občas vede k problémům v provozu [19]. Další chybou legislativy je skutečnost, že nevyžaduje opatření na snížení rizik, která se vyskytnou při náhlé časové kombinaci řady škodlivých jevů. Podle posledních zkušeností je třeba do legislativy zavést povinnost na zvažování vyšších hodnot projektových pohrom, alespoň u objektů kritické infrastruktury. Na základě zkušeností z praxe [25,37] je sestaven postup pro vytváření projektu *SKFS* založeného na řízení rizik. Metodika byla otestována v několika případech a dále pokračuje její implementace do praxe.

LITERATURA

- [1] ALE, B., I. PAPAOGLOU and E. ZIO. *Reliability, Risk and Safety*. ISBN 978-0-415-60427-7. London: Taylor & Francis Group 2010, 2448 p.
- [2] BEER, M. and E. ZIO. *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference*. ISBN 978-981-11-2724-3. Singapore: ESRA 2019, e:enquiries@ rpsonline. com.sg.
- [3] BÉRENGUER, C., A. GRALL and C. GUEDES SOARES. *Advances in Safety, Reliability and Risk Management*. ISBN 978-0-415-68379-1. London: Taylor & Francis Group 2011, 3035 p.
- [4] BRIŠ, R., C. GUEDES SOARES and S. MARTORELL. *Reliability, Risk and Safety. Theory and Applications*. ISBN 978-0-415-55509-8. London: CRC Press 2009, 2362 p.

- [5] CEPIN, M. and R. BRIS. *Safety and Reliability – Theory and Applications*. ISBN 978-1-138-62937-0. London: Taylor & Francis Group 2017, 3627 p.
- [6] HAUGEN, S., J. VINNEM, A. BARROS, T. KONGSVIK and A. VAN GULIJK. *Safe Societies in a Changing World*. ISBN 978-1-351-17466-4. ISBN 978-1-62276-436-5. London: Taylor & Francis Group 2018, 3234 p.; <https://www.ntnu.edu/esrel2018>.
- [7] IAPSAM. *Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*. ISBN: 978-1-62276-436-5. Helsinki: IPSAM & ESRA 2012, 6889 p.
- [8] NOWAKOWSKI, T., M. MLYŃCZAK, A. JODEJKO-PIETRUCZUK and S. WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA. *Safety and Reliability: Methodology and Application*. ISBN 978-1-138-02681-0. London: Taylor & Francis Group 2014, 2453 p.
- [9] PODOFILLINI, L., B. SUDRET, B. STOJADINOVIC, E. ZIO and W. KRÖGER. *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems: ESREL 2015*. ISBN 978-1-138-02879-1. London: CRC press 2015, 4560 p.
- [10] STEENBERGEN, R., P. VAN GELDER, S. MIRAGLIA and A. TON VROUWENVELDER. *Safety Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*. ISBN 978-1-138-00123-7. London: Taylor & Francis Group 2013, 3387 p.
- [11] WALLS, L., M. REVIE and T. BEDFORD. *Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice: Proceedings of ESREL 2016*. ISBN 978-1-315-37498-7. London: CRC Press 2016, 2942 p.
- [12] PROCHÁZKOVÁ, D., J. PROCHÁZKA, J. LUKAVSKÝ, V. BERAN a V. SINDLEROVÁ. *Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 207 p. <http://hdl.handle.net/10467/84466>.
- [13] PROCHÁZKOVÁ, D. *Safety of Complex Technological Facilities*. ISBN 978-3-659-74632-1. Saarbruecken: Lambert Academic Publishing 2015, 244 p.
- [14] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>.
- [15] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-06180-0, e-ISBN:78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2012, 318 p. ISBN 978-80-01-05103-0.
- [16] PROCHÁZKOVÁ, D. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223 p.
- [17] PROCHÁZKOVÁ, D. *Challenges Connected with Critical Infrastructure Safety*. ISBN: 978-3-659-54930-4. Saarbruecken: Lambert Academic Publishing 2014, 218 p.
- [18] PROCHÁZKOVÁ, D. *Rizika spojená s pohromami a inženýrské postupy pro jejich zvládnutí*. ISBN 978-80-01-05479-6. Praha: ČVUT 2014, 234 p.
- [19] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., a L. OUHRABKA. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. doi:10.14311/BK.9788001066751.
- [20] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik technických děl*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>.
- [21] FEMA. *Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning*. State and Local Guide (SLG) 101. Washington: FEMA 1996.
- [22] RAUSAND, M. *Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications*. John Wiley & Sons 2014.
- [23] EPSTEIN, W. Not Losing to the Rain: What I Learned when I Learned about Onagawa. In: *Safety and Reliability of Complex Systems*. London: Taylor & Francis Group 2015, pp. 365-371.
- [24] REASON, J. *Human Error*. Cambridge: University Press 1990.
- [25] ČVUT. *Databáze pohrom, havárií a selhání technických děl, jejich příčin, poučení a opatření odezvy*. Praha: CVUT 2021.
- [26] EU. *Council Directive 82/501/EEC of 24 June 1982 on the Major-Accident Hazards of Certain Industrial Activities*. Brussels: EU 1982.
- [27] IAEA. *Safety Guides and Technical Documents*. Vienna: IAEA 1954–2020. www.ns.iaea.org/standards
- [28] COMAH, *Safety Report Assessment Manual: COMAH*. London: UK – HID CD2 London 2002, 570 p.
- [29] OECD. *Guidance on Safety Performance Indicators. Guidance for Industry, Public Authorities and Communities for Developing SPI Programmes related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response*. Paris: OECD 2002, 191p.
- [30] HEIKKILÄ, A. M. *Inherent Safety in Process Plant Design. An Index-Based Approach*. Helsinki: VIT 1999, 132 p.
- [31] KLETZ, T., *Process Plants: A Handbook for Inherently Safer Design* CRC. London: Taylor&Francis Group 1998.
- [32] INSAG. *Defence in Depth in Nuclear Safety. INSAG-10*. Vienna: IAEA 1996.
- [33] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. ISBN 978-80-01-04842-9. Praha: ČVUT 2011, 369 p.
- [34] ZAIRI, M. *Total Quality Management for Engineers*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd. 1991.

- [35] ISO. *Risk Management – Principles and Guidelines. ISO 31000:2009.*
- [36] PROHAZKOVA, D., PROHAZKA, J. *Risk Management at Technical Facilities Designing, Building and Commissioning.* ISBN 978-80-01-06716-1. Praha: ČVUT 2020, 144 p. dspace.cvut.cz. <https://doi.org/10.14311/BK.9788001067161>.
- [37] PROHAZKOVA, D., PROHAZKA, J. Tool for Risk Reduction at Specific Component Aircraft Engine Welding. In: *Proceedings of International European Safety and Reliability Conference, ESREL2018.* ISBN 978-1-351-17466-4. London: Taylor & Francis Group 2018, pp. 3135-3142. <https://www.ntnu.edu/esrel2018>.
- [38] PROCHÁZKOVÁ, D. Šetření podstaty konfliktů technických řešení. *Kontrola MSK ČR 1992.* Praha: MSK ČR, 95 p.
- [39] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., DOSTÁL, V. Oblasti důležité pro bezpečnost zdroje elektrické energie na bázi SMR. In: *Řízení rizik procesů a bezpečnost složitých technických děl.* ISBN 978-80-01-06786-4. Praha: ČVUT 2020, pp. 319-370. <https://doi.org/10.14311/BK.9788001067864>.

Poděkování: Autorka děkuje podpoře z projektu RIRIZIBE CZ.02.2.69/0.0/0.0/16-018/00026 49 a projektu TAČR TK02030125.

RIZIKA SPOJENÁ S LETECKOU DOPRAVOU

RISKS CONNECTED WITH AIRBORNE TRANSPORT

Dana Procházková, Jan Procházka

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 00 Praha 6, Česká republika, danuse.prochazkova@fs.cvut.cz

VÚT v Brně, Ústav soudního inženýrství, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, Česká republika

Abstrakt: Článek se zabývá problematikou rizik spojených s leteckou dopravou. Ukazuje příklady příčin a dopadů vybraných nehod. Na základě kritické analýzy databáze leteckých nehod rozděluje příčiny nehod do šesti hlavních kategorií a vytváří nástroj pro podporu rozhodování o rizicích. Pro potřebu řízení rizik ve prospěch bezpečnosti letecké dopravy je sestaven nástroj pro rozhodování o rizicích, ve kterém byla zvážena hierarchická úroveň řízení letecké dopravy v ČR a aspekty, které posuzují: způsob zvažování rizik a jejich zdrojů; dosaženou úroveň bezpečí při daném provedení letiště; technickou úroveň zavedených opatření; materiálovou a energetickou náročnost; rychlost realizace opatření; nároky na personál; nároky na informační zajištění; nároky na finance; nároky na odpovědnost; a také nároky na řízení všech zúčastněných (tj. jak řízení letiště, tak řízení území). Kritickou analýzou odezev na letecké nehody navrhuje opatření pro řízení rizik, a zásadní z nich shrnuje v plánu řízení rizik.

Klíčová slova: Letecká doprava; letiště; letadlo; riziko; příčiny rizik; bezpečnost; systém pro podporu rozhodování o rizicích; plán řízení rizik.

Abstract: The article deals with the issue of risks associated with airborne transport. It shows examples of the causes and impacts of selected accidents. Based on a critical analysis of the air accident database, causes of accidents are separated into six main categories and a tool to support risk decision-making is created. For the need to manage risks in profit of air safety, a risk decision-making tool is set up in which the hierarchical level of air traffic management in the Czech Republic and the aspects which assess: how risks and their resources are considered; the level of security achieved in a given airport design; the technical level of the measures in place; material and energy performance; the speed at which the measures are implemented; personnel requirements; information security requirements; financial entitlements; liability claims; as well as management claims for all concerned (i.e. both airport management and territory management). By critical analysis of responses to airborne accidents, the risk management measures are proposed, and prime of them are summarised in the risk management plan.

Key words: Airborne transport; airports; aircraft; risk; the causes of the risks; safety; decision-support system on risks; risk management plan.

1. ÚVOD

Vzdušný prostor kolem nás je využíván mnoha různými subjekty, které mají rozdílné možnosti a požadavky. Zatímco rekreační a sportovní letci preferují volnost pohybu a co nejnižší nároky na finančně náročné přístrojové vybavení letadla, obchodní letecká doprava vyžaduje nejvyšší úroveň bezpečnosti a přesnosti poskytovaných služeb.

V důsledku rozvoje mezinárodních aktivit se neustále zvyšují požadavky na propustnost vzdušného prostoru. Tím nevyhnutelně narůstají rizika spojená s letovým provozem. Ačkoliv je v

letectví na bezpečnost kladen maximální důraz za všech okolností, dochází ve vzdušném prostoru k událostem, které jsou na hraně nebo i za hranou stanovených bezpečnostních limitů. Může se jednat o výskyt přírodních pohrom, selhání lidského faktoru, technických zařízení na zemi i na palubách letadel, a také systému řízení letového provozu jako takového. Posledně zmíněná skutečnost je považována za velmi zásadní v posledních cca 25 letech, a proto je jí věnována velká pozornost při vzdělávání, výcviku i praxi [1].

Předpisy pro civilní letectví, kterým se dále zabýváme, jsou sestaveny na základě dokumentů Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO, International Civil Aviation Organization), což je mezinárodní organizace přidružená k OSN. Podle této organizace má každé letiště, letecký dopravce a typ letadla svůj kód, které se používají v oficiálních dokumentech a komunikaci. Mezinárodní asociace leteckých dopravců (The International Air Transport Association - IATA) je nevládní mezinárodní organizace sdružující letecké dopravce, sídlí v Montrealu. Členy IATA je okolo 280 společností z celého světa. Předmětné společnosti zajišťují okolo 83 % pravidelné mezinárodní letecké přepravy. IATA [2]:

- přiděluje třípísmenné letištní kódy a dvoupísmenné kódy dopravců, které se používají po celém světě,
- stanovuje podmínky pro přepravu nebezpečného nákladu a vydává příručku „Dangerous Goods Regulations“, která se používá jako referenční příručka pro přepravu nebezpečného nákladu.

Zákon o civilním letectví č. 49/1997 Sb., letecký zákon implementuje požadavky mezinárodní Úmluvy o mezinárodním civilním letectví a dalších mezinárodních úmluv. Zákon nabyl účinnosti 1. dubna 1997 a od této doby byl již více než dvacetkrát novelizován. Letecké předpisy v České republice jsou předpisy, které jsou v souladu s příslušnými mezinárodními smlouvami o letectví. Podle předmětu činnosti se dělí na: L1 – Způsobnost leteckého personálu civilního letectví; L2 – Pravidla létání; L3 – Meteorologická služba v civilním letectví; L4 – Letecké mapy; L5 – Používání měřicích jednotek v letovém a pozemním provozu; L6 – Provoz letadel; L7 – Poznávací značky letadel; L8 – Letová způsobilost letadel; L9 – Zjednodušení formalit; L10 – Letecká telekomunikační služba v civilním letectví; L11 – Letové provozní služby; L12 – Pátření a záchrana v civilním letectví; L13 – Odborné zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů; L14 – Letiště; L14H – Letiště pro vrtulníky; L15 – Letecká informační služba; L16 – Ochrana životního prostředí – letecký hluk, emise letadlových motorů; L17 – Bezpečnost mezinárodního civilního letectví - Ochrana před protiprávními činy; L18 – Bezpečná přeprava nebezpečného zboží vzduchem; a L19 – Řízení bezpečnosti.

Další předpisy platné v ČR jsou: L4444 – Postupy pro letové navigační služby; L8168 - Provoz letadel; L8400 - Zkratky a kódy; L7030 - Regionální doplňkové postupy, EUR/RAC; L Frazologie - Radiotelefonní postupy a letecká frazeologie a terminologie pro poskytování letových provozních služeb a provádění letů; AR-26 - Dodatečné požadavky letové způsobilosti pro provoz; JAR-STD 2A - Letová výcviková zařízení pro letouny; JAR-STD 1A - Letové simulátory pro letouny; JAR-STD 1H - Letové simulátory pro vrtulníky; JAR-OPS 1 - Obchodní letecká doprava (Letouny); JAR-OPS 3 - Obchodní letecká doprava (Vrtulníky); JAR-STD 1H - Letové simulátory pro vrtulníky; JAR-66 - Osvědčující personál údržby; JAR-AWO - Provoz za každého počasí; a JAR-147 - Schválený výcvik údržby a zkoušky.

Základní pojmy z letectví, popis činnosti posádky letadel a Řízení letového provozu (ŘLP), základní letecké předpisy dle ICAO, letovou příručku, provozní příručku a předpis o odborném zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů a jejich vysvětlení lze nalézt v práci [3].

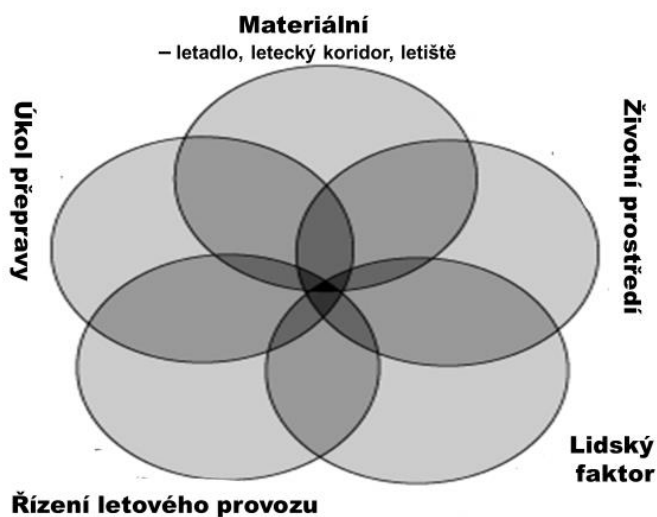
V předložené práci se zaměříme především na technickou oblast a na lidský faktor. U lidského faktoru budeme zvažovat, jak způsob provedení jednotlivých úkonů, tak především organizační oblast, protože člověk je jak tvůrcem technických zařízení, tak tvůrcem organizace provozu. Ze

studia havárií technických děl [4,5] vyplývá, že velmi mnoho havárií a selhání technických děl mělo v minulosti klíčovou příčinu v organizační oblasti.

Z hlediska současného poznání jsou hlavní komponenty letecké dopravy, tj. letiště, letadla i řízení letového provozu složité systémy systémů (SoS), jejichž povaha je socio-kyber-fyzická (technická) [4]; obrázek 1. Jejich bezpečnost při provozu je tudíž ohrožena nejen technickými nedostatky technických komponent a zařízení, ale i nedostatky ve způsobu jejich provozu a nedostatky v předávání správných informací, a to ve všech jeho formách, tj. od formy face to face až k vysoké automatizaci pomocí informačních systémů.

Proto v souladu s pracemi [4-6] jsou pro letový provoz jsou důležitá následující fakta:

- skládají se z několika autonomních částí, které mohou fungovat a být vyvíjeny nezávisle,
- chování celku nelze odvodit z chování jednotlivých částí,
- za jistých podmínek se objevují neočekávané jevy,
- je nutná interoperabilita, tj. schopnost SoS plnit kvalitně daný úkol za normálních, abnormálních a kritických podmínek. Jde schopnost, aby dílčí systémy fungovaly společně efektivním způsobem podle konceptu projektu, který je zaměřen na určitý cíl; je technická a organizační.



Obr. 1. Zobrazení složitého systému letecké dopravy.

Proto se při zajišťování bezpečnosti zvažují „organizační havárie“ [1]. Jejich příčiny se dnes dle [5] hledají ve třech základních aspektech:

- organizační procesy,
- podmínky, které působí vznik chyb nebo porušení předpisů,
- neřešené problémy, které dovolují chyby a/nebo porušení předpisů.

Organizační procesy zahrnují čtyři procesy, které jsou součástí každé technické či technologické organizace: projekce a konstrukce; výstavba; provoz a údržba. Uvedené procesy jsou zabudovány ve třech provázaných činnostech: stanovení cílů v rámci hospodářské a sociální situace podniku; organizace podniku pro splnění stanovených dlouhodobých strategických cílů; a řízení provozních činností.

Podmínky, které působí vznik chyb, jsou: neseznámení s úkolem; nedostatek času; špatný odstup signálu od šumu; neporozumění mezi konstruktérem a uživatelem; nevratnost chyb; zahlcení informacemi; záporný převod mezi úkoly (špatné předání úkolů); špatné vnímání (podceňování) rizika; špatná zpětná vazba ze systému; nezkušenost; špatné pokyny a postupy;

nedostatečná kontrola; nevhodné vzdělání osoby s daným úkolem; nepřátelské prostředí; a monotónnost a nuda.

Podmínky, které působí porušení předpisů a pravidel jsou: nedostatek kultury bezpečnosti v organizaci; rozpory mezi řídicími pracovníky a zaměstnanci; špatná morálka; špatný dohled a kontrola; normy tolerující porušování předpisů; špatné vnímání zdrojů rizik; postřehnutelný nedostatek péče a zájmu vedoucích pracovníků; malá hrdost na vlastní práci; machrovský přístup k práci, který povzbuzuje podstupování rizik; víra, že se nemůže nic špatného stát; nízká sebeúcta; poznaná bezmocnost; postřehnutelné povolení pro porušování pravidel; obojaká, dvojsmyslná nebo zjevně nesmyslná pravidla; a věk a pohlaví: mladí muži se dopouštějí porušování pravidel.

Neřešené problémy, které dovolují chyby a porušení předpisů / pravidel jsou:

1. Chyby se dějí jako důsledek problémů v informačních procesech a dají se pochopit ve vztahu k poznávacím funkcím jednotlivce. Dají se minimalizovat školením, zlepšením pracovišť, definicí rozhraní, lepším informováním atd.
2. Porušení předpisů / pravidel jsou založeny na motivaci. Jsou společenským jevem a dají se pochopit jen v souvislostech dané organizace. Porušení se musí odstranit změnou přístupů, přesvědčení, norem, morálky a kultury bezpečnosti.

Další podrobnosti lze najít pracích citovaných v [4-6].

Dle [4-6] je důležité sledovat vlastnosti:

1. Kritičnost SoS a jeho částí. Kritičnost **C** označuje stav závažnosti (míra důležitosti a zranitelnosti), tj. míra, s jakou může dojít k velkým ztrátám (úrazu osob, zničení materiálu atd.). $C = S * O * B$, kde **S** je závažnost největšího dopadu, **O** je pravděpodobnost výskytu jevu a **B** je podmíněná pravděpodobnost, že se vyskytne nejzávažnější dopad.
2. Integrita Bezpečnosti SoS - SIL. Jde o míru celistvosti SoS podle schopnosti SoS dosáhnout požadovaných bezpečnostních funkcí. Sleduje se většinou ve spojení s lidskými chybami v různých etapách životního cyklu systému. Patří sem např. chyby specifikace, chyby návrhu, chyby instalace, chyby údržby, chyby modifikace.

2. POZNATKY O LETECKÉ DOPRAVĚ

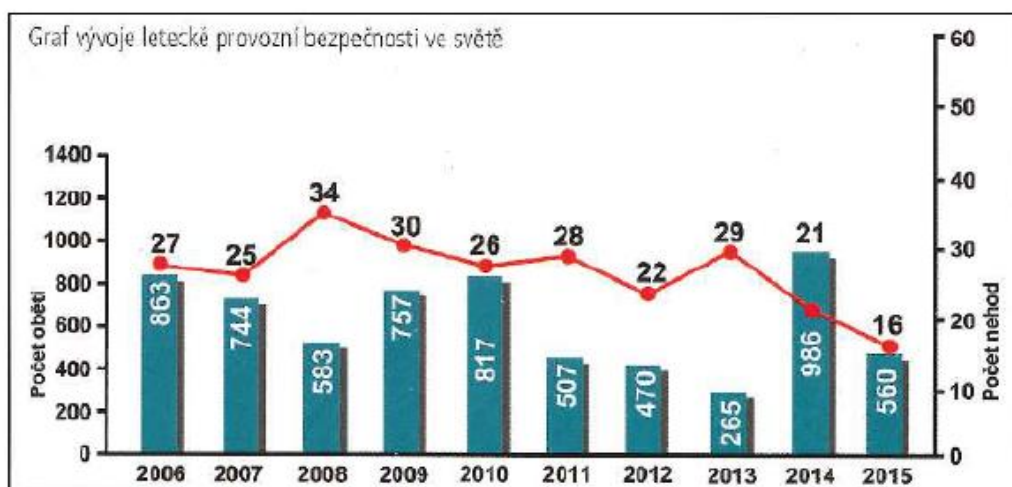
Letecká doprava je nejbezpečnější formou přepravy, ve srovnání s jinými druhy přepravy je malý počet dopravních nehod, avšak jejich dopady v případě zničení letounu jsou fatální. Podle údajů IATA (International Air Transport Association - Mezinárodní asociace leteckých dopravců) [2]:

- např. v roce 2006 celosvětově došlo k 0,65 dopravním nehodám s fatálními následky na 1 milion letů,
- v počtu dopravních nehod existují značné rozdíly mezi regiony - nejbezpečnější jsou střední a západní Evropa, Severní Amerika a Austrálie, nejméně bezpečná je Afrika,
- každý rok se také vyskytuje řada jevů, které v terminologii zabývající se nehodami a haváriemi označujeme jako skoro-nehody [4-6], tj. jevy, kde fatálním následkům zabránila rychlá reakce člověka, např. pilota, který nouzově přistál, když motory přestaly pracovat v důsledku nasátí ptáků do motoru.

Civilní letecká doprava ve světě v roce 2015 měla jen 16 fatálních nehod, což je doposud nejlepší výsledek v její historii [7]. Při těchto nehodách zahynulo 560 osob (pro srovnání s jinými druhy dopravy – jen v ČR za rok 2015 zahynulo na silnicích 660 osob). Uvedená statistika se vztahuje na letadla s minimální kapacitou 14 cestujících, přičemž celkový počet letů za uvedený

rok dosáhl hodnoty asi 34 milionů, tj. úmrtí jednoho cestujícího při letecké nehodě připadá na asi 4 857 000 letů [7]. Ze stejné práce vyplývá, že se daří globálně jen pomalu snižovat počet leteckých nehod, a že každá letecká nehoda si bere stále více životů. Vývoj provozní bezpečnosti v civilním letectví je na obrázku 2.

Z důvodu bezpečí lidí a veřejných aktiv systém řízení letového provozu musí být připraven na situace, které narušují letový provoz, ať už pocházejí zevnitř nebo z jeho okolí. V krajním případě může jít o letecké nehody bezprostředně ohrožující velké množství lidských životů. Za všech okolností musí být uděláno maximum pro zajištění bezpečného letového provozu v daném vzdušném prostoru. Jestliže má být rizikům pro letecký provoz rozumně předcházeno, je rozhodujícím prvkem pochopení příčin a plánování řešení možných nenadálých nebezpečných situací předem. Včasné uvedení postupů pro nenadálé situace vyžaduje rozhodnou iniciativu a kvalitní, včasné a rychlé provedení správných opatření. Detailní popis je v práci [8].



Obr. 2. Vývoj provozní bezpečnosti v civilním letectví v letech 2006-2015; převzato z [8].

Právě citovaná práce detailně popisuje jak způsob pohybu letadel po letišti, tak způsob jeho pohybu ve vzduchu. Důležité je, že žádný let nesmí být zahájen, dokud není provedena letová příprava a velitel letadla se nepřesvědčí o tom, že letoun je způsobilý k letu. Když dojde k nouzovému stavu, tak je důležitá spolupráce pilota s řízením letového provozu [9].

3. RIZIKA A BEZPEČNOST SOCIO-KYBER-FYZICKÝCH SYSTÉMŮ

Pro bezpečí a rozvoj lidí jsou zásadní technické systémy. Bezpečnost technických systémů zahrnuje technickou bezpečnost, kybernetickou bezpečnost, bezpečnost lidí a ochranu okolí. Technická bezpečnost je tak směsicí aspektů zacílených na zabezpečení a spolehlivost. Vyjadřuje se pomocí provozní spolehlivosti technického systému, která se popisuje zkratkami RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Security) nebo nověji, když se odlišuje bezpečný a zabezpečený systém, ARSS (Availability, Reliability, Safety, Security), přičemž dle [10] platí:

1. Dostupnost (availability) je schopnost systému poskytovat služby, když se požadují.
2. Spolehlivost (reliability) je schopnost systému fungovat tak, jak je zamýšleno, tj. plnit úkoly tak, jak mu byly předepsány. Zabývá se tím, co v systému selhalo. V posledních desetiletích se používá v technologiích slovo dependability, čímž se odlišuje matematická spolehlivost a technická, kde jde o proměnnou veličinu.

3. Bezpečnost (safety) je schopnost systému fungovat tak, že ani při kritických podmínkách nepoškodí sebe a nepůsobí škodlivě na okolí, tj. jde o soubor lidských opatření a činností, které schopnost vytvoří. Bezpečnost je dynamická vlastnost, která se mění v prostoru a čase a jistým způsobem také územně specificky, protože závisí na systému samotném a na podmínkách, do kterých je systém zasazen. Systém trpí jak přímými dopady pohrom, tak dopady zprostředkovanými složitými sítěmi vazeb, z nichž některé se aktivují jen za určitých kritických podmínek. Některé z dopadů se projevují až s větším či menším časovým zpožděním a v důsledku různých vnitřních a přímých zpětných vazeb v systému dochází za určitých podmínek k téměř nepředvídatelným nouzovým až značně kritickým situacím.
4. Bezpečí / zabezpečení (security) je schopnost systému ochránit se před nežádoucími vnějšími a vnitřními pohromami. Stav bezpečí jakéhokoliv technického systému je výsledkem fungování bezpečnosti, která je souborem procesů, jež mají pod kontrolou všechny faktory, které by mohly vést ke vzniku újmy.

Ze systémového hlediska se bezpečnost dle [10] skládá z komponent:

1. Informační činnost pro podporu rozhodování, protože stav bezpečí je výsledkem racionálního rozhodování, dobrých informací a správně provedených účinných činností. Je však třeba počítat s dopady na rozhodování o bezpečí jako jsou různá omezení (institucionální, právní, organizační), vlivy médií a veřejného mínění a dimenze politické (zájmové skupiny, ideologie) a technologické.
2. Zařízení podporující bezpečnost, což jsou zařízení, technologie a organizační složky.
3. Lidé jako subjekty bezpečnosti (experti a manažeři bezpečnosti), lidé jako objekty bezpečnosti (ochrana a prevence).
4. Procedury spojující lidi a strukturu.

Ze systémového pohledu jsou chráněnými aktivy (zájmy) také vazby a toky mezi chráněnými aktivy.

Riziko pro potřeby řízení socio-kyber-fyzických systémů je definováno jako pravděpodobná velikost ztrát, škod a újmy na chráněných aktivech rozpočtená na jednotku území a jednotku času. Pro zajištění dostatečné úrovně bezpečnosti musíme řídit rizika, přičemž jsou zásadně důležité vlastnosti systému jako zranitelnost, pružná odolnost a adaptabilita ke změnám vyvolaným vnitřními i vnějšími pohromami a lidským faktorem. Zranitelnost je integrální vlastnost systému, která je příčinou toho, že systém se za určitých podmínek nechová žádoucím způsobem, protože je pozměněna, ve smyslu lidského vnímání narušena, jedna nebo více složek z následného seznamu dle [10]: struktura a forma složení prvků systému; forma, směr a intenzita vazeb systému; forma, směr a intenzita toků systému; a vytvoření nových, či ztráta nebo závažná změna starých vazeb napříč systémem a jeho okolím.

Každé řízení rizik směřuje ke stanovení postupu pro jeho ovládnutí. Představuje kulturu, procesy a struktury zaměřené na efektivní řízení potenciálních příležitostí a možných nežádoucích důsledků. Je to interaktivní proces, který se skládá z kroků, které při zachování plánované postupnosti umožňují trvalé zkvalitňování rozhodnutí, a tím i následné zlepšování výsledků uskutečňovaných procesů.

Řízení rizik musí být integrální činností každé řídicí praxe, bez ohledu na úroveň řízení [10]. Dobré řízení a správné rozhodování je možné jen tehdy, když máme kvalitní data a umíme využít nástroje, které máme k dispozici. Data musí být validovaná, což znamená, že známe jejich velikost a přesnost a mají tak vypovídací schopnost pro řešený problém. Základním předpokladem k tomu, abychom byly schopni včas předvídat pohromy a učinit preventivní opatření ke zmírnění následků, je získání správných a přesných dat. Zkoumáním dat a zjištěním

souvislostí mezi daty získáváme důležité informace. Pokud takto získané informace dokážeme správně interpretovat v souvislostech, hovoříme o tom, že máme znalosti [10,11].

Pět klíčových aktivit v rámci řízení rizika dle [10] je:

1. Vymezení cíle a centra zájmu: identifikovat kontext, určit prioritní cíle a určit oblast a centrum zájmu úkolu. Výběry jsou založeny na hodnocení zájmů a cílů. Tím stanovíme, které riziko je pro nás prioritní.
2. Popis: směřuje k objektivnímu pochopení pravděpodobnosti výskytu a velikosti dopadu (v kvalitativním nebo lépe kvantitativním vyjádření). Jedná se o vysoce odbornou činnost vyžadující hluboké znalosti a kvalitní data.
3. Rozhodnutí: vyhodnocení kvality předpovědi pokud možno jako optimum při zvážení přínosů a ztrát. Rozhodnutí, jak zmírnit a řídit riziko a implementovat opatření, reprezentuje klíčový krok v rámci řízení rizika.
4. Komunikace: projednání souboru opatření a činností s klíčovými aktéry procesu a ostatními zúčastněnými. Legislativa vyžaduje v důležitých otázkách komunikaci s veřejností, konzultace, odstranění konfliktů a stanovení partnerství.
5. Monitoring a poučení: sledování určených veličin a jejich hodnot, které charakterizují důsledky rozhodnutí a činností, a v případě zjištění významných odchylek, které mohou narušit dosažení cíle, aplikovat korekce.

Cílem vypořádání rizika je provést opatření na snížení rizika. Cílem vyjednávání s rizikem je zajistit přijatelné bezpečí a udržitelný rozvoj území nebo jiného sledovaného objektu. Vyjednávání s riziky vychází ze současných možností lidské společnosti a spočívá dle [10] v rozdělení rizik do kategorií:

- část rizika se sníží, tj. preventivními opatřeními se odvrátí realizace rizika,
- část rizika se zmírní, tj. preventivními opatřeními a připraveností (varovné systémy a jiná opatření nouzového a krizového řízení) se sníží nebo odvrátí nepříjemné dopady,
- část rizika se pojistí,
- část rizika, pro kterou se připraví rezervy na odezvu a obnovu,
- část rizika, která je neřiditelná nebo příliš nákladná nebo málo častá, pro kterou se připraví plán pro nepředvídané situace (Contingency plan).

K tomu se rovněž připojuje rozdělení zvládání rizik mezi všechny zúčastněné. Rozdělení ve správném řízení se provádí tak, že se vychází z toho, že za zvládání rizik odpovídají všichni zúčastnění a že zvládání konkrétního rizika se přiděluje tomu subjektu, který je na to nejlépe připraven. Zvládání rizik v případě, že riziko není přijatelné, spočívá dle [10] v:

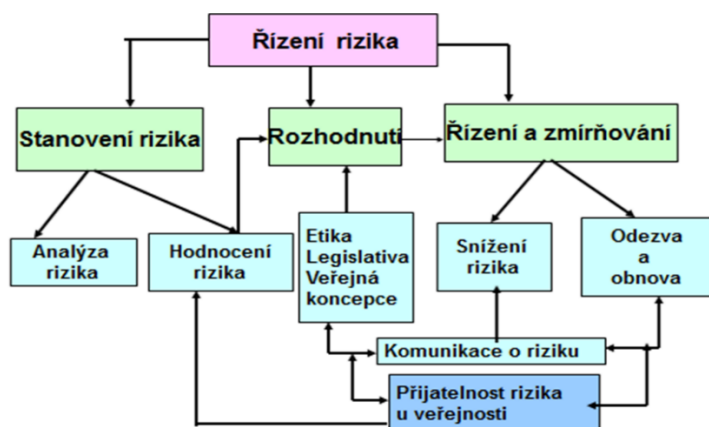
- vyhnout se riziku, tj. nezačít nebo nepokračovat v činnostech, které jsou zdrojem rizika, když to jde;
- odstranění zdrojů rizik, tj. zabránění vzniku pohrom, když to jde;
- snížení pravděpodobnosti výskytu rizika, tj. výskytu větších pohrom, když to jde;
- snížení závažnosti dopadů rizika, tj. příprava zmírňujících opatření jako jsou varovací systémy, systémy odezvy a obnovy;
- sdílení rizika, tj. rozdělení rizika mezi zúčastněné a pojišťovny;
- retence rizika.

Při výběru opatření na zvládání rizik je třeba zajistit, aby náklady na zvládnutí rizik nepřevýšily možné škody vyvolané realizací rizika. Všechny zásady a postupy dříve uvedené pro lidský systém, platí i pro každý jeho podsystém, tedy každý objekt či provoz. Jsou tedy platné i pro letový systém, respektive jeho podsystém letový provoz.

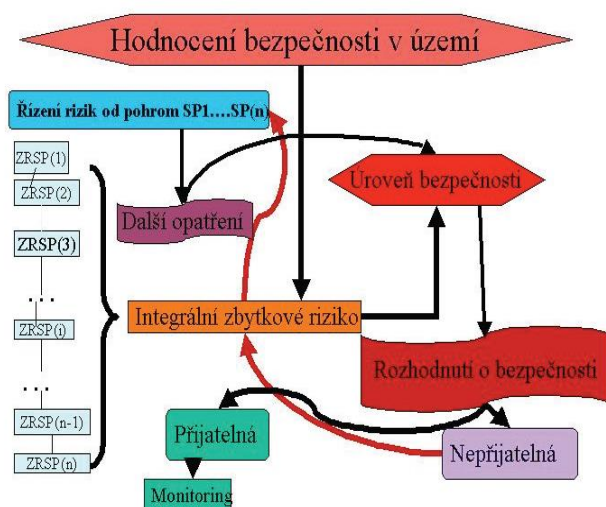
Riziko R = pravděpodobná velikost ztrát, škod a újmů na chráněných aktivech v konkrétním objektu rozpočtená na jednotku plochy a času. Je závislé na velikosti konkrétní pohromy a místní zranitelnosti. Každé řízení rizik směřuje k jeho ovládnutí. Představuje kulturu, procesy a struktury zaměřené na efektivní řízení potenciálních příležitostí a možných nežádoucích důsledků.

Dle typu řízení používaného v EU (Total Quality Management – TQM) [12] úkoly v práci s riziky mají všichni zúčastnění. Řízení rizik je zacílené na:

- snížení rizik – obrázek 3,
- zajištění bezpečnosti – obrázek 4.



Obr. 3. Model řízení rizik entity.



Obr. 4. Model řízení bezpečnosti entity.

V letovém provozu jde z pochopitelných důvodů o řízení rizik ve prospěch bezpečnosti tak jako u ostatních lidí budovaných systémů zacílených na lidské bezpečí a rozvoj lidské společnosti [4-6].

Každé řízení rizik směřuje k jeho ovládnutí. Představuje kulturu, procesy a struktury zaměřené na efektivní řízení potenciálních příležitostí a možných nežádoucích důsledků. Je to interaktivní proces, který se skládá z kroků, které při zachování plánované postupnosti umožňují trvalé zkvalitnění rozhodnutí a tím i následné zlepšování výsledků uskutečňovaných procesů. Řízení rizik musí být integrální činností každé řídicí praxe, bez ohledu na úroveň řízení [10].

Dobré řízení a správné rozhodování je možné jen tehdy, když máme kvalitní data a umíme využít nástroje, které máme k dispozici. Data musí být validovaná, což znamená, že známe jejich velikost a přesnost a mají tak vypovídací schopnost pro řešený problém. Základním předpokladem k tomu, abychom byly schopni včas předvídat pohromy a učinit preventivní opatření ke zmírnění následků, je získání správných a přesných dat. Zkoumáním dat a zjištěním souvislostí mezi daty získáváme důležité informace. Pokud takto získané informace dokážeme správně interpretovat v souvislostech, hovoříme o tom, že máme znalosti [10].

Do pěti klíčových aktivit prováděných v rámci řízení rizika dle [10] patří:

1. Vymezení cíle a centra zájmu: identifikovat kontext, určit prioritní cíle a určit oblast a centrum zájmu úkolu. Výběry v rámci této aktivity jsou založeny na hodnocení zájmů a entit. Tím stanovíme, které riziko nás zajímá.
2. Popis: směřující k objektivnímu pochopení pravděpodobnosti a velikosti dopadu (v kvalitativním nebo lépe kvantitativním vyjádření). Jedná se o vysoce technickou nebo vědeckou činnost.
3. Rozhodnutí: vyhodnocení kvality předpovědi, pokud možno popisným krokem, balanc kladných a záporných důsledků. Rozhodnutí, jak zmírnit a řídit riziko a implementovat opatření. Toto reprezentuje klíčový krok rozhodnutí v rámci řízení rizika.
4. Komunikace: projednání s klíčovými aktéry procesu a ostatními zúčastněnými. Měla by být zahrnuta i komunikace s veřejností, konzultace, odstranění konfliktů a stanovení partnerství.
5. Monitoring a poučení: činnost, která popisuje monitoring a důsledky rozhodnutí a činnosti, které způsobují změnu podmínek a objevení nových důkazů. Činnost má být orientována na výstupy.

Pro posuzování účinnosti řízení rizika se používá index, který hodnotí výkonnost řízení rizika – RMI (Risk Management Index). Jedná se o kvalitativní míru, která je založená na cílech, které si řízení rizik vytyčilo [10].

Kritéria pro posuzování rizik vychází dle [10] z:

- charakteru a druhu následků, které se mohou vyskytnout včetně jejich měření,
- způsobu stanovení pravděpodobnosti výskytu rizika,
- časového rámce následků a pravděpodobnosti výskytu rizika,
- způsobu určení úrovně rizika,
- úrovně, pod níž je riziko přijatelné nebo tolerovatelné,
- úrovně rizika, od níž je třeba zajistit cílenou odezvu,
- možnosti kombinace více rizik.

4. DATA O HAVÁRIÍCH A SELHÁNÍCH V LETECKÉM PROVOZU A METODY JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Pro účely práce byla vytvořena databáze leteckých nehod [14] na základě dat IATA z webu [2], speciální databáze leteckých pohrom z webu [13] a speciálně vytvořené databáze nehod civilních letadel pro léta 1996-2016, tabulka 1 [8]. Na základě údajů ze získané databáze jsou roztrženy příčiny nehod a skoro-nehod a pomocí nástrojů inženýrských metod, které pracují s riziky, tj. diagramu rybí kost (Fishbone diagram). Příčiny jsou propojeny do logických celků, které a jsou dále rozvedeny tak, aby bylo možno navrhnout opatření ke zvýšení bezpečnosti sledovaného letového provozu. Detailně je zpracováno 30 havárií (tabulka 1).

Tabulka 1. Databáze vybraných událostí 1996–2016 [8].

POŘADOVÉ ČÍSLO	HLAVNÍ PŘÍČINA	ČAS	MÍSTO	DATABÁZE VYBRANÝCH UDÁLOSTÍ V LETOVÉM PROVOZU Z LET 1996 - 2016	HRUBÝ POPIS UDÁLOSTI	STRUČNÝ POPIS PŘÍČIN UDÁLOSTI
1	Technické	17.7.1996	Atlantský oceán u pobřeží USA	Zřícení letounu Boeing 747-100 do oceánu po explozi centrální palivové nádrže.	Většinou směs palivo / vzduch v nádrži, chybná konstrukce palivového systému, zdroj tepla pod nádrží.	
2	Ovládání letadla	6.8.1997	Ostrov Guam, nezachycení území USA	Náraz letounu Boeing 747-300 do kopce během finálního přiblížení na přistání.	Selhání posádky při provádění nepřesného přiblížení. Únava a nepřiměřený výškový posádky, netfunkční pozemní varovný systém.	
3	Technické	31.1.2000	Tichý oceán u pobřeží USA	Zřícení letounu McDonnell Douglas MD-83 do oceánu z důvodu ztráty kontroly nad vertikálním pohybem letounu.	Selhání vyvážení horizontálního stabilizátoru, nadměrné opotřebení materiálu, prodávající senzorů, intervaly, absence záložních bezpečnostních mechanismů.	
4	Rízení letového provozu	31.10.2000	Tai-Pei, Taiwan	Sračka letounu Boeing 747-400 s objekty na dráze při vzletu za silné bouře, následný výbuch.	Stav ze špatné vzletové dráhy, sračka s bagry provádějícími stavěbní práce, špatná viditelnost, absence pozemního radaru.	
5	Rízení letového provozu	8.10.2001	Milano, Itálie	Sračka letounů McDonnell Douglas MD-87 a Cessna 560 na vzletové dráze při husté mlze.	Použití nesprávné poljezdové dráhy letounem Cessna 560, nedůslednost řídicího letového provozu, netfunkčnost pozemního radaru.	
6	Ovládání letadla	12.11.2001	New York, USA	Zřícení letounu Airbus A300 krátce po vzletu z důvodu vletu do silné turbulence v úplavu za letounem Boeing 747-200 při dostupávání cestovní hladin.	Chyba ve výškovém posádky, únava materiálu směrového kormidla.	
7	Technické	26.5.2002	Peskadorské ostrovy, Taiwan	Rozpad letounu Boeing 747-200 při dostupávání cestovní hladin.	Neodůslednost při údržbě, únava materiálu.	
8	Rízení letového provozu	1.7.2002	Německo	Sračka letadel ve vzduchu.	Kumulace fatálních chyb na straně řízení letového provozu a možná postup posádky.	
9	Technické	8.1.2003	Severní Karolína, USA	Zřícení letounu Beechcraft 1900D krátce po vzletu, letadlo převedeno do strmého stoupání, následný pád.	Posunutí těžště letounu po vzletu, nedbalá údržba, neadekvátní postupy stanovené hmotnosti a využití.	
10	Ovládání letadla	24.10.2004	San Diego, USA	Letoun Learjet 35A narazil do skály krátce po vzletu.	Únava a chybný postup posádky, nesprávné letové povolení od řídicího letového provozu.	
11	Technické	14.8.2005	Maraton, Řecko	Zřícení letadla po ztrátě přetlaku v kabině a následném bezvědomí všech osob na palubě.	Neodůslednost mechanika při údržbě, neodůslednost posádky, nepřináč přetlaku v poloze MANUÁL (mělo být nastaveno AUTO).	
12	Rízení letového provozu	29.9.2006	Brazílie	Vzdušná sračka letounu Boeing 737-800 s letounem Embraer ERJ-135BJ a následné zřícení Boeingu.	Chyba systému řízení letového provozu, přepracování a nezkoušení dispečerů, neúspěšná činnost posádky Embraeru (netfunkční odpovídá a systém TCAS).	
13	Technické	17.1.2008	Londýn, Velká Británie	Nouzové přistání před prahem dráhy letiště určeno po pokusu výkonu obou motorů na finálním přiblížení.	Zamrnutí tepelných výměníků palivo / oleje, špatná konstrukce výměníků.	
14	Jiné	4.3.2008	Oklahoma, USA	Zřícení letounu Cessna 500 krátce po startu z důvodu ztráty ovladatelnosti letounu.	Sračka s pelikánem, poškození křídla, následná ztrata ovladatelnosti.	
15	Jiné	16.1.2009	New York, USA	Nasání prarokta do motorů letounu Airbus A320, ztráta tahu motorů, nouzové přistání na řeku Hudson.	Zvýšený výškový prarokta v okolí letiště, nedostatečný výškový posádky v postupech přistání na vodní hladinu.	
16	Ovládání letadla	1.6.2009	Atlantský oceán	Zřícení letounu Airbus A330-200 po nuceném vypnutí autopilota.	Chybný postup manuálního řízení letounu, nesprávné fungující výškoměry, nedostatečný výškový posádky.	
17	Ovládání letadla	10.4.2010	Smolenský, Rusko	Havánie letounu Tupolev Tu-154M při provádění pokusu o přistání za špatných meteorologických podmínek.	Podklesání minimální bezpečné výšky nad terémem, tlak na posádku ze strany vládních činitelů na palubě, špatné nastavení výškoměru.	
18	Ovládání letadla	7.9.2011	Jamslavl, Rusko	Havánie letounu Jakovlev 42D při provádění pokusu o vzlet, velký úhel naběhu.	Špatná spolupráce a komunikace posádky, nedostatečný výškový, zdražovní problémy prvního důstojníka.	
19	Technické	29.4.2013	Bagram, Afghánistán	Zřícení letounu Boeing 747-400 krátce po vzletu z důvodu ztráty ovladatelnosti.	Pohyb nákladu z důvodu nedostatečného zajištění pozemním personálem.	
20	Rízení letového provozu	29.10.2013	Vojenský prostor Ubavá, ČR	Narušení omezeného vzdušného prostoru LKR3 letounem Airbus A320.	Řídicí letového provozu nezval při vydávání letového povolení v úvahu aktivní omezený prostor.	
21	Ovládání letadla	17.11.2013	Kazaň, Rusko	Havánie letounu Boeing 737-500 při provádění postupu nezdařeného přiblížení, pád na malé prohloubi.	Chyba posádky při provádění přiblížení, únava pilotů z nedodržování povinného odpočinku posádek, odebrání osvětlení leteckému dopravnímu.	
22	Rízení letového provozu	6.1.2014	Německo	Sřazení minimálního radarového rozsahu z důvodu záměny volacích značek.	Pilot zaměnil volací znak, běhož si řídicí letového provozu nevšiml.	
23	Útok na letadlo	17.7.2014	Donětsk, Ukrajina	Zřícení letounu Boeing 777 po rozpadu ve vzduchu.	Sestřelení letounu raketou systému BUK.	
24	Ovládání letadla	24.7.2014	Gossi, Mali	Zřícení letounu McDonnell Douglas MD-83 po poklesu výkonu motorů.	Prozírná vyhodnocení situace ze strany posádky a chybná reakce, námaza na tlakových snímačích u vstupu do motoru způsobující nesprávnou indikaci.	
25	Ovládání letadla	28.12.2014	Surabaya, Indonésie	Zřícení letounu A320 po „přetazání“ letounu a následném pádu.	Chyba v manuálním řízení letounu.	
26	Ovládání letadla	4.2.2015	Tai-Pei, Taiwan	Pád letadla ATR 76-600 do řeky krátce po vzletu následkem stráty tahu obou motorů.	Chybná reakce ze strany posádky - vypnutí funkčního motoru místo vradného.	
27	Útok na letadlo	24.3.2015	Barcelonnette, Francie	Rízení let do terenu letounu Airbus A320 a náraz do štítu hory ve francouzských Alpách.	Sběvraždění útok prvního důstojníka provedený poté, co kapitán opustil cockpit.	
28	Ovládání letadla	5.8.2015	ČR / Německo	Posádka ztratila spojení s RLP ve vzdušném prostoru třídy C - RCE (BLDC).	Chybná činnost posádky při obsluze palubní radiostanice.	
29	Útok na letadlo	10.8.2015	Praha, ČR	Pilot osiřel během běhu vlešání na letišti Praha / Ruzyně.	Neznámý pachatel na zemi.	
30	Technické	8.9.2015	Las Vegas, USA	Posádka motoru B777 při vzletu, nouzové přistání na letišti odletu.	Technická závada motoru.	

Celkem bylo zjištěno 1917 leteckých nehod civilních letadel s počtem cestujících větším než 15 v letech 1909-2015. Malá část o z nich (cca 15%) se obešla bez lidských obětí. Letecké nehody jsou dále rekonstruovány na základě:

- úředních dokumentů,
- výpovědí účastníků,
- záznamů z černých skříněk,
- názoru odborníků.

4.1. Příklady leteckých nehod

Příklady jsou převzaty z práce [8] a doplněny podle databáze [14].

Let Swissair 111

Šlo o pravidelný letecký spoj společnosti Swissair mezi New Yorkem a Ženevou. Dne 2. září 1998 se stroj McDonnell Douglas MD-11, který na něm létal, zřítil poblíž Nového Skotska do Atlantského oceánu (obrázek 5). Zemřelo všech 229 osob na palubě, což dělá z této nehody největší havárii, v níž účinkoval daný typ letadla, a druhou největší leteckou havárii v historii Kanady. **Příčinou havárie byl požár na palubě**, který zachvátil elektrické rozvody, tvořené vysoce hořlavými materiály [8].



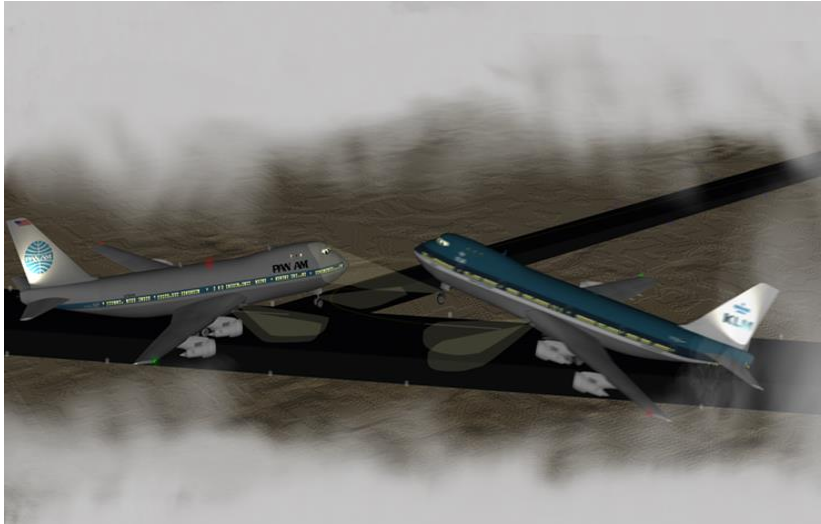
Obr. 5. Trosky havarovaného letadla McDonnell Douglas MD-11 [8].

Let Aeroperú 603

Šlo o byl pravidelný spoj peruánských aerolinek z Limy do Santiaga de Chile. Krátce po startu dne 2. října 1996 po půlnoci vyslal Boeing 757-23A (reg. N52AW), který jej obsluhoval, nouzové volání a žádal letovou kontrolu o povolení k návratu do Limy pro rozsáhlé selhání základních přístrojů. Během návratu se však zřítil do Tichého oceánu. Zemřelo všech 70 osob na palubě. **Vyšetřování prokázalo, že prvotní příčinou havárie bylo hrubé selhání údržby:** její pracovník zapomněl odstranit pásku chránící během omývání letadla statické porty, což vedlo k selhání základních přístrojů (výškoměru a ukazatele rychlosti) a v důsledku toho k deaktivaci autopilota a zmatečným hlášením počítače. Ve tmě nad oceánem, kde nebyly k dispozici žádné orientační body, zavaleni desítkami falešných poplachů, protichůdných hlášení a nesmyslných údajů, se piloti nedokázali zorientovat v tom, kde letoun je a co dělá. Přispěl letecký dispečer, který pilotům na žádost o pomoc udal údaje o výšce ze své obrazovky – ne o výšce letadla. Dezorientovaný letoun klesl příliš nízkou a roztrhl se o hladinu [8].

Letecké neštěstí na ostrově Tenerife

Neštěstí se událo dne 27. března 1997. Došlo k tomu, že se srazily 2 boeingy uprostřed vzletové a přistávací dráhy na bývalém vojenském letišti Los Rodeos v horách na ostrově Tenerife, a to společnosti PanAm: Boeing 747-121, který vzletl bez povolení a KLM: Boeing 747-206B, který popojížděl po ranveji (obrázky 6 a 7). Vyšetřování ukázalo, že příčiny srážky byly: mlha; nepřesné informace pro piloty od dispečerů nepřesné; neoznačené dráhy; spěch pilotů (v obou případech šlo o odkloněné lety) [8]. Zemřelo 583 lidí.



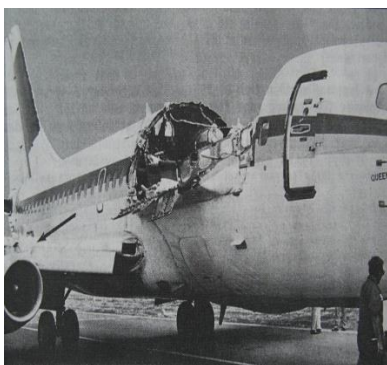
Obr. 6. Okamžik srážky boeingů [8].



Obr. 7. Trosky havarovaných letadel [8].

Let Aloha Airlines 243

Šlo o pravidelný spoj havajských aerolinek Aloha Airlines, létající z Hilo do Honolulu. Dne 28. dubna 1988 došlo u Boeingu 737-297 k explozivní dekompresi doprovázené dezintegrací stěn a stropu trupu za pilotní kabinou (obrázek 8).



Obr. 8. Poškozené letadlo po přistání [8].

Posádka nouzově přistála na 43 km vzdáleném letišti Kahului na ostrově Maui. Během nehody zahynula vrchní letuška, která byla během dekomprese vymrštěna z letounu, a osm osob utrpělo těžká zranění při explozi či po ní v důsledku zásahu létajícími předměty. Dalších 57 osob utrpělo zranění lehká. ***Vyšetřování určilo za příčinu havárie kombinaci koroze a únavy materiálu a selhání údržby, kterou údržba nebyla schopna riziko při kontrolách odhalit.*** Nehoda vyvolala zásadní změny v pravidlech údržby a kontroly opotřebení letadel [8].

Let US Airways č. 1549

Šlo o každodenní komerční let na trase LaGuardia – Seattle dne 15. ledna 2009 asi šest minut po startu nouzově přistál v řece Hudson v New Yorku (obrázek 9). Důvodem nouzového přistání byla skutečnost, že letoun se dostal do hejna hus a v důsledku nasátí jejich těl značně poklesl oběma motorům tah. Kapitán ohlásil stav nouze a provedl levou zatáčku zpět a po ztrátě výšky, bránící bezpečnému návratu na letiště LaGuardia i přistání na bližším letišti Teterboro, se rozhodl pro nouzové přistání na řece, které také v rychlosti okolo 230 km/h úspěšně provedl. Všech 150 cestujících a 5 členů posádky se evakovalo nouzovými východy. Vážně zraněna byla palubní průvodčí a 4 cestující [8].



Obr. 9. Letadlo, které nouzově přistálo na řece Hudson [8].

Zřícené letadlo do pralesa

Dne 1. 12. 2016 letadlu v Kolumbii došlo palivo a zřítilo se do pralesa (obrázek 10) [8].



Obr. 10. Trosky zříceného letadla, kterému došlo palivo [8].

Srážka letadel ve vzduchu nad letištěm Zurich – organizační havárie

Dne 1. 7. 2002 došlo k selhání řízení letového provozu na letišti Zurich, které zapříčinilo, že letadla se ocitla ve stejné letové hladině [14]. V důsledku fatálních chyb zúčastněných stran byla zničena 2 letadla, zemřelo 71 osob a následně došlo i k vraždě dispečera. Popis události:

1. Letadlo Tupolev Tu-154M společnosti Bashkarian Airlines odstartovalo z moskevského letiště Domodedovo ve 20:48. Na palubě letadla bylo 60 cestujících a 9 členů posádky. Kromě studentů z Ufy letělo už jen několik jiných pasažérů. V palubní kabině bylo pět členů posádky-tři piloti a navigátor; poslední osobou v kabině byl další pilot, jenž však při tomto letu neměl žádnou funkci. Ve 23:16 vstoupilo letadlo do německého vzdušného prostoru a bylo kontrolováno mnichovským radarem. Ve 23:29 byl let předán ACC Zurich; první kontakt posádky s řídicím letového provozu z ACC Zurich pak proběhl ve 23:30. V té době se letadlo nacházelo v letové hladině 360 (tedy ve výšce 36.000 stop).
2. Nákladní letadlo společnosti DHL bylo na trase z Bahrajnu do Bruselu. Ve 21:10 přistálo letadlo v italském Bergamu k doplnění paliva a nákladu. Ve 23:06 se letadlo opět vzneslo do vzduchu směr Brusel. Jednalo se o krátký let; přistání v Bruselu bylo plánováno na 0:15. Na jeho palubě byli pouze dva členové posádky. Ve 23:21 se letadlo společnosti DHL nacházelo v letové hladině 260. Posádka poprvé kontaktovala ACC Zurich a zároveň požádala o letovou hladinu 320. Vystoupení do této výšky bylo posádce povoleno. Ta následně požádala o další zvýšení letové hladiny, tentokrát na výšku 36.000 stop. Nová letová hladina 360 byla letadlu povolena ve 23:26 a o čtyři minuty později jí letadlo dosáhlo.
3. 23:29:50 - Obě letadla jsou pod kontrolou řídicího z ACC Zurich a ve stejné letové hladině 360.
4. 23:34:42 - Protikolizní systém na palubě letadla (TCAS) začíná oběma posádkám hlásit jiné letadlo na kolizní dráze.
5. 23:34:49 - Řídicí letového provozu dává ruskému letadlu pokyn klesnout na letovou hladinu 350 ("BTC 2937 descend flight level 3-5-0, expedite, I have crossing traffic.").
6. 23:34:54 Posádka ruského letadla zahajuje sestup.
7. 23:34:56 Dvě sekundy poté vydává systém letadla TCAS pokyn ruské posádce ke stoupání. Současně TCAS letadla DHL dává pokyn klesat. Vzdálenost mezi letadly je již menší než deset kilometrů.
8. 23:34:58 - Letadlo DHL začíná dle pokynů TCAS klesat. V ruském letadle zatím probíhá debata nad konfliktními pokyny TCAS a řídicího.
9. 23:35:03 - Řídicí letového provozu opakuje svůj pokyn ruskému letadlu ke klesnutí na letovou hladinu 350, protože jeho první pokyn nebyl posádkou potvrzen. Po potvrzení pokynu posádkou jí dává řídicí informaci o poloze druhého letadla, které se má nacházet vpravo od nich. ("Ja,...we have traffic at your 2 o'clock position now at 3-6-0.")
10. 23:35:10 - Ruské letadlo pokračuje v klesání, mezitím jeden z pilotů konečně spatřil druhé letadlo, ovšem nikoliv na pravé ale na levé straně. Ve stejnou dobu dostává posádka DHL pokyn od TCAS ke zvýšení úhlu klesání.
11. 23:35:19 - Posádka DHL se snaží kontaktovat řídicího, aby ho upozornila, že začala podle pokynů TCAS klesat. Linka je však obsazená, řídicí právě hovoří s posádkou ruského letadla.

12. 23:35:24 - TCAS ruského letadla vydává pokyn ke zrychlení stoupání; ruské letadlo však namísto toho stále klesá. V kabině stále probíhají dohady, blížící se letadlo DHL totiž také klesá. Vzdálenost mezi letadly je zhruba dva a půl kilometru.

13. 23:35:27 - Pět vteřin před srážkou. Ruské letadlo zmírňuje klesání.

14. 23:35:31 - Pilot ruského letadla začíná prudce stoupat.

15. 23:35:32 - Je však již pozdě. Letadlo DHL zasahuje ocasní částí trup ruského letadla. To se rozlomilo a zřítilo se k zemi. Piloti letadla DHL ještě chvíli svádějí marný boj s neovladatelným letadlem, než se zřítí k zemi zhruba osm kilometrů od místa srážky. Nikdo z lidí na palubě obou letadel nemá nejmenší šanci havárii přežít.

Výsledky šetření: k mnoha haváriím (a to nejen leteckým) nedojde kvůli jedné závažné chybě nebo velké technické závadě, ale z důvodu více malých chyb či opomenutí, které ve svém důsledku vytvoří řetěz událostí vedoucí k následné tragédii (*organizační havárie*). Jak se ukázalo při vyšetřování, byla srážka letadel společností Bashkirian Airlines a DHL přesně tímto případem. Kontrolou curyšského letového prostoru byla pověřena soukromá společnost Skyguide. V inkriminovanou dobu měl celý prostor pod kontrolou pouze jeden řidič, který sledoval dvě frekvence a dvě radarové obrazovky vzdálené od sebe zhruba jeden metr. Jeho kolega, jenž měl jednu z obrazovek původně na starosti, měl právě přestávku [14].

Na jedné z obrazovek řídil dispečer čtyři letadla, na druhé obrazovce pak naváděl jedno letadlo na přistání na letišti ve Friedrichshafenu. Od 23:00 hod. byla prováděna změna zpracování radarových dat společnosti Skyguide. Radarový systém tak v tu dobu pracoval se sníženou prioritou a tím i se zpomalenou reakcí. Zároveň kvůli prováděné údržbě docházelo k výpadkům telefonních linek. Největším problémem však pravděpodobně bylo, že v provozu nebyl ani varovný antikolizní radarový systém. Dispečer však netušil, že tento systém momentálně nefunguje. Ve chvíli, kdy se věnoval navedení na přistání na jedné obrazovce, by ho antikolizní systém včas upozornil na hrozící srážku na druhé obrazovce. Antikolizní systém fungoval v nadřazené řídicí oblasti v Karlsruhe; řídicí v této oblasti se snažil pomocí telefonu dovolat řídicímu v curyšské oblasti, ovšem kvůli nefungujícím telefonním linkám se to nezdařilo [14].

Ve chvíli, kdy se řídicí z ACC Zurich vrátil zpět k první obrazovce, byla od sebe letadla Bashkirian Airlines a DHL vzdálena zhruba deset kilometrů. Dispečer okamžitě vydal pokyn ruskému letadlu k sestupu do nižší letové hladiny 350. V tu chvíli však již systém TCAS dával posádce ruského letadla pokyn vystoupat. Vzhledem k neexistenci přesných pravidel při konfliktních pokynech TCAS a řídicího začala ruská posádka diskutovat o nastalé situaci. Nakonec se rozhodla uposlechnout pokynů řídicího a začala klesat. Zároveň strávila posádka drahocenný čas hledáním druhého letadla v prostoru; řídicí chybně lokalizoval druhé letadlo "na dvou hodinách", tedy vpravo z pohledu ruské posádky. Letadlo DHL se však nacházelo přesně na opačné straně. Ve stejné době se posádka letadla DHL snažila kontaktovat řídicího a sdělit mu, že podle pokynů TCAS začala klesat. Řídicí však v tu dobu hovořil s posádkou ruského letadla, a frekvence byla tudíž obsazená. Řídicí si myslel, že pokynem ruskému letadlu ke klesání do nižší letové hladiny hrozící srážku odvrátil, a tak se opět začal věnovat druhé obrazovce a navedení jiného letadla na přistání. Srážka obou letadel však byla již v tu chvíli neodvratná [14].

Muž jménem Vitalij Kalojev, rodák z Vladikavkazu, získal v roce 2000 dvouletý kontrakt jako architekt na projektu v Barceloně. V červnu 2002 se po vypršení kontraktu rozhodl prodloužit svůj pobyt ve Španělsku a pozval tam na měsíční dovolenou i svou ženu Svetlanu a děti Konstantina (10) a Dianu (4), kteří za ním měli přiletět z Ruska. Shodou okolností byli všichni tři na palubě letadla Bashkirian Airlines. Vitalij Kalojev tak ztratil při havárii celou svoji rodinu, s čímž se nedokázal smířit. Téměř dva roky trávil na hřbitově u hrobů svých blízkých dny i noci. V sobotu, 21. února 2004 dorazil Vitalij Kalojev do Curychu, kde se ubytoval v hotelu

Welcome-Inn. O tři dny později se Kalojev posadil na lavičku před domem Petera Nielsena, který ho spatřil a vyšel za ním ven. Po krátké diskusi vytáhl Kalojev nůž, kterým Petera Nielsena bodl. Ten na následky zranění vykrvácel a zemřel. Kalojev byl následně za vraždu bývalého letového dispečera, jenž v osudný večer řídil letový provoz, odsouzen na osm let do vězení [14].

Protisrážkový systém TCAS má bezpečnostní pojistku zvanou "obrat". Pokud zazní varovný signál a jedna z posádek na něj nereaguje, TCAS vydá pokyn k obratu. Znamená to opak původních povelů vydaných TCAS obou letadel. Ruská posádka však TCAS neposlechla. Na tom však v té době nebylo nic neobvyklého. Nebylo totiž stanoveno, co se má dělat, když je rozpor mezi TCAS a dispečerem. V západních zemích se piloti zpravidla řídí TCAS, ve zbytku světa je to na pilotovi. Takže fakt, že se piloti řídili dispečerem nelze vyhodnotit jako chybu či selhání. Navíc systém TCAS informuje klidným a nezúčastněným hlasem, zatímco dispečer své instrukce takřka křičel. I tento fakt mohl mít v osudnou chvíli při rozhodování význam. Následkem havárie bylo jasné definování chování pilotů a řídicích letového provozu v případě aktivace systému TCAS [14].

Po havárii došlo k úpravě provozních postupů na letištích a k zavedení pravidel pro chování pilotů a řídicích letového provozu při aktivaci protisrážkového systému TCAS [14].

4.2. Příklady leteckých nehod a havárií v ČR

Analýza databáze ČVUT [14] ukazuje, že problémů ve vzdušném prostoru ČR, které v zájmu bezpečnosti ve vzdušném prostoru musí řešit řízení letového provozu, je mnoho. Dále uvedeme několik příkladů:

1. Příklad zápisu z šetření incidentu způsobeného *záměnou volacích znaků letadel*:

- dne 6. 1. 2014 došlo ke snížení minima radarového rozstupu mezi lety ABC (FL350, A320, LSZH/UUEE a XYZ (FL360, A320, LCPH/EGCC), kdy EC zaměnil podobné volací znaky ABC a ABD (FL350, A320, LSGG/UUEE). K události došlo v německém vzdušném prostoru 10NM jižně význačného bodu VESUB. Lety ABC a ABD byly plánovány po AWY UN871 přes význačné body BEPAS a LAGAR. ABD se v době události nacházel 15NM NE VLM. Kvůli zajištění radarového rozstupu s letem DEF byl ABC v EDMM vyžádán na kurzu 035°. Let XYZ byl plánován po AWY UM174, UT170 a UL602 přes význačné body DITIS a VARIK. Ve skutečnosti ale letěl mimo FIR Praha v německém vzdušném prostoru kurzem 300° a nebyl řízen ACC Praha.
- Pilot letu ABC se krátce po navázání spojení dotázal, zda je hlášena turbulence ve FL 360 a FL 370. EC (sloučené sektory) správně použil volací znak ABC a odpověděl, že není. Pilot ABC oznámil slabou až mírnou turbulenci ve FL 350 a žádal stoupání FL 370. EC v tento okamžik zcela nelogicky povolil stoupání pro ABD a vložil FL370 do labelu ABD. Na následné varování rozporu v E2000 mezi FL350 v FMS a FL370 nereagoval.
- Pilot ABD na toto vysílání neodpověděl, protože od navázání spojení s ACC Praha nic nevysílal. Na povolení stoupat na FL370 však reagoval pilot ABC. Tuto skutečnost EC přeslechl. Let ABC zahájil stoupání. Horizontální rozstup byl snížen na hodnotu 4,2 NM a vertikální na 500 ft. Po zjištění snížení minima radarového rozstupu se EC dotázal pilota ABC, zda stoupá na FL370. Pilot potvrdil. EC se pilota ABC dále zeptal, zda to byl on, kdo žádal FL370. Pilot opět potvrdil s tím, že obdržel povolení ke stoupání. EC další opatření nepodnikl.
- EC se domníval, že stoupání na FL370 žádá ABD, přestože na dotaz ABC na turbulenci ve FL360 a 370 odpověděl jeho správným volacím znakem. Protože stoupání ABD nic

nebránilo, povolil FL370 bez prodlení. Potvrzení tohoto letového povolení pilotem ABC přeslechl. Na indikaci STCA nereagoval. Varovná funkce STCA je nastavena tak, že je spuštěna vždy, pokud mezi korelovaným a nekorelovaným cílem (zde DEF) není vertikální vzdálenost 2000 ft (u nekorelovaného cíle není známo schválení RVSM). Proto tato funkce zbytečně indikovala konflikt již před vznikem události. EC se proto domníval, že STCA stále indikuje konflikt mezi FL350 a 360. Nereagoval na zobrazení varování rozporu mezi FL350 v FMS a FL370 v labelu ABD. Po zjištění snížení minima radarového rozstupu nepředal informaci o konfliktním provozu. Spolupůsobící příčinou události byla reakce pilota ABC na vysílání EC, které bylo omylem určeno pro ABD.

2. Další příklady incidentů [14]:

- chybné naprogramování autopilota před letem a nesprávný postup pilota (8. 8. 2015),
- pilot byl oslněn laserem při přistávání na letiště Ruzyň (10. 8. 2015),
- letadlo nenavázalo spojení kvůli chybnému ovládní radiostanice (5. 8. 2015),
- uvolněná reklamní vzducholoď u Dobříše (22. 7. 2015),
- vysazení levého motoru B737-800 z důvodu technické závady a vyhlášení pohotovosti na letišti Ruzyň (27. 7. 2015),
- narušení vojenského prostoru Libavá letadlem A320 (29. 10. 2013),
- havárie letounu Cessna 150M z důvodu špatného počasí (13. 5. 2010).

4.3. Případové studie

Cílem odstavce je ukázat dopady leteckých nehod na veřejná aktiva.

4.3.1. Případové studie pro recentní události

Jedním ze základních nástrojů pro zvyšování bezpečnosti je poučení z minulých nouzových situací [8]. Dále je uvedeno 5 leteckých nehod, které jsou popsány formou případových studií [11] a metodou inženýrství zabývajícího se riziky What, If [11] stanovili jejich dopady na chráněná aktiva.

Havárie Boeingu 747-400 dne 29. 4. 2013

Nákladní letadlo B747-400 BCF americké registrace N949CA, provozované společností National Air Cargo, se 29. 4. 2013 zřítilo krátce po startu z vojenské základny Bagram v Afghánistánu. Všech 7 členů posádky zahynulo a letadlo bylo zničeno nárazem a následným požárem. V nákladovém prostoru bylo na paletách umístěno 5 vojenských obrněných vozidel, z nichž 2 o hmotnosti 12 tun a 3 o hmotnosti 18 tun. Bylo to poprvé, co společnost National Air Cargo zajišťovala přepravu 5 obrněných vozidel. Letadlo okamžitě po vzletu začalo strmě stoupat a poté klesat v důsledku ztráty vztlaku. Vyšetřování amerického Úřadu pro bezpečnost v dopravě (NTSB) ukázalo, že nejméně 1 z 12 tunových vozidel se uvolnilo v zadní části letounu, poškodilo hydraulický systém a ovládní výškového kormidla, čímž se letoun stal neovladatelným [15]. Dopady havárie na chráněná aktiva jsou v tabulce 2.

Tabulka 2. Dopady zřícení Boeingu 747-400 na chráněná aktiva.

Chráněné aktivum	Dopady letecké nehody
Životy a zdraví cestujících	Let bez cestujících
Životy a zdraví posádky	Smrt všech 7 členů posádky v důsledku nárazu letounu
Životy a zdraví civilistů v území	Bez přítomnosti civilistů na vojenské letecké základně

Bezpečí lidí	Vznik paniky a chaosu na vojenské základně; ztráta jistoty v území; strach z vynaložení nadměrného úsilí a fyzické práce pro obnovu; traumata z události atd.
Majetek	Zničení letounu; přímé zničení nebo velké poškození budov a objektů na základně; škody na dráhovém systému letiště; škody na zasažených automobilech apod.
Veřejné blaho	Narušené zásobování území v důsledku uzavření letiště a vojenské základny; narušení bezpečnostní situace v území atd.
Životní prostředí	Rozsáhlý požár v místě nehody; poškození složek životního prostředí únikem nebezpečných látek apod.
Dodávky energií (elektrina, teplo, plyn)	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Systém dodávky vody	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Kanalizační systém	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Přepravní síť	Narušení obslužné komunikace na základně
Kybernetická infrastruktura	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Bankovní a finanční sektor	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Nouzové služby (policie, hasiči, zdravotníci)	Snížení akceschopnosti vojenské základny; mnoho požadavků na likvidační práce apod.
Základní služby v území (zásobování potravinami, likvidace odpadů, sociální služby, pohřební služby), průmysl a zemědělství	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
státní správa a samospráva	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum

Z tabulky 2 vyplývá, že zřícení Boeingu 747-400 vedlo k ochromení vojenské základny a uzavření letiště v Bagramu. Kromě zničení letounu a smrti všech členů posádky vedlo k obrovským škodám na majetku a zhoršení bezpečnostní situace v zasaženém území. Pravděpodobnou příčinou pohybu nákladu bylo nedostatečné zajištění vozidel. Postupy společnosti National Air Cargo neobsahovaly předepsaná bezpečnostní pravidla pro upevnění nákladu od výrobce letadla, společnosti Boeing. Personál nakládající letadlo nebyl certifikován Federální leteckou správou USA (FAA). Vedoucí nakládky byl vycvičen pouze dopravcem a navíc byl při nakládce letadla souvisle ve službě již 21 hodin. Inspektoři FAA neprováděli soustavný dohled nad činností společnosti National Air Cargo v Afghánistánu kvůli vládním omezením na cesty leteckých inspektorů do Afghánistánu [15]. Výsledkem vyšetřování bylo vydání 6-ti bezpečnostních doporučení NTSB pro FAA. Jednalo se o návod pro provozovatele zabývající se speciálním nákladem: certifikace, výcvik a hodinové limity pro personál provádějící nakládku. Doporučení se týkala rovněž výcviku a povinností inspektorů provádějících dohled nad provozovateli [15].

Vzdušná srážka dopravních letounů nad Brazílií

Dne 29. 9. 2006 se srazil Boeing 737-800 (PR-GTD) provozovaný brazilskou společností GOL Airlines of Brazil (let GOL 1907: Manaus-Brasilia Intl. - Rio de Janeiro) s menším letounem Embraer Legacy 600 (N600XL), který byl vlastněn a provozován americkou společností Excellence of Long Island, New York (předávací let do Manasu). Oba letouny udržovaly FL 370. Brazilské řízení letového provozu ztratilo asi po hodině letu radarový kontakt s letounem Embraer, následně i rádiové spojení a po několika neúspěšných pokusech o navázání spojení dal řídicí posádce jinou frekvenci, na které se mají ohlásit, ovšem vysílání nebylo čitelné a posádka opět ztratila rádiový kontakt. Po necelých 10 minutách se letouny srazily levými křídly. Ke srážce došlo nad Amazonským pralesem cca 100 NM jihovýchodně od základny brazilského letectva Cachimbo. Boeing 737 byl zničen rozpadem ve vzduchu a nárazovými silami, nepřežil nikdo ze 154 osob na palubě. Záznamník hovoru v pilotní kabině (CVR) byl nalezen měsíc po nehodě. U letounu Embraer Legacy 600 došlo k poškození levého křídla a horizontálního

stabilizátoru, posádka provedla nouzové přistání na základně Cachimbo a nikdo ze 7 osob na palubě nebyl zraněn. Vojáci na základně zabavili všem osobám na palubě cestovní pasy a začalo rozsáhlé vyšetřování události [16]. Dopady vzdušné srážky dopravních letadel na chráněná aktiva jsou v tabulce 3.

Tabulka 3. Dopady vzdušné srážky dopravních letadel na chráněná aktiva.

Chráněné aktivo	Dopady letecké nehody
Životy a zdraví cestujících	Úmrtí všech 148 cestujících na palubě boeingu 737 v důsledku vzdušného rozpadu a nárazu do země
Životy a zdraví posádky	Úmrtí všech 6 členů posádky boeingu 737-800
Životy a zdraví civilistů v území	Bez přítomnosti civilistů v zasaženém území
Bezpečí lidí	Ztížená možnost přepravy těl k identifikaci; rozdělení rodin; strach z vynaložení nadměrného úsilí a fyzické práce pro obnovu; traumata z události atd.
Majetek	Zničení letounu Boeing 737-800
Veřejné blaho	Neexistence dopravní sítě a jiné obslužnosti v zasaženém území
Životní prostředí	Zničení značné plochy tropického deštného lesa; znečištění povrchových a podzemních vod; poškození složek životního prostředí únikem nebezpečných látek apod.
Dodávky energií (elektrina, teplo, plyn)	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivo
Systém dodávky vody	Kontaminace vodních zdrojů
Kanalizační systém	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivo
Přepavní síť	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivo
Kybernetická infrastruktura	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivo
Bankovní a finanční sektor	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivo
Nouzové služby (policie, hasiči, zdravotníci)	Hasiči, zdravotníci) velmi obtížný přístup na zasažené území; mnoho požadavků na záchranné a likvidační práce apod.
Základní služby v území (zásobování potravinami, likvidace odpadů, sociální služby, pohřební služby), průmysl a zemědělství	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivo
Státní správa a samospráva	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivo

Z tabulky 3 vyplývá, že vzdušná srážka dopravních letadel patří k nejhorším pohromám v letovém provozu a projevuje se rozsáhlými ztrátami na lidských životech a majetku. Navíc vede k obecnému strachu z létání napříč společnostmi. Ke vzdušné srážce vede selhání na straně řízení letového provozu i ovládání letadla, většinou v důsledku kombinace technických chyb a selhání lidského faktoru. Vyšetřování brazilských a amerických úřadů trvajících až do konce roku 2008 ukázalo, že letoun Embraer Legacy 600 neměl zapnut palubní protisrážkový systém TCAS, který by posádku včas upozornil na konfliktní provoz. Letový odpovídač byl již v minulosti z jiného letadla vyřazen jako nefunkční a po opravě byl instalován do Embraeru. Během letu nefungoval cca 50 minut, na začátku i konci letu fungoval správně, ale posádka si nebyla jistá tím, zda je systém aktivní, či nikoliv. Kapitán měl s avionikou malé zkušenosti a je možné, že odpovídač omylem vypnul. Systémy TCAS povinně instalované na palubách všech dopravních letadel spolu navzájem komunikují, proto nespustil varovnou indikaci ani funkční systém TCAS na palubě Boeingu 737 [16]. Příčinou nehody však byla kombinace chyb, především chyba systému řízení letového provozu. Přepřacovaní a nezkušení dispečeri nechali Embraeru původně povolenou FL 370, přestože severozápadním směrem mu měli podle předpisů přidělit sudou letovou hladinu. I v podaném letovém plánu byl přechod na FL 360. Řídící letového provozu během předávání služby kolegovi dokonce chybně uvedl, že Embraer letí ve FL 360. Nedůsledná činnost posádky Embraeru při obsluze palubního odpovídače samozřejmě spolupůsobila na vzniku události, ale odpovědnost za navedení letadel do konfliktu nesli řídící

letového provozu, neboť měli zajistit předepsaný rozstup letadel. Zúčastnění na řízení letového provozu byli obviněni a odsouzeni pro zabití z nedbalosti [16].

Řízený let do terénu letounu Boeing 747-300

Dne 6. 8. 1997 letoun Boeing 747-300 jihokorejské letecké společnosti Korean Air (reg. HL7468) narazil do kopce Nimitz Hill, který se nachází několik kilometrů jihozápadně od mezinárodního letiště v Aganě na ostrově Guam. Tento ostrov patří do souostroví Mariany v Tichém oceánu, které spadá mezi nezačleněná území Spojených států amerických. Na palubě bylo 17 členů posádky a 237 cestujících, z nichž 228 zahynulo. Pouze 3 členové posádky a 23 cestujících z nehody vyvázlo s těžkými zraněními. Letoun byl zcela zničen nárazem do terénu a následným požárem. Let směřoval ze Soulu v Jižní Koreji na zmíněný ostrov Guam [17]. Dopady nárazu do terénu Boeingu 747-300 na chráněná aktiva jsou v tabulce 4.

Tabulka 4. Dopady nárazu do terénu Boeingu 747-300 na chráněná aktiva.

Chráněné aktivum	Dopady letecké nehody
Životy a zdraví cestujících	Poškození zdraví; ztráty na životech; v důsledku trosk dochází ke zhoršení pohybu ve vnějším prostředí; psychická újma lidí (např. Ze ztráty obydlí, blízké osoby nebo z fyzické únavy a stresu); panika, chaos apod.
Životy a zdraví posádky	Úmrtí nebo těžká zranění členů posádky
Životy a zdraví civilistů v území	Bez přítomnosti civilistů v zasaženém území
Bezpečí lidí	Ztížená možnost evakuace a přepravy raněných do nemocničních zařízení; vznik paniky a chaosu; rozdělení rodin; ztráta jistoty v území; strach z vynaložení nadměrného úsilí a fyzické práce pro obnovu; traumata z události; u evakuovaných lidí panuje obava z odcizení jejich majetku atd.
Majetek	Zničení letounu
Veřejné blaho	Neexistence dopravní sítě a jiné obslužnosti v zasaženém území
Životní prostředí	Škody na lesích, krajině; znečištění podzemních vod; poškození složek životního prostředí únikem nebezpečných látek apod.
Dodávky energií (elektrina, teplo, plyn)	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Systém dodávky vody	Kontaminace vodních zdrojů
Kanalizační systém	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Přepavní síť	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Kybernetická infrastruktura	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Bankovní a finanční sektor	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Nouzové služby (policie, hasiči, zdravotníci)	Hasiči, zdravotníci) znesnadněná činnost zdravotníků; mnoho požadavků na záchranné a likvidační práce apod.
Základní služby v území (zásobování potravinami, likvidace odpadů, sociální služby, pohřební služby), průmysl a zemědělství	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Státní správa a samospráva	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum

Z tabulky 4 vyplývá, že velikost škod a ztrát při letecké nehodě letounu ve fázi konečného přiblížení je závislá na rychlosti zásahu záchranných složek. Pokud je v místě havárie přístupný terén, může rychlý příjezd záchranářů přispět ke zmírnění následků pohromy. Vyšetřování bylo zaměřeno na výkonnost posádek, přibližovací postupy, výcvik pilotů a řízení letového provozu. Ukázalo se, že příčinou havárie bylo kapitánovo selhání při provedení nepřesného přiblížení na letiště v Aganě a nedůsledný monitoring kapitána ze strany prvního důstojníka a palubního

inženýra. Spolupůsobícími faktory byly kapitánova únava a nepřiměřený výcvik posádek společnosti Korean Air, který se pro letiště na Guamu zaměřoval pouze na vizuální přiblížení bez ohledu na meteorologické podmínky. Na nehodu měl vliv i záměrný zákaz systému varování minimální bezpečné nadmořské výšky nad terénem (MSAW) ze strany FAA na Guamu a selhání FAA při řízení tohoto systému. Bezpečnostní doporučení plynoucí z vyšetřování se týkalo lidské výkonnosti, přibližovacích postupů a výcviku pilotů. Vyšetřování se zaměřilo i na řízení letového provozu, lidskou výkonnost dispečerů a okolnosti týkající se zákazu varovného systému MSAW na Guamu [17].

Sestřelení letounu Boeing 777-200 nad Ukrajinou

Dne 17. 7. 2014 v 15:20 LT (13:20 UTC) se zřítil Boeing 777-2H6ER (9M-MRD) společnosti Malaysia Airlines (let MH17: Amsterdam - Kuala Lumpur) v blízkosti obce Hrabove na východní Ukrajině. Letoun vzletl z Amsterdamu v 12:30 LT (10:30 UTC) a přelétával nad územím Ukrajiny ve FL 330, přičemž byl řízen ukrajinským řízením letového provozu. Pád letounu byl způsoben zásahem hlavice pocházející ze střeleckého systému Buk typu země-vzduch. Výbuch hlavice v těsné blízkosti kokpitu zabil všechny 3 piloty a způsobil strukturální poškození přední části letounu, který vedl až ke vzdušnému rozpadu. Nepřežil nikdo z 298 osob na palubě a vrak letounu byl rozset na ploše 50 km². Za sestřelením letounu může stát útok proruských separatistů, vyšetřování však nebylo dosud uzavřeno [18]. Dopady sestřelení Boeingu 777-200 na chráněná aktiva jsou v tabulce 5.

Tabulka 5. Dopady sestřelení Boeingu 777-200 na chráněná aktiva.

Chráněné aktivum	Dopady letecké nehody
Životy a zdraví cestujících	Úmrtí všech 283 cestujících na palubě boeingu 777 v důsledku výbuchu a vzdušného rozpadu
Životy a zdraví posádky	Úmrtí všech 15 členů posádky boeingu 777-200
Životy a zdraví civilistů v území	Ohrožení padajícími troskami letounu na obydlené území
Bezpečí lidí	Vznik paniky a chaosu; rozdělení rodin; ztráta jistoty v území; strach z vynaložení nadměrného úsilí a fyzické práce pro obnovu; traumata z události atd.
Veřejné blaho	Škody na veřejných budovách jako jsou nemocnice a jiná sociální zařízení, školy, úřady, průmyslové objekty a snížení provozuschopnosti atd.
Majetek	Zničení letounu; přímé zničení nebo velké poškození budov, objektů, silnic, železnic, mostů, plotů aj.; škody na vybavení budov; škody na zasažených automobilech apod.
Životní prostředí	Nebezpečí druhotných technologických nehod, požárů; zatarasení vodních koryt; znečištění povrchových a podzemních vod; poškození složek životního prostředí únikem nebezpečných látek apod.
Dodávky energií (elektřina, teplo, plyn)	Selhání dodávek elektřiny v důsledku narušení objektů infrastruktur a následná ztráta osvětlení, funkčnosti zabezpečovacích systémů, selhání ovládacích mechanismů závislých na elektřině z rozvodné sítě apod.
Systém dodávky vody	Při přerušení dodávek elektrické energie selhání dodávek pitné vody; kontaminace vodních zdrojů apod.
Kanalizační systém	Porušení kanalizační sítě; odstavení čističek atd.
Přepavní síť	Narušení dopravní obslužnosti; dopravní chaos, zácpy, havárie; nefunkčnost systémů řízení dopravy (semafony, světla v tunelech) kvůli výpadku dodávek elektřiny apod.
Kybernetická infrastruktura	V důsledku přerušení dodávek elektrické energie selhání provozů řízených kybernetickými systémy; přerušení rozvodů; poruchy ústředí, serverů, uzlů, sítí, základových stanic a koncových zařízení apod.

Bankovní a finanční sektor	V důsledku selhání dodávek elektrické energie a přerušení kybernetických sítí selhání bankomatů a peněžních služeb atd.
Nouzové služby (policie, hasiči, zdravotníci)	Hasiči, zdravotníci) selhání bezpečnostních systémů nutných pro monitorování území a z toho plynoucí omezená činnost policie; znesnadněná činnost zdravotníků; snížení akceschopnosti; mnoho požadavků na záchranné a likvidační práce apod.
Základní služby v území (zásobování potravinami, likvidace odpadů, sociální služby, pohřební služby), průmysl a zemědělství	Znehodnocení zemědělské produkce, škody na dobytku; problémy se zásobováním; vznik průmyslových nehod; zastavení nebo zpomalení základních služeb jakými jsou zdravotnictví, sociální služby, zásobování a prodej potravin; poškození automobilové techniky apod.
Státní správa a samospráva	Přerušení komunikace s občany v postižených zónách; nemožnost plně fungovat atd.

Z tabulky 5 vyplývá, že sestřelení letounu nad obydlenou oblastí představuje velké nebezpečí nejen pro letoun, ale i pro civilisty v území. Vede k rozsáhlým ztrátám na lidských životech a majetku. Ukrajina delegovala vyšetřování události na Nizozemský úřad pro bezpečnost v dopravě. Vyšetřování se zaměřilo i na politickou situaci v regionu a ukázalo se, že letecké úřady nevyhodnotily správně nebezpečí pro civilní letadla plynoucí z válečného konfliktu na východní Ukrajině, který v dané době již zasahoval i do vzduchu. Ukrajinské úřady přitom již dříve oznámily, že ve dnech 14. a 16. 7. byly v oblasti sestřeleny 2 vojenské letouny, avšak v hladinách nižších, než jsou běžné pro civilní dopravní letadla. To mělo být dostatečným důvodem pro okamžité uzavření dané části vzdušného prostoru Ukrajiny. Ten byl však uzavřen pouze v rozsahu blízko země, tj. GND – FL 320, pro provoz ve vyšších letových hladinách žádné omezení nebylo vydáno. Mezi sestřelením prvního z vojenských letounů a sestřelením letu MH17 použilo tento vzdušný prostor 61 dopravců z 32 zemí a 17. 7., před sestřelením Boeingu, prolétlo danou oblastí 160 civilních dopravních letadel. Až poté byl vzdušný prostor nad východní Ukrajinou zcela uzavřen [18].

Současný systém rozdělení odpovědnosti za bezpečné vedení civilního letového provozu není nastaven tak, aby dokázal adekvátně zhodnotit nebezpečí přeletu nad konfliktním územím. Letečtí provozovatelé automaticky předpokládají, že jakýkoliv otevřený vzdušný prostor je bezpečný. Jejich pozornost se často zaměřuje na situaci v místě odletu a přistání, nikoliv však podél trati. Hodnocení rizika nesmí uvažovat pouze aktuální potvrzené hrozby, ale musí se zabývat i potenciálním nebezpečím spojeným s určitým stupněm nejistoty. Závěrečná zpráva z průběhu vyšetřování dala podnět k lepší výměně informací o možném riziku mezi státy a leteckými provozovateli [18].

Střet letounu Airbus A320 s hejnem ptáků nad New Yorkem

Dne 15. 1. 2009 došlo ke srážce letounu Airbus A320-214 společnosti US Airways (reg. N106US) s hejnem ptáků krátce po vzletu z letiště LaGuardia v New Yorku, USA. Následovalo nouzové přistání na řeku Hudson. Všech 150 cestujících a 5 členů posádky se evakovalo nouzovými východy [19]. Letadlo bylo na trati do Severní Karolíny a ke střetu s ptactvem došlo cca 2 minuty po vzletu, během nouzového sestupu a přistání byla vážně zraněna palubní průvodčí a 4 cestující. Ostatní vyvázli s lehkými zraněními nebo zcela bez fyzické újmy. Letadlo bylo těžce poškozeno [19]. Dopady nouzového přistání na užívanou vodní hladinu na chráněná aktiva jsou v tabulce 6.

Tabulka 6. Dopady nouzového přistání na užívanou vodní hladinu na chráněná aktiva.

Chráněné aktivum	Dopady letecké nehody
------------------	-----------------------

Životy a zdraví cestujících	4 cestující zranění
Životy a zdraví posádky	Zraněna palubní průvodčí
Životy a zdraví civilistů v území	Ohrožení osob vyskytujících se na řece
Bezpečí lidí	Ztížená možnost evakuace a přepravy raněných do nemocničních zařízení; vznik paniky a chaosu; traumata z události; atd.
Veřejné blaho	Značné finanční škody pro veřejný i privátní sektor
Majetek	Zničení letounu; přímé zničení nebo velké poškození lodí a objektů na vodní hladině; devastace vodohospodářských děl; ztráty na chovu ryb apod.
Životní prostředí	Znečištění povrchových vod; poškození přirozeného prostředí živých organismů; poškození složek životního prostředí unikem nebezpečných látek apod.
Dodávky energií (elektřina, teplo, plyn)	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Systém dodávky vody	Kontaminace vodního zdroje
Kanalizační systém	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Přepavní síť	Přerušování lodní dopravy
Kybernetická infrastruktura	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Bankovní a finanční sektor	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum
Nouzové služby (policie, hasiči, zdravotníci)	Hasiči, zdravotníci) znesnadněná činnost zdravotníků; pohyb záchranných jednotek v oblasti zásahu možný pouze na člunech, ve vzduchu nebo ve speciální technice; snížení akceschopnosti; mnoho požadavků na záchranné a likvidační práce apod.
Základní služby v území (zásobování potravinami, likvidace odpadů, sociální služby, pohřební služby), průmysl a zemědělství	Obtížná likvidace odpadů; narušení zásobování lodní dopravou a případně automobilovou / železniční po zničených mostech apod.
Státní správa a samospráva	Bez zjištěných dopadů na chráněné aktivum

Z tabulky 6 vyplývá, že nouzové přistání na vodní hladinu představuje přes svoji náročnost naději na zmírnění následků pohromy a záchranu lidských životů. Představuje však nebezpečí pro osoby a objekty na vodní hladině. V případě úniku provozních kapalin do vodního zdroje může vést ke kritickému ohrožení složek životního prostředí a dodávek vody v zasaženém území. Na zvládnutí situace se jistě podílela rozhodnost a správný postup posádky, použití letadla vybaveného pro delší přelety přes vodní plochy, ačkoliv použití takového letadla nebylo na dané lince povinné, rychlý a správný postup posádky při evakuaci letadla, přítomnost záchranných složek v místě nehody a jejich rychlá reakce.

Bezpečnostní doporučení plynoucí z vyšetřování nehody se týkaly postupu pro testování motoru na střet s ptactvem, nouzových kontrolních seznamů, postupu při selhání všech motorů, přistání na vodní hladině a zásad pro přežití cestujících a posádky [19]. Příčinou nehody bylo nasátí velkého ptactva do obou motorů, které vyústilo v téměř úplnou ztrátu tahu. Spolupůsobící na poškození letadla během přistání byl nedostatečný výcvik posádky na přistání na vodní hladinu, problémy v udržení požadované rychlosti ve fázi konečného přiblížení plynoucí z povahy nouzové situace a nakonec neuzavření všech otvorů do letadla před přistáním způsobené nedostatkem času na dokončení všech povinných úkonů před nouzovým přistáním [19].

Posádka letounu byla po události oceněna prezidentem Spojených států amerických a kapitán letu napsal o události knihu, v níž mimo jiné upozornil na současné problémy letecké dopravy. Mezi ně zařadil například úspory leteckých dopravců na úkor bezpečnosti a s tím související klesající mzdy pilotů, které odrazují mnohé schopné uchazeče o toto náročné povolání.

Výše uvedené příklady leteckých nehod ukazují, že v letecké dopravě je třeba připustit existenci rizik a mít připraveny scénáře odezvy na možné situace. Vhodné je mít postupy pro

nouzovou odezvu a k nim příslušené kontrolní seznamy [11], aby vše probíhalo bez zmatků a časových zpoždění. V letovém provozu identifikujeme i zdroje rizik, které přímo nesouvisí s technickým stavem letadla, ovládním letadla, řízením letového provozu, ani se nejedná o úmyslný útok na letadlo; velmi časté jsou střety letadel s ptáky, zejména v okolí letišť a při letech v nízkých hladinách.

Ze studia důkladně zvážených leteckých nehod vyplývá, že je třeba:

- respektovat fyzikální zákony při nakládání letadla,
- každý suverénní stát má odpovědnost za bezpečnost ve svém vzdušném prostoru, a proto musí mít kontrolu nad letovým provozem,
- dbát na dodržování zásad pro pracovní podmínky jak pilota a posádky, tak pracovníků řízení letového provozu, tj. mít zásady režimových opatření a dbát na jejich dodržování,
- nenechat civilní letadla létat nad územím, kde je válka,
- připustit existenci rizik, tj. žádný systém není absolutně bezpečný a připravovat kritický personál, tj. piloty, posádky a personál v řídicích pozicích na řešení neobvyklých situací a trénovat je.

Je skutečností, že některá rizika nelze odstranit, lze pouze zmírňovat jejich následky.

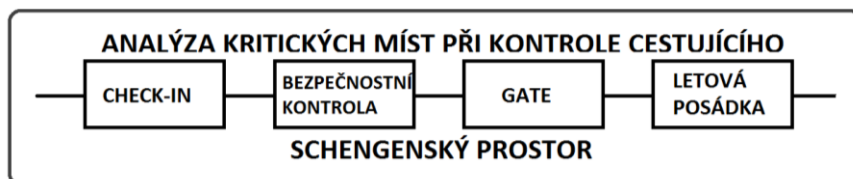
4.3.2. Prognostické případové studie

Na základě postupů používaných v inženýrských disciplínách pracujících s riziky [11] jsou dále uvedeny dvě prognostické případové studie, které se opírají o šetření na letišti Václava Havla v Praze. Letiště Václava Havla je orientováno v severozápadní části perimetru Prahy, v městské části Praha-Ruzyně. Část letiště používaná pro odbavování mezinárodních letů se nachází v severní části areálu letiště, a to Terminál 1 sloužící k odbavení letů mimo Schengenský prostor a Terminál 2 odbavující lety v rámci Schengenského prostoru.

4.3.2.1. Výsledky analýzy kritických míst při odbavení cestujících na letišti Václava Havla

Bezpečí cestujících, posádek i letadla samotného je velice důležité jak před zahájením letu, tak i po celou dobu letu. Na základě charakteristiky vybraného úseku letecké dopravy – odbavení cestujících na letišti v rámci schengenského prostoru a charakteristik pohrom, tj. jevů, které vybrané úseky letecké dopravy a veřejná aktiva poškozují, jsou identifikována rizika pro sledovaný sektor. Na letišti Václava Havla v Praze bylo provedeno šetření celého procesu odbavení (check-in agenti, bezpečnostní kontrola, agenti u gate, letová posádka) [20].

Proces odbavování cestujících je na obrázku 11 [20]. Na obrázku jsou vyznačena kritická místa procesu odbavování, která jsou důležitá pro realizaci procesu odbavování a pro bezpečnost celého letiště, a zároveň jsou místem, kterým na letiště mohou proniknout osoby a materiál s cílem poškodit letiště, tj. pohrom pro letiště [21].



Obr. 11. Procesní model celkového šetření.

Anonymním dotazníkem byly zjišťovány znalosti a dovednosti všech zaměstnanců [20]. Získaná data byla vyhodnocena základními statistickými metodami. Tabulka 7 uvádí přehled, jakým způsobem byla data obdržena a kolik zaměstnanců konkrétního kritického místa na anonymní dotazník odpovědělo.

Dle zákona č. 216/2002 Sb. §7 o ochraně státních hranic České republiky a o změně některých zákonů (zákon o ochraně státních hranic) je definována v rámci schengenského prostoru vnitřní hranice. Pro letiště na území schengenského prostoru to znamená odstranění pasových kontrol u letů do zemí schengenského prostoru. Proto cestující, který cestuje pouze v rámci zmíněného prostoru, dle procesního modelu, nejprve zajde na check-in přepážku, kde je ověřena jeho identita předložením osobního pasu nebo občanského průkazu (pokud se neodbavoval přes internet).

Tabulka 7. Přehled získaných dat [20].

Datum sběru dat	Pracovní zařazení	Počet dotazovaných osob	Počet otázek	Metoda dotazování
30. 10. 2012 – 28. 11. 2012	Check-in agenti	20	17	Osobní dotazování na letišti, zasílání dotazníku na e-mail.
21. 12. 2012, 11. 1. 2013	Bezpečnostní kontrola	20	21	Osobní dotazování na letišti.
30. 10. 2012 – 28. 11. 2012	Gate agenti	20	8	Osobní dotazování na letišti, zasílání dotazníku na e-mail.
3. 11. 2012- 12. 2. 2013	Letová posádka-vedoucí kabiny	20	20	Osobní dotazování; zasílání dotazníku na e-mail.
31.10 2012 – 2. 12. 2012	Letová posádka-řadoví stevardi	20	19	Zasílání dotazníku na e-mail.
4. 11. 2012 – 14. 12. 2012	Letová posádka-kapitáni letadel	22	21	Zasílání dotazníku na e-mail.

Check-in agent provede kontrolu a vystaví palubní vstupenku. Dále totožnost cestujícího před vstupem do vyhrazeného bezpečnostního prostoru je kontrolována bezpečnostní kontrolou, kde cestující předloží svůj osobní doklad s palubní vstupenkou. Následně se cestující musí dostat ke gate, kde je opět provedena kontrola palubních vstupenek a cestující se poté dostává do letadla k letové posádce. Postup procesu je na rozhodnutí letiště. Letiště se musí řídit nařízením (ES) č. 300/2008, který příkazuje povinnost letiště provádět bezpečnostní kontroly a mít bezpečnostní program [22,23].

Výsledky šetření – check-in agenti [20]:

1. *Máte možnost zjistit, zda cestovní doklad je platný?* Odpovědi: ano 15x(75 %); ne 5x(25 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že převážná většina dotazovaných osob má možnost zjistit platnost cestovního dokladu. Existuje i menšina, která možnost nemá nebo si jí není vědoma.
2. *Dostáváte informace o celostátně hledaných osobách? Pokud ano, jsou informace dostatečné k identifikaci příslušné osoby?* Odpovědi: ano 12x(60 %); ne 8x(40 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že více jak polovina dotazovaných informace o celostátně hledaných osobách dostává. Spoustu dotazovaných uvedlo, že informací je velice mnoho a tudíž je nemožné si všechny zapamatovat. Při odbavení je pouze čas na kontrolu dokladů, zvážení zavazadla a vystavení palubní vstupenky. Informace chodí na e-mail a jsou dostatečné –

bohužel jednou na e-mail se podívat je nedostačující. Našla se i menšina dotazovaných, která uvedla, že informace jsou nedostatečné.

3. *Kontrolujete pas nebo občanský průkaz pouze vizuálně?* Odpovědi: ano 20x(100 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že všichni zaměstnanci odbavovací přepážky check-in kontrolují doklady pouze vizuálně. Odpověď na otázku „*Kontrolujete pas nebo občanský průkaz přístrojově?*“ byla ne 20x(100 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že nikdo ze zaměstnanců doklady přístrojově nekontroluje.

Výsledky šetření – bezpečnostní kontrola [20]:

1. *Máte možnost 100 % zjistit, zda cestovní doklad je platný?* Odpovědi: ano 1x(5 %), ne 19x(95 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že možnost ověření platnosti dokladu příslušní pracovníci nemají, někteří dotazovaní doplnili, že je to velice časově náročné a kdyby ověření museli dělat u všech cestujících, kontroly by byly velice zdlouhavé, protože k ověření dokladu potřebují pomoc Policie ČR.
2. *Dostáváte informace o celostátně hledaných osobách? Pokud ano, jsou informace dostatečné k identifikaci příslušné osoby?* Odpovědi: ne 20x(100 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že bezpečnostní kontrola, kontrolující cestující v rámci schengenského prostoru, nedostává žádné informace o celostátně hledaných osobách.
3. *Znáte bezpečnostní prvky občanského průkazu a pasu, a dokážete je spolehlivě rozeznat?* Odpovědi: ne 20x(100 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že bezpečnostní kontrola nezná bezpečnostní prvky občanského průkazu a pasu. Někteří dotazovaní doplnili, že kontrolují pouze, zda sedí údaje na dokladu s palubní vstupenkou a fotografie na dokladu s osobou, která doklad předkládá.

Výsledky šetření – gate agenti [20]:

1. *Máte předpis, co udělat v případě podezření, že není v případě určitého cestujícího vše v souladu s předpisy?* Odpovědi: ano 14x(70 %), ne 6x(30 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že předpisy mají, avšak někteří doplnili, že předpisy si už nepamatují. Ti, kteří odpověděli, že předpisy nemají, pravděpodobně s nimi nebyli obeznámeni.
2. *Prošel/a jste praktickým výcvikem, jak se zachovat, že podezření se naplnilo a cestující porušil zásady slušného chování nebo právní předpis?* Odpovědi: ano 9x(45%), ne 11x(55%). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že necelá polovina dotazovaných praktickým výcvikem prošla. Někteří dotazovaní doplnili, že pokud cestující poruší zásady slušného chování nebo právních předpisů, kontaktují svého nadřízeného.
3. *Pokud jste odbavoval/a cestující na check-in přepážce, prošel/a jste speciálním výcvikem, abyste při druhém setkání mohl/a odhalit nežádoucího cestujícího, jestliže vzniklo u vás podezření na check-in?* Odpovědi: ano 7x(35 %), ne 13x(65 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že většina dotazovaných osob neprošla výcvikem, aby při druhém setkání mohla odhalit nežádoucího cestujícího, jestliže vzniklo podezření na check-in přepážce. Z výsledků je viditelné, že někteří výcvikem prošli.

Výsledky šetření – vedoucí kabiny [20]:

1. *Jste dostatečně připraven/a na situace, kdy musíte zabránit za každou cenu vstupu neoprávněné osoby do kokpitu?* Odpovědi: ano 16x(80 %), ne 4x(20 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že přes polovinu dotazovaných osob jsou dostatečně připraveny na situace, kdy musí zabránit za každou cenu vstupu neoprávněné osoby do kokpitu, avšak našla se i menšina, která se dostatečně necítí být připravena.

2. *Máte mezi sebou kolegy stewardy, o kterých si myslíte, že by nedokázali ochránit cestující z důvodů zpanikaření, strachu či strnutí před osobou, která narušuje bezpečí?* Odpovědi: ano 17x(85 %), ne 3x(15 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že přes polovinu dotazovaných vedoucích kabin uvedlo, že mají mezi sebou kolegy stewardy, o kterých si myslí, že by nedokázali ochránit cestující z důvodů zpanikaření, strachu či strnutí před osobou, která narušuje bezpečí.
3. *Máte přesné instrukce, jak postupovat, když máte u osoby vstupující do letadla na základě údajů, od příslušného orgánu letiště silné indicie, že jde o nežádoucí osobu?* Odpovědi: ano 13x(65 %), ne 7x(35 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že vedoucí kabiny mají přesné instrukce jak postupovat, když mají u osoby vstupující do letadla na základě údajů, od příslušného orgánu letiště silné indicie, že jde o nežádoucí osobu. Avšak někteří dotazovaní odpověděli, že instrukce nemají.

Výsledky šetření – řadoví stewardi [20]:

1. *Máte výcvik a instrukce, jak jednat s osobou, jejíž chování je zvláštní až extrémní?* Odpovědi: ano 14x(70 %), ne 6x(30 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že přes polovinu dotazovaných řadových stewardů výcvik a instrukce má, jak jednat s osobou, jejíž chování je zvláštní až extrémní. Našla se i menšina dotazovaných co tento výcvik nemá.
2. *Máte přesné instrukce pro postup, když na palubě dojde k incidentu?* Odpovědi: ano 12x(60 %), ne 8x(40 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že přes polovinu dotazovaných instrukce pro postup, když na palubě dojde k incidentu, mají, avšak našli se tací, co postup nemají nebo si ho neuvědomují.
3. *Prošel/a jste výcvikem, jak zvládnout osoby, které ohrožují vás nebo cestující?* Odpovědi: ano 14x(70 %), ne 6x(30 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že přes polovinu dotazovaných stewardů prošlo výcvikem, jak zvládnout osoby, které ohrožují je nebo cestující, avšak našla se menšina dotazovaných, která výcvik nemá.

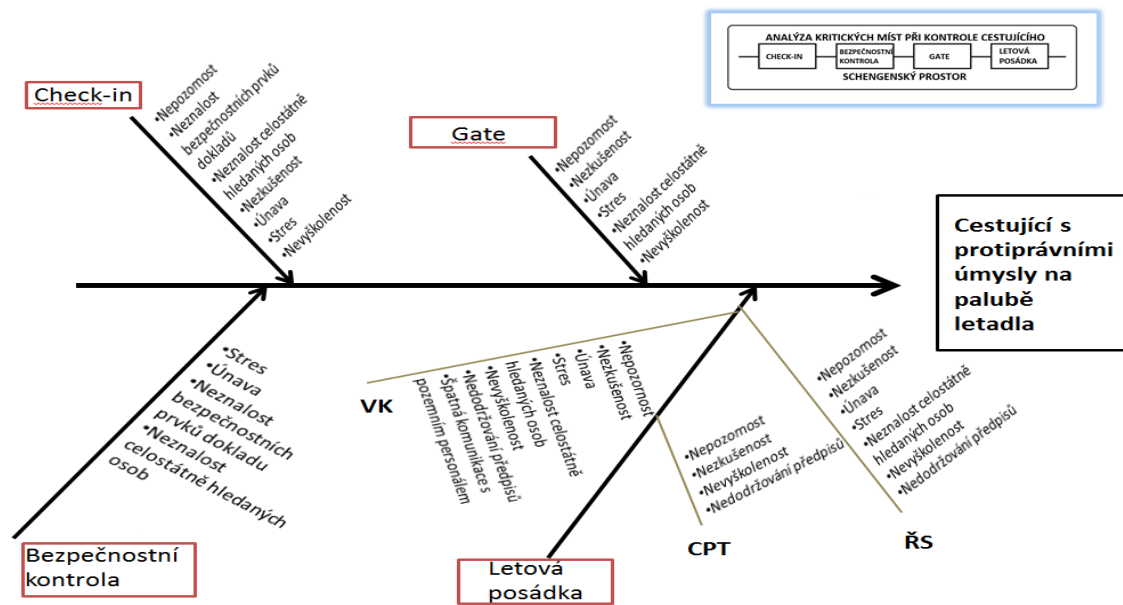
Výsledky šetření – kapitáni letadel [20]:

1. *Byl jste vyškolen a vycvičen tak, že umíte dobře vyhodnotit, zda chování určité osoby překročilo mez danou právními a etickými pravidly?* Odpovědi: ano 12x(55 %), ne 10x(45 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že necelá polovina kapitánů nebyla vyškolená a vycvičena tak, že umí dobře vyhodnotit, zda chování určité osoby překročilo mez danou právními a etickými pravidly.
2. *Myslíte si, že je bezpečné, když stěna obklopující dveře do pilotní kabiny není z průstřelného materiálu?* Odpovědi: ano 10x(45 %), ne 12x(55 %). Z vyhodnocení odpovědí vyplývá, že mírně nad polovinu dotazovaných kapitánů si nemyslí, že je bezpečné, když stěna obklopující dveře do pilotní kabiny není z průstřelného materiálu.
3. *Máte přesně rozdělené úkoly mezi vámi a stewardy, jak postupovat, když na palubě dojde k incidentu?* Odpovědi: ano, pomocí instrukcí 14x(64 %), ano, dle pokynů vedoucí kabiny 0x(0 %), ne 8x(36 %).

Metodou rybí kosti [11] jsou na obrázku 12 ukázány zdroje rizik zjištěné šetřením, na které by se vedení jednotlivých úseků mělo zaměřit. Ze sledovaného obrázku vyplývá, že výsledky v kritickém místě check-in jsou: nepozornost, neznalost bezpečnostních prvků dokladů, neznalost celostátně hledaných osob, nezkušenost, únava, stres, nevyškolenost. V kritickém místě bezpečnostní kontrola jsou negativními výsledky: stres, únava, neznalost bezpečnostních prvků dokladů, neznalost celostátně hledaných osob. V kritickém místě Gate negativními výsledky

jsou: nepozornost, nezkušenost, únava, stres, neznalost celostátně hledaných osob, nevyškolenost. V kritickém místě letová posádka, která je rozdělena do úseků vedoucí kabiny, řadoví stewardi a kapitáni letadel, negativními výsledky jsou: nepozornost, nezkušenost, nedodržování předpisů a jiné.

Pro vrcholové řízení bezpečnosti letiště pro proces odbavení cestujících byla sestavena matice odpovědnosti [20]; tabulka 8. Předmětná matice stanovuje pro každou danou činnost primární (P) a sekundární odpovědnost (S); pokud je u jedné činnosti více resortů S, číslují se dle důležitosti.



Obr. 12. Metoda rybí kosti, zkratky: VK-vedoucí kabiny,ŘS – řadoví stewardi,CPT- kapitáni letadel; zpracováno dle [20].

Tabulka 8. Matice odpovědnosti sledovaného procesního modelu; zkratka NB označuje narušení bezpečnosti; převzato z [20].

ODPOVĚDNÉ SLOŽKY ČINNOSTI											
	Supervizor agentů	Check-in agent	Gate agent	Manažer pro bezpečnostní kontrolu	Bezpečnostní kontrola	Letový ředitel	Kapitán letadla	Handling	Vedoucí palubních průvodců	Vedoucí kabiny	Řadoví stewardi
Kontrola dokladů		P									
Vystavení palubních vstupenek		P									
Odbavení zavazadel		P									
NB malé závažnosti přepážky check-in		P									
NB velké závažnosti u přepážky check-in	P	S1									
Kontrola zapsaných zavazadel					P						

Kontrola příručních zavazadel					P						
Kontrola palubní vstupenky a předloženého dokladu					P						
Kontrola cestujících					P						
Kontrola zaměstnanců					P						
NB malé závažnosti u bezpečnostní kontroly					P						
NB velké závažnosti u bezpečnostní kontroly				P	S1						
Kontrola palubní vstupenky u gate			P								
NB malé závažnosti u gate			P								
NB velké závažnosti u gate	P		S1								
Kontrola palubní vstupenky před vstupem do letadla									P	S1	
Předletová kontrola letadla							P				
Naložení zavazadel							P	S1			
Naložení nákladu a pošty							P	S1			
Naložení cateringu									P	S1	
Boarding cestujících							P		S1	S2	
Bezpečnostní instruktáž pro cestující									P	S1	
Provedení letu						S1	P				
Školení personálu-agenti check-in,gate	P										
Školení personálu-bezpečnostní kontrola				P							
Školení personálu-piloti						P					
Školení personálu-stevardi									P		

V tabulce 12 je chápané narušení bezpečnosti malé závažnosti jako situace, kdy personál nemusí volat své nadřízené o pomoc a situaci bezproblémově zvládne ihned vyřešit bez narušení celého procesu. Např. nevolnost cestujícího – zavolání zdravotní služby, neplatný doklad – zákaz přepravy cestujícího, a jiné. Narušení bezpečnosti velké závažnosti je chápané jako situace, kdy personál musí volat své nadřízené, aby pomohli situaci zvládnout, a to buď kvůli nedostatečné kompetenci anebo nevhodnému chování cestujícího; např. opuštěné zavazadlo u odbavovacích přepážek, nezvládnutí opilého / zdrogovaného / agresivního cestujícího, hádka cestujících s personálem u odbavovací přepážky, a jiné.

4.3.2.2. Výsledky analýzy kritických míst při teroristickém útoku na letišti Václava Havla

Za pohromu (zdroj rizika) pro letiště se považuje ztráta funkčnosti kritické infrastruktury, přičemž stačí havárie nebo selhání kritického prvku, anebo jeho vysoce důležité součásti [24]. Ztráta funkčnosti může být vyvolána různými jevy. Předmětné jevy se hodnotí, a přijímají se opatření pro snížení pravděpodobnosti jejich výskytu a zmírnění jejich dopadů. Významnou pohromou je teroristický útok, který má nepřijatelné dopady na veřejná aktiva, letiště i stát. Podle [26] byly v minulosti provedeny teroristické útoky:

- ozbrojený útok na osoby na terminálu,
- sebevražedný bombový útok v prostoru check-in,

- improvizované výbušné zařízení v zaparkovaném autě u letiště,
- improvizované výbušné zařízení ve vozidle, které narazí do terminálu,
- útok minometem na terminál, stojánku či runway.

Kritickým místem je obecně chápáno takové místo, které svojí zranitelností přispívá ke zranitelnosti zkoumaného systému [21] (v tomto případě letiště a operací, které zde probíhají). Jsou to místa, které musí plnit svoji funkčnost za každé situace. Jinými slovy za normálních, abnormálních a kritických podmínek. Proto v případové studii [26] je jako kritické místo vybrán prostor check-in (kumulace cestujících, pozemního leteckého personálu a ostatní veřejnosti).

Případová studie v [26] posuzuje sebevražedný bombový útok v prostorech check-in, který dá vzniknout tlakové vlně. Tlaková vlna ovlivní okolí primárně tlakovou a zvukovou vlnou. V důsledku uvolnění velkého množství energie dojde k roztříštění okolních stěn a k rozletu úlomků. Přitom může dojít k požáru [25].

Podle [27] jsou teroristické útoky prováděny v časech, kdy je nejvíce lidí v prostorech check-in. Proto práce [26] obsahuje dopady protiprávního činu na chráněná aktiva v tabulce 9.

Manuál [25] uvádí opatření pro omezení dopadů primárního a sekundárního efektu výbuchu. *Dopad rázové vlny* může být minimalizován použitím tzv. blast deflector, tedy zařízení pro ohyb rázové vlny. Tím dochází k minimalizaci pravděpodobnosti kolapsu konstrukce či minimálně k omezení jeho rozsahu. *Vznik létajících projektilů* zasklení může být minimalizován užitím plastického filmu na zasklení, který redukuje tříštění skla a tím následné působení sekundárních efektů na osoby v objektu.

Dopady exploze a případného požáru lze také zohlednit v návrhu objektu, a to pomocí opatření uvedených v [25]:

1. Stavebně-konstrukčního řešení, tedy navrhnout konstrukční prvky a zvolit prostorové řešení tak, aby byly minimalizovány případy úmrtí a škod při útoku výbušninou. Zároveň zajistit odolnost spojení konstrukčních prvků tak, aby odpovídala odolnosti prvků samotných. Při návrhu konstrukcí se určí velikost přetlaku na čele rázové vlny (na základě hmotnosti nálože a odstupové vzdálenosti). S pomocí znalosti velikosti přetlaku a dalších parametrů je stanoveno ekvivalentní statické zatížení konstrukčního prvku, kdy relativní poloha a tvar mají vliv na velikost zatížení na daný prvek. Druhotným zatížením jsou létající projektily, u kterých lze odvodit jejich kinetickou energii a určit ekvivalentní zatížení působící na prvek. Při posouzení odolnosti prvku či systému vůči požáru. Tento přístup počítá s plnou funkčností prvku. V případě, kdy nejdříve dojde k výbuchu, prvek může být poškozen. Míra poškození je dána velikostí a typem nálože a zároveň materiály (jejich typem, rozmístěním aj.) v blízkosti epicentra, u kterých může také dojít k výbuchu či k vznícení a následnému šíření požáru [28].
2. Materiálového řešení, tedy zvolit materiálové řešení tak, aby odolalo působení účinkům exploze či jiných ozbrojených útoků, omezit použití křehkých materiálů a naopak zvolit materiály pevné, ale pružné a tvárné [25].
3. Zvýšenou ochranou kritických míst – zajistit zvýšenou úroveň ochrany pro zranitelná místa či místa s vysokým rizikem. Fyzická ochrana prvků a budov by měla být dostatečně robustní, aby odolala účinkům přímého útoku (např. náraz vozidlem do terminálu) a zároveň dostatečně měkká (soft), aby nedošlo ke zranění lidí úlomky skla nebo betonu. Klíčové je použití materiálů odolných proti střelným zbraním a výbuchům, které zároveň splňují požární odolnost a bez toxických zplodin [25].

Tabulka 9. Dopady narušení funkčnosti letiště Václava Havla v důsledku teroristického útoku na chráněná aktiva letiště v místě vchodu do terminálu letiště – zpracováno na základě [26].

Chráněná aktiva	Dopady protiprávního činu
Životy a zdraví lidí	Ztráty na životech a újmy na zdraví v důsledku přímého útoku – cestující: cestující čekající na odbavení (check-in) v prostoru terminálu, cestující nacházející se v blízkosti terminálu. Posádky letadel: posádky letadel čekající na odbavení (check-in) v prostoru terminálu, posádky letadel nacházející se v blízkosti terminálu. Pozemní letecký personál: personál nacházející se v zóně check-in a jiných doplňkových služeb (směnárný, celní subjekty). Ostatní veřejnost: řidiči taxi nacházející se v blízkosti místa útoku, blízcí cestujících v jejich osobních vozidlech.
Bezpečí lidí	Narušení bezpečí u lidí zasažených přímým útokem a nepřímo u lidí nacházejících se v nezasazených částech letiště, v letounech přistávajících, čekajících na odlet případně v procesu odbavování na stojánkách.
Majetek	Poškození konstrukce objektu v přímé návaznosti na působení samotné trhavin, následného působení požáru v důsledku exploze, či působení projektilů z křehkých materiálů (beton, sklo). Poškození dalších stavebních objektů v blízkosti terminálu – pozemní komunikace. Poškození vnitřního vybavení – zónou sloužící odbavení, screeningu či jiných bezpečnostních zařízení. Poškození osobních věcí a majetku cestujících. Poškození vozidel veřejné dopravy, taxi, či osobních vozidel nacházejících se v dosahu tlakové vlny či ostrých projektilů.
Veřejné blaho	Dopady na pocit bezpečí nejenom přímo ovlivněných osob, ale také lidí ovlivněných nepřímo (zpětně pomocí zpravodajských stanic). Narušení operací probíhajících na letišti a jeho přilehlém okolí (městská veřejná doprava). Možná omezení funkčnosti dalších prvků kritické infrastruktury z důvodu zvýšené ostrahy (například zvýšená ostraha při vstupu do metra v důsledku letištního útoku).
Životní prostředí	Působení produktů exploze a hoření na okolí a to nejenom v perimetru letiště, ale také v okolních zástavbách (například Nebušice). Zničení flory na veřejném prostranství letiště. Ovlivnění fauny v blízkosti útoku – např. ptactvo.
Infrastruktury a technologie	
Dodávky energií	Narušení rozvodů elektrické energie uvnitř objektu. Narušení systému vedení elektrické energie mezi jednotlivými objekty v rámci.
Dodávky vody	Kontaminace či narušení rozvodů pitné vody v důsledky porušení potrubí.
Kanalizace	Narušení odvodu dešťové vody. Narušení kanalizační soustavy.
Přepravní síť	Přerušování veškerých operací v civilní části letiště. Přerušování veškerých operací v části letiště pro všeobecné letectví. Přerušování/ovlivnění městské hromadné dopravy z/na letiště. Ovlivnění městské hromadné dopravy v celé Praze v důsledku zvýšení ostrahy. Ovlivnění vlakového spojení na trase Praha Veleslavín – letiště Václava Havla – plánované v blízkých letech (více v následující kapitole).
Komunikační a informační sítě	Narušení CCTV systémů umístěných v blízkosti útoku.
Bankovní a finanční sektor	Vznik pojistné události pro pojišťovací společnosti – majetek letiště Praha (provozovatele letiště), státních orgánů, cestujících. Pokles poptávky ze strany cestujících z důvodu strachu – přímé ovlivnění aerolinek a nepřímé ovlivnění všech sektorů čerpajícího z turistického ruchu.
Nouzové služby	Velká komplexnost zásahu v blízké době po útoku týkající se života a zdraví lidí – záchrana raněných, zaopátrání případných smrtelných případů. Likvidace mimořádné události se zajištěním bezpečnosti konstrukce – hašení případného požáru, odklizení trosk (celých konstrukcí či projektilů). Vytíženost Hasičského záchranného sboru Letiště Praha, které slouží k zajištění požární ochrany nejenom pro uzavřený perimetr letiště, ale také pro své nejbližší okolí.

Základní služby v území	Narušení či omezení přijímání/vydávání cargo. Omezení administrativní činnosti v zóně letiště.
Státní správa a samospráva	Nutná záchrana postižených osob samotným útokem. Poskytnutí následné péče (finanční, personální) přeživším a jejich blízkým. Znovu-vytvoření pocitu bezpečí u celého národa viditelným úsilím pro opětovné nastolení alespoň přechodí úrovně bezpečnosti. Možné sdílení nákladů na rekonstrukci poškozených stavebních a jiných objektů – přímo jednorázovou splátkou, ve formě půjčky, či poskytnutí materiálu pro odklizení dopadů a obnovení funkce letiště v co nejkratší době.

4.4. Příčiny havárií a selhání leteckého systému

Na základě [2,14] se letecké nehody nevyhýbají žádné zemi; obrázek 13.



Obr. 13. Rozložení leteckých nehod v posledních 50 letech; dle [2].

Pomocí nástrojů inženýrství založeného na řízení rizik byly roztrženy příčiny nehod a skoro-nehod uvedených v [14] podle:

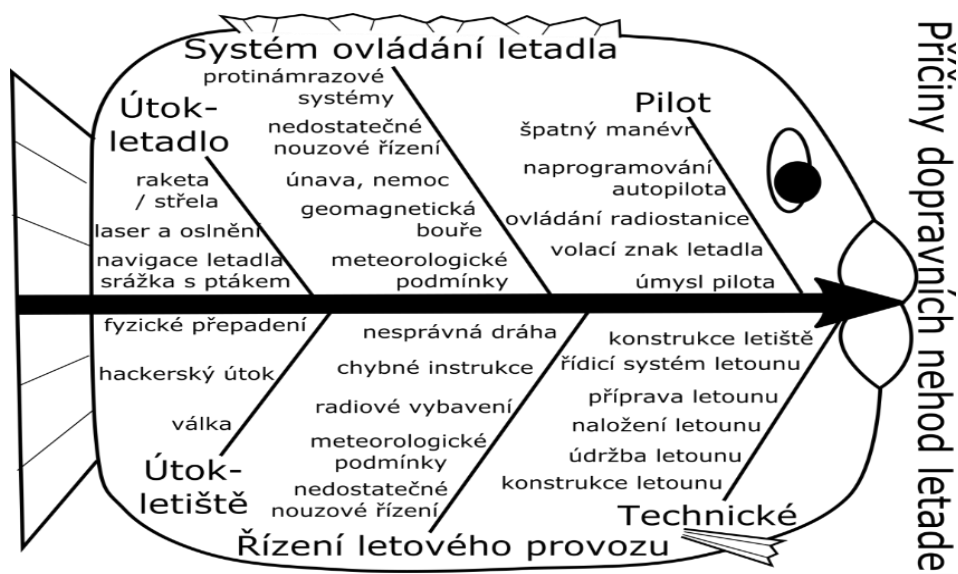
- místa vzniku,
- pomocí nástroje diagramu rybí kosti (Fishbone diagram), byly příčiny havárií propojeny do logických celků podle příbuznosti. Předmětný nástroj identifikuje, vysvětluje a graficky zobrazuje možné příčiny problému [11].

Logické celky byly dále rozvedeny, aby bylo možno navrhnout opatření ke zvýšení bezpečnosti sledovaného letového provozu v jednotlivých doménách, protože každá doména má z hlediska kritičnosti vlastní specifická rizika.

Na základě výsledků uvedených v práci [1], jsou rozlišeny následující příčiny:

- technické – spojené s letounem,
- technické – spojené s letištěm,
- řízení letového provozu – fyzické příčiny,
- řízení letového provozu – organizační příčiny,
- řízení letového provozu – kybernetické příčiny,
- útok na letadlo,
- útok na řízení letového provozu nebo letiště.

Diagram rybí kosti (Fishbone diagram) zobrazující základní kategorie příčin dopravních nehod civilních letadel je uveden na obrázku 14.



Obr. 14. Roztřídění příčin dopravních nehod civilních letadel.

Detailní dělení příčin je:

1. *Technické – spojené s letounem:*

- konstrukční chyba letounu (chybná konstrukce a umístění palivové nádrže, chybná konstrukce výměníků, zřejmé možnosti elektrického zkratu, stabilita apod.),
- špatná údržba letounu,
- nesprávná příprava letounu k letu (mylně nastavené výchozí údaje, např. u přetlakového systému)
- nesprávně naložený letoun,
- náhlá technická závada letounu (vysazení motoru, směrového kormidla nebo jiného důležitého zařízení, výpadek klimatizace apod.),
- nedostatek paliva,
- selhání technického vybavení řídicího systému letadla (výpadek přístroje měřícího výšku letounu, výpadek radiového spojení s letištěm apod.),
- nefunkční zálohovaný systém v případě potřeby.

2. *Technické – spojené s letištěm:*

- nevhodné umístění letiště v území (moře, hory, vysoké stavby apod.),
- konstrukční chyba při stavbě letiště (příliš krátká runway, runway ve směru, ve kterém je často protivítr apod.),
- stav runway (konstrukční chyba, nepořádek na letištní ploše, špatná údržba – nerovnosti, led, sníh apod.),
- chybí pozemní radar,
- náhlá technická závada přístrojů na řídicí věži (špatná údržba, selhání technického vybavení řídicího systému na dispečerském stanovišti apod.),
- nefunkční pozemní varovný systém udávající minimální bezpečnou nadmořskou výšku letounu u letiště
- rozmístění techniky pro obsluhu letounu (tankování, vykládka a nakládka zboží, nástup a výstup lidí apod.),
- fyzické zničení letiště (váleka, loupežné přepadení, teroristický útok, ...).

3. *Řízení letového provozu – fyzické příčiny:*

- umístění letounu na nesprávnou runway,
- překážky na runway,
- nedostatečné radiové vybavení letiště,
- nedostatek znalostí a zkušeností obsluhy letiště (pracovníka navigujícího pohyb letadla po letištní ploše),
- nefunkční pozemní varovný systém udávající minimální bezpečnou nadmořskou výšku letounu u letiště.

4. *Řízení letového provozu – organizační příčiny:*

- navedení letounu na nesprávnou dráhu při startu, letu i přistání (kolize letadel, vyjetí z dráhy apod.),
- špatné zvážení meteorologických podmínek (chybné informace pro navedení letadla),
- odeslání chybných instrukcí letadlům kvůli selhání řídicího systému na dispečerském stanovišti (např. v důsledku výpadku elektrického proudu, výpadku PC apod.),
- odeslání chybných instrukcí letadlu kvůli chybě nebo neznalosti dispečera,
- zmatek na dispečerském stanovišti (špatné informace pilotům, zpožděné informace apod.); např. na dispečerské věži nejsou doporučené postupy pro piloty, kteří se dostanou do nenadálých nouzových až kritických situací
- nedostatek pozemního personálu na letištní ploše (srážka letadel apod.),
- chyba pozemního personálu (při navádění letadla, úklidu letiště, údržbě letiště apod.),
- špatně rozdělené odpovědnosti na řídicí věži,
- nedostatečná komunikace s piloty letadel v obslužném prostoru,
- nedostatek znalostí a zkušeností obsluhy na řídicí věži,
- neexistence instrukcí pro podporu pilotů, kteří se dostanou do nenadálých nouzových až kritických situací.

5. *Řízení letového provozu – kybernetické příčiny:*

- zkreslení údajů z monitorovací sítě (chybné instrukce pilotům a od pilotů, zmatek na řídicí věži apod.),
- chybný software (nezvažuje všechny možné varianty letových situací, z čehož plynou chybné instrukce pro piloty i personál),
- nedostatečný hardware (špatné vyhodnocení dat, odeslání chybných instrukcí letadlům z důvodu selhání PC, zpoždění zpráv apod.),
- hackerský útok na řídicí centrum vybavení dispečerské věže.

6. *Ovládání letadla:*

- špatný manévr pilota letadla kvůli chybné informaci z řízení letového provozu,
- chyba pilota při ovládání letadla (kvůli zdravotnímu stavu, únavě, chybné informaci z řízení letového provozu, selhání kritického zařízení letadla v důsledku špatné údržby, chybnému vyhodnocení situace – úhel a rychlost pro vzletnutí a přistání, náraz na plochu, vypnutí funkčního motoru místo vadného, - start, přistávání – požáry, vyjetí z dráhy, vyřazení přístrojů z činnosti v důsledku solární bouře, geomagnetické bouře apod.),
- chyba pilota při vyhodnocení meteorologických podmínek (výboj statické elektřiny, propad letadla, vývrtka apod.),
- chyba pilota při výskytu neočekávaných podmínek (kvůli nedostatečné přípravě na zvládnutí nouzových podmínek – turbulence, snížená viditelnost apod.),
- chyba pilota (nepoužití protinámrazových systémů, nepoužití nouzového volání apod.),
- chyba pilota při přípravě stroje k letu (špatné naprogramování autopilota před letem, špatně nastavený výškoměr, mylně nastavené výchozí údaje, např. u přetlakového systému apod.),
- chyba pilota při ovládání radiostanice,

- chybná spolupráce pilota a posádky,
- chyba pilota při ohlašování (použití chybného volacího znaku letadla – malý rozestup mezi letadly),
- požár nebo dým v pilotním prostoru, prostoru pro cestující, v nákladových prostorech nebo požár motoru,
- špatný úmysl pilota (změna kurzu, nereagování na pokyny z řídicí věže nebo doprovodných letounů apod.),
- neznalost pilota (neučí se postupy ovládání letadla při nenadálých nouzových až kritických situacích – předcházení a zvládnutí vývrtky aj.).

7. Útok na letadlo:

- raketa / střela z jiného letadla či z pozemního cíle,
- zacílení laseru a oslnění pilota,
- protiprávní čin na palubě letadla,
- špatný úmysl dispečera,
- špatný úmysl obsluhy na letišti (pracovníka navigujícího pohyb letadla po letištní ploše),
- srážka letadla s ptákem.

8. Útok na letiště:

- úmyslné přepadení fyzické,
- hackerský útok na vybavení dispečerské věže,
- válka.

Výše uvedené údaje ukazují, že příčiny dopravních nehod civilních letadel jsou různorodé a že nejsou jen na straně pilota a letadla, ale i v oblasti řízení letového provozu.

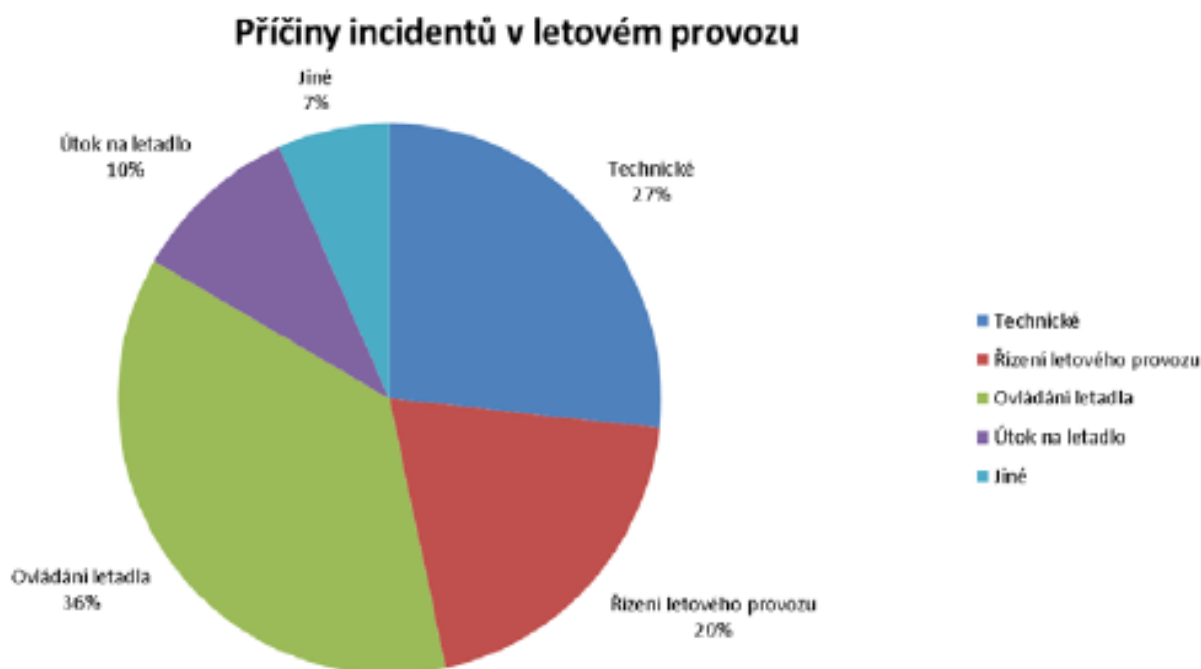
Rozložení příčin havárií v letovém provozu je na obrázku 15 a ukazuje, že největší počet havárií v letovém provozu souvisí s ovládáním letadla.

Oblasti rizik spojených s letadlem v provozu dle [8] jsou:

- organizační (ztráta orientace, chybné vyhodnocení situace, špatná spolupráce posádky, nezvladatelný cestující),
- technická (výpadek motoru, výpadek výškoměru, úbytek kyslíku na palubě),
- narušení bezpečnosti letadla z vnitřních příčin (požár v kabině, požár v zavazadlovém prostoru),
- narušení bezpečnosti letadla z vnějších příčin (velké propadnutí letadla, velký elektrický výboj, útok cizího letadla),
- kybernetická (ztráta spojení, hackerský útok na systém řízení letadla, podivné hlášení – neobvyklá aktivace senzorů).

Oblasti rizik spojených s provozem letiště jsou:

- organizační (neposkytnutí nebo poskytnutí nesprávné informace letadlu, umístění letadla na nesprávnou dráhu, neschopnost pomoci letadlu v nesnázích, zmatek na pracovišti z důvodu vnějšího zásahu jako je např. požár),
- technická (špatný stav dráhového systému letiště, špatné rozmístění techniky na letišti, nefunkční varovný systém),
- vnější podmínky (mlha, zaplavení / zasněžení letiště, fyzický útok na letiště nebo stanoviště řízení letového provozu),
- kybernetická (ztráta spojení, hackerský útok na systém řízení letového provozu).



Obr. 15. Rozložení příčin havárií v letovém provozu; převzato z [8].

Z analýzy výše popsaných dat, použitých k výzkumu vyplývá, že příčiny nehod patřící do kategorie organizační havárie jsou:

- technické – spojené s letounem: konstrukční chyby; špatná údržba; nesprávně naložený letoun,
- technické – spojené s letištěm: umístění letiště; špatná konstrukce letiště; stav letových drah na letišti; špatné rozmístění techniky na letišti; nedostatečné vybavení letiště,
- řízení letového provozu: umístění letounu na nesprávnou dráhu; překážky na letové dráze; nefunkční varovný systém; odeslání chybných instrukcí; zmatek na dispečerském pracovišti; jasně nestanovené úkoly a odpovědnosti,
- ovládání letadla: špatná příprava letounu; chybné vyhodnocení situace; špatná spolupráce posádky,
- letový prostor státu: nedostatečná ochrana vzdušného prostoru; nedostatečné vzdělání pracovníků v letectví.

Výčet příčin organizačních havárií ukazuje velkou roli lidského faktoru v oblasti civilního letectví. V letové posádce existuje při řízení hierarchie převzatá z armády, tj. velitel letounu je odpovědný za provedení letu a bezpečnost letadla i všech osob na palubě. Většina dopravních letadel je konstruována jako více pilotní; nejčastěji dvou pilotní. Mezi členy posádky jsou jasně rozdělené úkoly a pravomoci, přičemž je možná chyba kteréhokoliv člena posádky. Pokud jiný člen posádky danou chybu odhalí, musí na ni neprodleně upozornit, a to bez ohledu na své postavení v posádce. Ačkoliv je výcvik spolupráce posádky věnována v poslední době značná pozornost, vyšetřování příčin leteckých nehod stále ukazují, že v kritických situacích stále často převládá přílišný strach a respekt z autorit [8].

Speciální oblast rizik je spojena s posádkou letadla. V posledních letech se únava stala skutečným problémem většiny leteckých provozovatelů [29]. Vzhledem ke zvyšování letecké dopravy se velká pozornost zaměřuje na únavu. Únava je stav způsobený prováděním komplexních a vysoce odpovědných úkolů, které by měly být považovány za jasné operační riziko, protože snižují pozornost i výkon. Dle [29] únava byla zmíněna jako faktor pro několik nehod a

vážných incidentů. Například let Colgan Air v roce 2009, Air India Express v roce 2010 nebo Air Berlin v roce 2012, kdy posádka požádala o nouzové přistání v Mnichově kvůli extrémní únavě pilotů. V roce 2007 sjelo při přistání z ranveje na Islandu letadlo s 288 cestujícími na palubě. Vyšetřování ukázalo, že na vině byla únava.

5. SYSTÉMY PRO PODPORU ROZHODOVÁNÍ O RIZICÍCH SPOJENÝCH S LETIŠTĚM A S PROVOZEM LETIŠTĚ

Výše uvedené poznatky ukazují, že letiště i jeho velké podsystémy jsou složité socio-kybernetické systémy. Na základě výsledků podrobného výzkumu technických děl v rámci projektu RIRIZIBE [4,30,31] je nutno věnovat speciální pozornost při řízení rizik ve prospěch bezpečnosti kritickým technickým dílům při umísťování, projektování a provozování. Je to proto, že nestačí sledovat jen dílčí rizika, ale je třeba sledovat integrovaná rizika pro zajištění bezpečnosti procesů a integrální rizika pro zajištění bezpečnosti celku.

5.1. Systém pro podporu rozhodování o rizicích letiště

Proto dle závěrů práce [10] jsme při konstrukci nástroje pro posuzování jejich míry rizika, tj. systému pro podporu rozhodování (DSS) použili kombinaci kontrolního seznamu, a principů teorie maximálního užitku [32]. Hodnocení kontrolního seznamu je prováděno klasifikační stupnicí 1 až 5 a je navrženo způsobem, že nejvyšší hodnocení (5) u každé hodnocené otázky, připadá nejlepšímu způsobu zvládnutí daného problému (tj. validita techniky je nejvyšší) na základě současných znalostí a zkušeností. Stupnice pro posuzování celkového výsledku kontrolního seznamu je zvolena v souladu s doporučeními v práci [21].

Vytvořený specifický kontrolní seznam je v tabulce 10. Kontrolní seznam obsahuje 72 otázek a stupnice pro jeho celkové vyhodnocení (tj. míry rizika) podle zásad uvedených v [21], je v tabulce 11. Nástroj byl úspěšně odzkoušen v praxi a byl prezentován na mezinárodních setkáních odborníků z oblasti bezpečnosti technických děl [33]. Vedlejším produktem testů bylo zjištění, že velkým problémem při práci s riziky technických děl je, že experti z různých oblastí spojených s technickými díly spolu nespolupracují; důkazem jsou záznamy o řešení konfliktů, které nemusely vzniknout, kdyby experti spolu komunikovali a spolupracovali.

Hodnocení konkrétního případu, tj. hodnocení souboru očekávaných variant provozu dle tabulky 12 musí dělat tým specialistů z různých odborů nezávisle při použití klasifikační stupnice (0-5) a konceptu „čím vyšší hodnota, tím vyšší riziko [32]“ s pomocí stupnice v tabulce 13. V praxi se osvědčil tým [4,30,31], který v daném případě je složený z: pracovníka veřejné správy odpovědného za bezpečnost území; pracovníka veřejné správy odpovědného za dozor nad provozem letiště; pracovníka letiště, odpovědného za řízení rizik; pracovníka odborné instituce pro posuzování bezpečnosti letiště – např. z technické inspekce; a pracovníka Integrovaného záchranného systému odpovědného za odezvu na havárie a selhání technických děl.

Tabulka 10. Kontrolní seznam pro posuzování integrálního rizika letiště systému na základě posouzení práce s riziky.

Otázka	Hodnocení
Jsou v dokumentaci letiště odlišovány pojmy nebezpečí, ohrožení a riziko?	
Je dokumentace letiště založena na kontextu, který zvažuje jen aktiva technického díla?	
Je dokumentace letiště založena na kontextu, který zvažuje aktiva letiště a vybraná veřejná aktiva (zaměstnanci, kontraktori, návštěvníci, lidé v okolí, pracovní a životní prostředí)?	

Je dokumentace letiště založena na kontextu, který zvažuje aktiva letiště a všechna veřejná aktiva?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které stanovuje zkušenost experta?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které stanovuje legislativa a zkušenost experta?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které zahrnují všechny zdroje rizik spojené s technologií letiště?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které zahrnují všechny zdroje rizik spojené s technologií letiště a lidský faktor spojený se špatně provedenými pracovními úkony?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které zahrnují všechny zdroje rizik spojené s technologií letiště a lidský faktor v nejširším pojetí?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které zahrnují všechny zdroje rizik spojené s technologií letiště, zdroje spojené s BOZP a zdroje spojené s ochranou pracovního prostředí?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které zahrnují všechny zdroje rizik spojené s technologií letiště, zdroje spojené s BOZP a zdroje spojené s ochranou pracovního prostředí i s ochranou životního prostředí vně letiště?	
Jsou zvažovány zdroje rizik, které zahrnují všechny zdroje rizik spojené s technologií letiště, zdroje spojené s BOZP a zdroje spojené s ochranou pracovního prostředí i s ochranou životního prostředí vně letiště v systémovém pojetí (tj., že všechny zdroje rizik jsou vzájemně propojené)?	
Jsou zvažovány zdroje rizik dle přístupu All-Hazard-Approach (tj. systémové pojetí i vnější zdroje)?	
Je zvažováno jen dílčí riziko?	
Jsou zvažována dílčí rizika i integrované riziko?	
Jsou zvažována dílčí rizika, integrovaná rizika i integrální riziko?	
Jsou rizika spojená s letištěm systematicky sledována?	
Jsou rizika spojená s letištěm systematicky sledována až po výstavbě letiště?	
Jsou rizika spojená s letištěm systematicky sledována po celou dobu životnosti letiště už od jeho projektu?	
Jsou rizika letiště systematicky sledována po celou dobu životnosti letiště už od jeho projektu a v jeho projektu a provozu je uplatněn přístup Defence-In-Depth?	
Je při práci s riziky letiště systematicky použit procesní model práce s riziky?	
Je při práci s riziky letiště systematicky použit procesní model práce s riziky, který má jasně určená kritéria přijatelnosti rizik?	
Je při práci s riziky letiště systematicky použit procesní model práce s riziky, který má jasně určená kritéria přijatelnosti rizik, která respektují veřejný zájem (tj. mají sociální rozměr)?	
Je při práci s riziky letiště systematicky použit procesní model práce s riziky, který má jasně určená kritéria přijatelnosti rizik a cíle řízení rizik?	
Je při práci s riziky letiště systematicky použit procesní model práce s riziky, který má jasně určená kritéria přijatelnosti rizik a cíle řízení rizik s ohledem na veřejný zájem?	
Je při práci s riziky letiště systematicky použit procesní model práce s riziky, který má jasně určená kritéria přijatelnosti rizik, cíle řízení rizik s ohledem na veřejný zájem a nápravná opatření v monitoringu pro případ, že nebezpečí se stane nepřijatelné?	
Je při práci s riziky letiště systematicky určen a sledován soubor prioritních rizik?	
Zajišťuje technika řízení rizik letiště v každé fázi práce s riziky přezkoumání přínosů a nákladů spojených s opatřeními na vypořádání rizik, aby se zajistilo hospodárné nakládání se silami, zdroji a prostředky letiště?	
Zajišťuje technika řízení rizik letiště v každé fázi práce s riziky přezkoumání přínosů a nákladů spojených s opatřeními na vypořádání rizik, aby se zajistilo hospodárné nakládání se silami, zdroji a prostředky letiště a veřejné správy?	
Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření na snížení nebo odvrácení rizik, a to jen některých?	
Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření na snížení nebo odvrácení rizik, a to všech prioritních?	
Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření na snížení nebo odvrácení rizik, a to všech, které by mohly způsobit závažné ztráty letišti / jeho vlastníkov?	
Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření na snížení nebo odvrácení rizik, a to všech, které by mohly způsobit závažné ztráty letišti / jeho vlastníkov a nepřijatelné dopady na okolní životní prostředí?	
Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření a připravována zmírňující opatření na snížení největších dopadů rizik, a to jen některých?	

Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření a připravována zmírňující opatření na snížení nebo odvrácení rizik, a to všech prioritních?	
Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření a připravována zmírňující opatření na snížení nebo odvrácení dopadů rizik, a to všech, které by mohly způsobit závažné ztráty letišti / jeho vlastníku?	
Jsou na letišti prováděna systematicky preventivní opatření a připravována zmírňující opatření na snížení nebo odvrácení dopadů rizik, a to všech, které by mohly způsobit závažné ztráty letišti / jeho vlastníku a mít nepříjemné důsledky pro okolní životní prostředí?	
Je letiště pojištěno pro případ realizace rizik?	
Má letiště rezervy finanční, materiální, technické, personální a organizační pro odezvu v případě realizace závažného rizika?	
Má letiště rezervy finanční, materiální, technické, personální a organizační pro obnovu v případě realizace závažného rizika?	
Má letiště rezervy finanční, materiální, technické, personální a organizační pro odezvu a obnovu v případě realizace extrémního neočekávaného rizika?	
Jsou při práci s riziky letiště zohledněny jen výsledky předběžných analýz rizik?	
Jsou při práci s riziky letiště upřednostněny výsledky standardních, rychlých a méně přesných analýz rizik před výsledky předběžných analýz rizik?	
Jsou při práci s riziky letiště upřednostněny výsledky detailních analýz rizik v souhrnném kontextu před výsledky standardních, rychlých a méně přesných analýz rizik a před výsledky předběžných analýz rizik?	
Jsou při práci s riziky letiště upřednostněny výsledky individuálních a specifických analýz rizik před výsledky detailních analýz rizik v souhrnném kontextu, standardních, rychlých a méně přesných analýz rizik a předběžných analýz rizik?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny kritéria pro hodnocení?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny kritéria pro hodnocení technické a ekonomické?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny kritéria pro hodnocení technické a ekonomické, externí a interní?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny kritéria pro hodnocení technické a ekonomické, externí a interní a sociálně – politické?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny požadavky pro zajištění bezpečnosti?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny požadavky, standardy a normy pro zajištění bezpečnosti?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny požadavky, standardy a normy pro zajištění bezpečnosti a dílčí cíle?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny požadavky, standardy a normy pro zajištění bezpečnosti, dílčí cíle a metody a postupy?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny požadavky, standardy a normy pro zajištění bezpečnosti, dílčí cíle, metody a postupy a také limity a podmínky?	
Jsou při práci s riziky letiště stanoveny požadavky, standardy a normy pro zajištění bezpečnosti, dílčí cíle, metody, postupy, limity a podmínky, a kompetence osob či institucí?	
Má správce letiště systém řízení bezpečnosti (SMS), který je postaven na zásadách procesního řízení a systematické práce s riziky?	
Má správce letiště systém řízení bezpečnosti, který obsahuje organizační strukturu, odpovědnosti, praktiky, předpisy, postupy a zdroje pro určování a uplatňování prevence pohrom či alespoň zmírnění jejich nepříjemných dopadů na letiště a okolní území?	
Má správce letiště systém řízení bezpečnosti (SMS), který má proces řízení, který obsahuje šest procesů: koncepce a řízení; administrativní postupy; technické záležitosti; vnější spolupráce; nouzová připravenost; a dokumentace a šetření havárií (dopravních nehod a jiných selhání)?	
Má SMS správce letiště proces koncepce a řízení, který obsahuje podprocesy pro: celkovou koncepci; dosahování dílčích cílů bezpečnosti; vedení / správu bezpečnosti; systém řízení bezpečnosti; personál a zahrnuje úseky pro: řízení lidských zdrojů, výcvik a vzdělání, vnitřní komunikaci / informovanost a pracovní prostředí; revize a hodnocení plnění cílů v bezpečnosti?	
Má SMS správce letiště proces administrativní postupy, který obsahuje podprocesy pro: identifikaci ohrožení od možných pohrom a hodnocení rizika; dokumentaci postupů (včetně systémů pracovních povolení); řízení změn; bezpečnosti ve spojení s kontraktory; a dozor nad bezpečností výrobků?	

Má SMS správce letiště proces technické záležitosti, který obsahuje podprocesy pro: výzkum a vývoj; projektování a montáže; inherentně bezpečnější procesy; technické standardy; skladování nebezpečných látek; a údržbu integrity a údržbu zařízení a objektů?	
Má SMS správce letiště proces vnější spolupráce, který obsahuje podprocesy pro: spolupráci se správními úřady; spolupráci s veřejností a dalšími zúčastněnými (včetně akademických pracovišť); a spolupráci s dalšími podniky?	
Má SMS správce letiště proces nouzová připravenost, který obsahuje podprocesy pro: plánování vnitřní (on-site) připravenosti; usnadnění plánování vnější (off-site) připravenosti (za kterou odpovídá veřejná správa); a koordinaci činností resortních organizací při zajišťování nouzové připravenosti a při odezvě?	
Má SMS správce letiště proces dokumentace a šetření havárií, který obsahuje podprocesy pro: zpracování zpráv o pohromách, haváriích, skoro nehodách a dalších poučných zkušenostech; vyšetřování škod, ztrát a újm a jejich příčin; a odezvu a následné činnosti po pohromách (včetně aplikace poučení a sdílení informací)?	
Je v SMS správce letiště program na zvyšování bezpečnosti, ve kterém jsou stanoveny role zúčastněných, pravidla pro zvyšování kultury bezpečnosti (tzv. zlatá pravidla) a příslušné odpovědnosti?	
Je v SMS správce letiště program na zvyšování bezpečnosti, ve kterém jsou: bezpečnostní plány (strategická, taktická, operativní a technická úroveň); vnitřní a vnější nouzové plány, plány kontinuity a krizové plány?	
Je v SMS správce letiště program na zvyšování bezpečnosti, ve kterém je plán řízení prioritních rizik s jasně stanovenými opatřeními a odpovědnostmi?	
Je v SMS správce letiště program na zvyšování bezpečnosti, ve kterém je plán řízení prioritních rizik s jasně stanovenými opatřeními a odpovědnostmi, který obsahuje jen technická rizika?	
Je v SMS správce letiště program na zvyšování bezpečnosti, ve kterém je plán řízení prioritních rizik s jasně stanovenými opatřeními a odpovědnostmi, který obsahuje technická a organizační rizika?	
Je v SMS správce letiště program na zvyšování bezpečnosti, ve kterém je plán řízení prioritních rizik s jasně stanovenými opatřeními a odpovědnostmi, který obsahuje technická, organizační a vnější rizika?	
Je v SMS správce letiště program na zvyšování bezpečnosti, ve kterém je plán řízení prioritních rizik s jasně stanovenými opatřeními a odpovědnostmi, který obsahuje technická, organizační, vnější a kybernetická rizika?	
Je v SMS správce letiště zajištěn kvalitní monitoring integrálního rizika a závažných dílčích rizik a nápravná opatření pro případ nepřijatelných rizik?	
CELKEM	

Tabulka 11. Hodnotová stupnice pro stanovení míry rizika.

Míra rizika	Hodnoty v %	Výsledek hodnocení
Extrémní – 5	Méně než 5 %	Méně než 18
Velmi vysoká – 4	5-25 %	18-90
Vysoká – 3	25-45 %	90-162
Střední – 2	25-45 %	162-252
Nízká – 1	45-70 %	252-342
Zanedbatelná – 0	Více než 95 %	Více než 342

Současná kultura bezpečnosti, vymezená v pracích [4-10,21] ukládá managementu, aby prakticky takový systém řízení bezpečnosti, který udrží procesy v technologických objektech, tj. ve sledovaném případě letišti, v určitých mezích. Týká se všech účastníků provozu na letišti, protože vlastníků rizik je mnoho.

5.2. Systém pro podporu rozhodování o rizicích spojených s provozem letišť

Pro letiště, která jsou složitými technickými díly sestavíme pro bezpečný provoz nástroj pro stanovení integrálních a integrovaných rizik podle konceptu v práci [4].

Pro praktické použití je systém pro podporu řízení rizik zacílený na bezpečný provoz technických děl při provozu, vypracovaný v práci [4]. Pro jeho pochopení uvádíme:

- letiště je socio-kyber-technický (fyzický) systém,
- jsou zváženy poznatky o projevech lidského faktoru, jež jsou uvedeny u vyhodnocení příčin selhání leteckého provozu výše. Je bráno v úvahu, že kompetence a odpovědnosti, které uvolňují potřebné zdroje na opatření a činnosti na řízení a vypořádání rizik ve prospěch bezpečnosti závisí na úrovni organizační struktury. Nejvyšší kompetence jsou na nejvyšších úrovních, jak ukazuje práce [6]. Proto také na této úrovni jsou největší odpovědnosti za řízení rizik letišť ve prospěch bezpečnosti ve státě,
- je zvážen princip odpovědnosti, který je běžný v Evropě [35], což v daném případě znamená, že odpovědnost za bezpečnost provozu letišť, tj. za úroveň práce s riziky spojenými s letišťem, má vlastník i veřejná správa, která má povinnost dohledu v veřejném zájmu.

Organizační struktura správy letišť je mechanismus, který slouží ke koordinaci a řízení provozu letišť. Dle [36-38] představuje hierarchické uspořádání vztahů nadřízenosti a podřízenosti a řeší vzájemné pravomoci (kompetence), vazby a odpovědnost. Uvolnění velkých finančních a dalších prostředků na řízení a vypořádání rizik pochopitelně je jen na nejvyšší hierarchické úrovni. Na základě legislativy ČR je zvážena struktura: vrcholový management letišť; střední management letišť; technický management; a personál (kritický a podpůrný), a také role veřejné správy, která, jak již bylo uvedeno, vykonává dohled nad bezpečností ve veřejném zájmu.

Při sestavování systému pro podporování rozhodování o rizicích jsou brány v úvahu aspekty, které posuzují: způsob zvažování rizik a jejich zdrojů; dosaženou úroveň bezpečí při daném provedení letišť; technickou úroveň zavedených opatření; materiálovou a energetickou náročnost; rychlost realizace opatření; nároky na personál; nároky na informační zajištění; nároky na finance; nároky na odpovědnost; a také nároky na řízení všech zúčastněných (tj. jak řízení letišť, tak řízení území).

Tabulka 12 obsahuje zdroje rizik, které mají potenciál narušit integrální bezpečnost letišť, tj. koexistenci letišť a jeho okolí. Způsob vyhodnocování systému pro podporu řízení rizik ve prospěch je stejný jako v práci [4] (je třeba pouze nahradit číselnou hodnotu n , která je u původního nástroje rovna 302 a u letišť rovna 250), a proto není uveden.

Hodnocení konkrétního případu, tj. hodnocení souboru očekávaných variant provozu dle tabulky 12 musí dělat tým specialistů z různých odborů nezávisle při použití klasifikační stupnice (0-5) a konceptu „čím vyšší hodnota, tím vyšší riziko [32]“ s pomocí stupnice v tabulce 13. V praxi se osvědčil tým [4,30,31], který v daném případě je složený z: pracovníka veřejné správy odpovědného za bezpečnost území; pracovníka veřejné správy odpovědného za dozor nad provozem letišť; pracovníka letišť, odpovědného za řízení rizik; pracovníka odborné instituce pro posuzování bezpečnosti letišť – např. z technické inspekce; a pracovníka Integrovaného záchranného systému odpovědného za odezvu na havárie a selhání technických děl.

Tabulka 12. Kontrolní seznam pro posuzování rizika spojeného s bezpečností letiště a jeho okolí při provozu. Počet kritérií n = 250.

Okruh	Kritérium	Hodnocení	Pozn.
Vrcholový management a řídicí dokumenty pro provoz	Míra, v jaké chápou a realizují odpovědnost za integrální bezpečnost letiště.		
	Míra, v jaké zvažují dopady pohrom dle přístupu All-Hazard-Approach, které jsou možné v území a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady možných nadprojektových živelních pohrom v daném území a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady pádu letadla, požáru a výbuchu v okolí letiště a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady výpadku vnější elektrické sítě a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady výpadku vnějších dodávek vody a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady ztráty komunikačního spojení se světem a provádí nápravu nedostatků		
	Míra, v jaké zvažují dopady poruchy dopravního spojení se světem.		
	Míra, v jaké zvažují dopady poruch v dodávkách materiálu.		
	Míra, v jaké zvažují dopady poruch v odběru zboží a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady změn orientace veřejné správy (ztráta podpory) a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady nedostatku pracovních sil a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady nedostatku kvalifikovaných pracovních sil a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady výrazného zvýšení daní a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady výrazné změny úrokových sazeb a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady nepřidělení dotací a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady odbytové krize a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady rychlých a výrazných změn v cenové politice na trhu a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady nesolventnosti zákazníků a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady selhání smluv s dodavateli a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady selhání smluv s odběrateli služeb a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady války a provádí ochranná opatření.		
	Míra, v jaké zvažují dopady boje o moc mezi politickými rivaly a provádí ochranná opatření.		
	Míra, v jaké zvažují dopady úmyslného poškozování good will a provádí ochranná opatření		
	Míra, v jaké zvažují dopady teroristického fyzického útoku z okolí a provádí ochranná opatření.		
Míra, v jaké zvažují dopady hackerského útoku z okolí a provádí ochranná opatření.			
Míra, v jaké zvažují dopady útoků nátlakových skupin a provádí ochranná opatření.			
Míra, v jaké zvažují dopady neoprávněného užívání duševního vlastnictví firmy a provádí ochranná opatření.			
Míra, v jaké zvažují dopady špatné spolupráce s místní veřejnou správou a provádí nápravu nedostatků.			
Míra, v jaké zvažují dopady vnitřního požáru a provádí nápravu nedostatků.			
Míra, v jaké zvažují dopady vnitřního výbuchu a provádí nápravu nedostatků.			
Míra, v jaké zvažují dopady kontaminace ovzduší na letišti a provádí nápravu nedostatků.			
Míra, v jaké zvažují dopady kontaminace pitné a užitkové vody na letišti a provádí nápravu nedostatků.			
Míra, v jaké zvažují dopady kontaminace zařízení a staveb na letišti a provádí nápravu nedostatků.			
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku vnitřního rozvodu elektrické energie a provádí nápravu nedostatků.			
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku vnitřního osvětlení a provádí nápravu nedostatků.			

Míra, v jaké zvažují dopady výpadku vnitřního rozvodu pitné a užitkové vody a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku chladicího systému a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku větrání letiště a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku vnitřní komunikační sítě a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady poruchy rozvozu materiálu či polotovarů mezi úsek letiště a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady poruchy odvozu / odběru výrobků mezi úseky letiště a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku nouzového osvětlení a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku nouzového komunikačního systému a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady výpadku nouzového hasicího zařízení a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady nepřijetí nápravných opatření v případě zjištění chyb v projektu či konstrukci technologického vybavení a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady nesledování skoro nehod a malých nehod a nevypracování poučení s cílem jim zabránit a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady neprovedení nápravných opatření (technických i organizačních) s cílem snížit výskyt skoro nehod a malých nehod a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady nezavedení kvalitního monitoringu stavu kritických zařízení, kritických komponent a kritických systémů s cílem včas odhalit: poškození tlakových potrubí s chladicím médiem nebo užitkovou vodou nutnou pro provoz; poškození nebo netěsnosti ventilů u tlakových nádob, a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady špatné údržby a provádí nápravu zjištěných nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady špatně provedených oprav technických zařízení a jejich propojení a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady špatné reakce technických zařízení a jejich propojení na změnu provozních podmínek s cílem zajistit včasnou výměnu nebo modifikace strojů, zařízení, komponent či systémů, a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady neexistence ochranných bariér pro: práci obsluhy (např. kryty na strojích s rotujícím zařízením či s řeznými noži; opatření pro práci ve výškách či pod vodou apod.); kritické činnosti (např. digestoře pro provádění kritických chemických reakcí); a nakládání s odpady (např. nádoby pro sběr zbytků olejů, tuhých odpadů apod.), a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb v podporách provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady nedostatku místa na letišti pro umístění materiálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady nedostatku místa na letišti pro umístění / skladování přepravovaných produktů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chybějících záložních zdrojů energie pro zařízení, která musí pracovat v nepřetržitém provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chybějících záložních zdrojů chladiva pro zařízení, která musí pracovat v nepřetržitém provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku strategie, koncepce a provozních podmínek a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku systému řízení integrální bezpečnosti a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku dlouhodobé strategie rozvoje a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku řešení konfliktů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku efektivitivy řízení a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku vertikální i horizontální komunikace a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku řídicího stylu a provádí nápravu nedostatků.		

Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku funkčnosti koordinace funkcí a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku řídicí schopnosti a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku porozumění zákazníkům a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti předpokládat vývoj vnějšího prostředí a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku objektivitu hodnocení organizačních kompetencí a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku využití rozvojového potenciálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku angažovanosti top managementu ve prospěch letiště a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku časových nároků provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku komunikační strategie s příslušnou veřejnou správou a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku komunikační strategie s podniky a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku dostatečnosti monitorování výsledků a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku dostatečného využití lidských zdrojů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku smluvního zajištění včasných dodávek materiálů či služeb a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku smluvního zajištění včasného odběru produktů nebo služeb a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti přizpůsobit se změnám obecně závazných předpisů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti přizpůsobit se změnám v systému daní a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti přizpůsobit se změnám v úrokových sazbách a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti přizpůsobit se změnám situace na trhu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti přizpůsobit se změnám podpory ze strany státu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti zajistit dostatečné množství kvalifikovaného personálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku schopnosti zajistit finanční rezervy pro provoz při vnějších změnách a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zájmu o bezpečné letiště a provádí nápravu nedostatků; tj. míra úrovně zajištění bezpečného provozu v daném případě.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku úrovně potřebných technických znalostí a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku dokumentace pro bezpečný provoz a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku kvality standardů, norem a postupů pro řízení změn a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku dohledu a kontroly provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku stanovení odpovědností a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění informovanosti a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění dostatečného systému odezvy na nouzové situace a provádí nápravu nedostatků.		

Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku stanovení požadavků na kvalifikovanost a dovednost obsluhy a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění kvalitního systému vzdělávání personálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění pracovní disciplíny při práci v nebezpečných provozech a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění kvalitního technického řízení strojů, zařízení, komponent a systémů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění kvalitního automatického řízení strojů, zařízení, komponent a systémů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku monitoringu provozu zacíleného na bezpečnost provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku systému provádění technických inspekcí a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku systému financování zacíleného na bezpečnost provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku finančních rezerv na obnovu strojů, zařízení, komponent a systémů po provozní havárii a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku finančních rezerv na obnovu strojů, zařízení, komponent a systémů po nadprojektové havárii a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zpracování poplachového plánu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zpracování potřebných nouzových (vnitřních) plánů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zpracování plánu kontinuity pro extrémní situace a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku rozmístění požární signalizace a hasících přístrojů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku ochrany proti organizačním haváriím (tj. není: strategická koncepce řízení letiště v čase, kvalitní monitoring rizik a program na zvyšování bezpečnosti) a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku kvality provozních předpisů pro normální provoz a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku kvality provozních předpisů pro abnormální provoz a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku kvality provozních předpisů pro kritický provoz a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku kvalitní přípravy obslužných procesů před jejich zahájením a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku kontroly strojů a zařízení před zahájením kritické operace a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku ověřování kvalifikace a dovednosti kritického personálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku sestavení a ověření postupů pro kritické procesy a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku důkladné kontroly kvality výstupů z kritických procesů a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku postupů pro účinnou odezvu na kritické podmínky a materiální, technické, finanční a personální rezervy na její provedení a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku předpisy pro obsluhu při výskytu: vnějších pohrom (živelní pohromy, pád letadla, nepříznivé klimatické podmínky, přerušování zásobování letiště elektrinou, vodou apod. od vnějších sítí; vnitřních pohrom (požár, výbuch, výpadek elektrické energie, výpadek dodávek vody či jiného chladiva, výpadek nouzového osvětlení, zatopení objektu, výpadek vnitřní komunikační sítě, požár, výbuch, výpadek informační sítě); technických poruch (neseřízené stroje; neseřízená zařízení; neseřízené komponenty; neseřízené systémy; použití špatných údajů při seřízení zařízení; porucha nebo selhání bezpečnostních pojistek, zařízení či systémů; poškození kritických zařízení, komponent či potrubí – např. tlakové nádoby, potrubí s chladivem; netěsné ventily; selhání blokovacích		

zařízení; poruchy svarů, kabelů, čerpadel, kompresorů, diesel generátorů; elektrický zkrat; nefunkčnost zařízení pro varování v případě nouze; vyřazení automatických hasicích přístrojů v případě nouze; zaseknutý pojistný ventil; nedostatečné chlazení; nedostatečná ochrana při práci s nebezpečnými látkami nebo ionizujícím záření; nedostatečná úprava práce s nebezpečnými látkami či ionizujícím zářením; špatné kontakty na relé v řídicím systému; nevhodné kontejnery pro skladování nebo přesun nebezpečných látek; špatně provedená přeprava materiálů, polotovarů či výrobků; apod.); nejsou určeny odpovědnosti za výrobní operace a zásady vzájemné pomoci (kultura bezpečnosti), a provádí nápravu nedostatků; tj. míra úrovně zajištění bezpečného provozu v daném případě.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku dostatečnosti ochrany prioritních strojů, zařízení, komponent a systémů při nadprojektové havárii a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění kvalitních pracovních podmínek pro lidi a kvalitní režimová opatření pro provozu strojů, zařízení, komponent a systémů zohledňující možnosti obslužného personálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění dostatečné ochrany životů, zdraví a bezpečí obslužného personálu za všech možných podmínek a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění dostatečné ochrany životů, zdraví a bezpečí kontraktorů za všech možných podmínek a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění dostatečné ochrany životů, zdraví a bezpečí návštěvníků za všech možných podmínek a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění dostatečné ochrany strojů, zařízení, komponent a systémů technického zařízení před podvodným nebo nebezpečným jednáním lidí z obsluhy, personálu kontraktorů či skupiny návštěvníků a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění vytváření příznivé atmosféry na letišti a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění prosazování zásad kultury bezpečnosti na letišti a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění motivace obslužného personálu ke kvalitní práci a k bezpečnému chování pomocí zvláštní péče o pracovníky, výcviku a finančních odměn a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění otevřené komunikace na všech úrovních řízení letiště a mezi nimi o problémech provozních, bezpečnostních a dalších a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění fyzické ochrany prioritních strojů, zařízení, komponent a systémů při normálních, abnormálních a kritických podmínkách a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění kybernetické ochrany prioritních automatických strojů, zařízení, komponent a systémů při normálních, abnormálních a kritických podmínkách a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění rezerv na dekontaminaci strojů, zařízení, komponent a systémů po ukončení provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění kvalitní spolupráce s veřejnou správou, jako je předávání podkladů pro vnější nouzové (havarijní) plány a vzájemné podpory zacílená na zvládnutí krizových situací a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění prověřování účinnosti organizačních opatření a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění kvalitní spolupráce s ostatními letišti, které jsou vzájemně provázané územně, výrobou, podobnou technologií aj. a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění správného vyhodnocování rizik a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb vrcholového řízení na úseku zajištění ověřených předpisů pro: řízení přepravy, manipulace a skladování materiálů a odpadů, a provádí nápravu nedostatků.		

Střední management a řídicí dokumenty pro realizaci procesu	Míra, v jaké chápou a realizují odpovědnost za bezpečnost letiště.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku realizace účinného řízení bezpečnosti procesů a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku realizace nedostatečného povědomí o rizicích a bezpečnosti a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku realizace komunikace vertikální i horizontální a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku realizace řídicího stylu a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku realizace slabé angažovanosti středního managementu ve prospěch procesu a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku monitoringu výsledků projektu a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku využití lidských zdrojů a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku dohledu a kontroly nad procesem a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku stanovení odpovědností v procesu a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku zajištění informovanosti a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku odezvy na nouzové situace a provádí nápravu nedostatků;		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku řízení v oblasti technické, IT, organizace pro ovládání obsluhy, strojů, zařízení, komponent a systémů a nakládání s odpady, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku odezvy na nouzové situace a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku monitoringu provozu zacíleného na bezpečnost zahrnující kvalitní obslužnost a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku provádění technických inspekcí a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku provozních předpisů pro normální provoz a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku provozních předpisů pro abnormální provoz a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku provozních předpisů pro kritický provoz a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku údržby a kontroly její kvality a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku kvalitní přípravy kritických procesů před jejich zahájením a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku požadavku na kontrolu strojů a zařízení před zahájením kritické operace a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku ověřování kvalifikace a dovednost kritického personálu a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku zajištění kvalitních pracovních podmínek lidí a kvalitních režimových opatření při provozu strojů, zařízení, komponent a systémů zohledňující možnosti obslužného personálu a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku ochrany životů, zdraví a bezpečí obslužného personálu za všech podmínek v pracovním prostředí (ochranné pomůcky, úkryty, evakuace) a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku provozních předpisů pro kritický provoz a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku vytváření příznivé atmosféry na letišti a provádí nápravu nedostatků		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku prosazování zásad kultury bezpečnosti, a provádí nápravu nedostatků.			

Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku motivace obslužného personálu ke kvalitní práci a k bezpečnému chování pomocí zvláštní péče o pracovníky, výcviku, financí a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku otevřenosti komunikace na všech úrovních řízení letiště a mezi nimi o problémech servisních, bezpečnostních a dalších a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku fyzické ochrany prioritních strojů, zařízení, komponent a systémů při normálních, abnormálních a kritických podmínkách a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku kybernetické ochrany prioritních strojů, zařízení, komponent a systémů při normálních, abnormálních a kritických podmínkách a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku práce s riziky a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku manipulace a přepravy materiálů, meziproduktů a výrobků, a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku skladování a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku řízení provozu provozovaných systémů technických zařízení a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku řízení klíčových procesů (process safety management) a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního vyššího managementu na úseku pracovních režimů u kritických zařízení, komponent a systémů (integrity management strategy) a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku stanovení bariér, limit a podmínek pro kritické procesy a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku stanovení reakcí na změny a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku zabránění práci / provozu mimo dovolené limity (znamenající porušení provozních předpisů), a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku strategie údržby kritických technických zařízení, jejich propojení a infrastruktur podporujících jejich provoz a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku plánů pro zvládnutí nouzových situací a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku správnosti informací o provozu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku zásobování materiálem a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku pořádku na letiště a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku vzdělávání personálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku motivace kritického personálu a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku varovacího systému, a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku vyznačení evakuačních tras, a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku úkryty pro zaměstnance pro případ potřeby a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb středního managementu na úseku odzkoušení způsobu přechodu činností z obvyklých zařízení, komponent či systémů na záložní, a provádí nápravu nedostatků.		

Technický management letiště a řídicí dokumenty pro ovládání technických zařízení	Míra, v jaké chápou a realizují odpovědnost za bezpečnost konkrétních technických zařízení technického díla.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku údržby a kontroly její kvality, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku řízení bezpečnosti, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku správnosti pracovního režimu a nakládání s odpady, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku komunikace vertikální i horizontální, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku péče zaměřené na vytváření příznivé atmosféry na pracovišti, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku prosazování zásad kultury bezpečnosti, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku posilování motivace obslužného personálu ke kvalitní práci a k bezpečnému chování pomocí zvláštní péče o pracovníky, výcviku, financí, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku zajištění otevřené komunikace o problémech obslužných, bezpečnostních a dalších, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku zajištění fyzické ochrany prioritních strojů a zařízení při normálních, abnormálních a kritických podmínkách, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku zajištění kybernetické ochrany prioritních strojů a zařízení při normálních, abnormálních a kritických podmínkách, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku práce s riziky, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku manipulace a přepravy materiálů, odpadů a osob, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku skladování materiálů, meziproductů a výrobků, nakládání s odpady, a provádí nápravu nedostatků; tj. míra úrovně zajištění bezpečného provozu v daném případě.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku řízení bezpečnosti při provádění klíčových operací, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku dodržování pracovních režimů u kritických operací, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku dodržování bariér, limit a podmínek při kritických operacích, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku dodržování předepsaných reakcí na změny, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku zabraňování práci /provozu mimo dovolené limity, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku zvládnání nouzových situací, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku dodržování požadavků BOZP, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku správnosti údajů o provozu, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku zásobování materiálem, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku pořádku na letišti, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku vzdělávání obsluhy, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku motivace kritického personálu, a provádí nápravu nedostatků.		
Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku varovacího systému, a provádí nápravu nedostatků.			

	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku vyznačení evakuačních tras, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku úkrytů pro zaměstnance pro případ potřeby, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku odzkoušení způsobu přechodu činnosti z obvyklých zařízení, komponent či systémů na záložní, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku dodržování pravidel preventivní údržby, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku navrženého postupu (režimu) práce, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku výcviku obsluhy technických zařízení, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku zajištění funkčnosti bariér a dodržování limit a podmínek při kritických operacích, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké zvažují dopady chyb technického managementu na úseku dodržování stanovených reakcí na změny, a provádí nápravu nedostatků.		
	Míra, v jaké provádějí konkrétní pracovní úkony v provozu letiště chápe a realizuje odpovědnost za bezpečnost úkonů.		
Kritický personál	Míra, v jaké má vzdělání pro provádění konkrétních pracovních úkonů.		
	Míra, v jaké má výcvik a dovednost		
	Míra, v jaké povědomí o rizicích a bezpečnosti.		
	Míra, v jaké dodržuje pravidla kultury bezpečnosti.		
	Míra, v jaké má schopnost a motivaci dodržovat výrobní předpisy a pravidla správného nakládání s odpady.		
	Míra, v jaké má nekalý úmysl.		
Pomocný personál	Míra, v jaké chápe a realizuje odpovědnost za bezpečnost úkonů.		
	Míra, v jaké dodržuje pravidla kultury bezpečnosti.		
	Míra, v jaké má motivaci provádět úkony bezpečně a správně nakládat s odpady.		
	Míra, v jaké má nekalý úmysl.		
Kybernetické zabezpečení	Míra, v jaké hardware informačního systému letiště podporujícího organizaci a provoz je zabezpečené proti dopadům pohrom dle přístupu All-Hazard-Approach [10], které jsou možné na letišti a okolním území.		
	Míra, v jaké software informačního systému letiště podporujícího organizaci a provoz je zabezpečené proti dopadům pohrom dle přístupu All-Hazard-Approach [10], které jsou možné na letišti a okolním území.		
	Míra, v jaké kanály pro přenos informací technických i organizačních na letiště jsou zabezpečené proti dopadům pohrom dle přístupu All-Hazard-Approach [10], které jsou možné na letišti a v okolním území.		
	Míra, v jaké je zajištěn přenos informací technických i organizačních informací technických i organizačních na letiště při selhání informační infrastruktury.		
	Míra, v jaké je zabráněno nakažení kritických informačních systémů letiště červy, útokům hackerů apod.		
Právo	Míra, v jaké platná legislativa vyžaduje od provozovatele a vlastníka letiště zajištění integrální bezpečnosti letiště.		
Veřejná správa	Míra, v jaké zajišťuje kvalitu vzdělání o rizicích a bezpečnosti.		
	Míra, v jaké provádí dozor nad integrální bezpečností letiště.		
	Míra, v jaké prosazuje u provozovatele letiště opatření podporující integrální bezpečnost letiště.		
	Míra, v jaké monitoruje integrální bezpečnost letiště.		
	Míra, v jaké kontroluje na letišti dodržování požadavků BOZP.		
	Míra, v jaké kontroluje na letišti dodržování požadavků ochrany životního prostředí.		

	Míra, v jaké kontroluje na letišti dodržování požadavků ochrany spotřebitele.		
	Míra, v jaké spolupracuje s provozovatelem letiště při zvládnutí nouzových situací a zajišťování bezpečnosti v kritických situacích.		

Tabulka 13. Hodnotová stupnice pro stanovení míry rizika; N = pětinásobku počtu kritérií v tabulce 1, tj. N = 1250.

Míra rizika	Hodnoty v % N
Extrémní – 5	Více než 95 %
Velmi vysoká – 4	70-95 %
Vysoká – 3	45-70 %
Střední – 2	25-45 %
Nízká – 1	5-25 %
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %

Výsledná hodnota u každého kritéria je medián, přičemž v případě velkého rozptylu hodnot u některého kritéria je třeba, aby pracovník veřejné správy odpovědný za bezpečnost území zajistil další šetření, na kterém každý hodnotitel sdělí zdůvodnění svého hodnocení v předmětném případě a na základě panelové diskuse nebo brainstormingu se určí výsledné hodnocení.

6. OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ POČTU A ZÁVAŽNOSTI HAVÁRIÍ A SELHÁNÍ V LETECKÉM PROVOZU

Na základě šetření velkých leteckých nehod lze konstatovat, že řada primárních (kauzálních) a sekundárních příčin se u nehod opakuje, ačkoliv existuje poměrně dost znalostí potřebných k prevenci nejen skoro nehod, ale i závažných havárií, ke zmírnění jejich dopadů, a tím ke zmenšení ztrát a škod s nimi spojených. Příčinou daného stavu, kromě lidského činitele, jsou nedostatky jak v zavedení funkčního systému řízení bezpečnosti, tak i neznalost závěrů z již vyšetřovaných nehod a havárií [5,6].

6.1. Opatření pro prevenci organizačních havárií

Je skutečností, že i v organizacích, v kterých se vyskytly havárie, jsou s postupem času a změnami personálu původní opatření provedená po proběhlé havárii zapomenuta nebo nejsou předána všem pracovníkům v dané organizaci [4]. Proto je třeba zavést následující opatření ke zlepšení společné paměti organizace:

1. Připojení poznámky ke každému pokynu, předpisu nebo normě, proč je právě takový.
2. Popis staré i nedávné havárie v podnikovém tisku s poučeními z nich vyplývající, a projednání na školeních o bezpečnosti pro všechny složky podniku.
3. Pravidelná kontrola dodržování vydaných opatření.
4. Odstranění existujících zařízení teprve po poznání, proč bylo instalováno. Zrušení původního postupu po zjištění, proč byl přijat. Je to nutné, aby se neodstranilo něco, co má zabránit havárii nebo má zmírnit její dopady.
5. Zavedení lepšího informačního systému pro nalezení podrobností o haváriích a vydaných doporučeních po havárii.

Posouzení nehod civilních letadel provedené v [8] ukazuje, že pro snížení počtu organizačních havárií, je třeba na každém pracovišti pro řízení letového provozu mít zpracován plán, ve kterém jsou řešeny dále uvedené situace:

1. Přesměrování provozu pro vyhnutí se danému vzdušnému prostoru nebo části daného vzdušného prostoru, obvykle obsahující stanovení dalších tratí nebo části tratí se souvisejícími podmínkami pro jejich použití.
2. Zavedení zjednodušené struktury tratí daného prostoru, pokud je tato k dispozici, společně se schématem přidělování letových hladin pro zajištění příčných a vertikálních rozstupů a postup pro sousední oblastní střediska řízení k zajištění podélného rozstupu na vstupním bodu a udržování tohoto rozstupu při průletu tímto vzdušným prostorem.
3. Zajištění a provoz dostačujícího spojení „letadlo – země“, včetně předání odpovědnosti sousedním členským státům za poskytování meteorologických informací a informací o stavu navigačních zařízení.
4. Zvláštní opatření k soustřeďování a rozšiřování letových a poletových hlášení z letadel.
5. Požadavek na letadla udržovat nepřetržitý poslech na zvláštním VHF kmitočtu „pilot – pilot“ ve stanovených prostorech, kde spojení „země – letadlo“ není spolehlivé nebo není možné vysílat, přednostně v anglickém jazyce, informace a výpočty o poloze na tomto kmitočtu, včetně zahájení a ukončení stoupání nebo klesání.
6. Požadavek všem letadlům ve stanovených prostorech, aby měla stále rozsvícená navigační a proti srážková světla.
7. Požadavek a postupy pro letadla udržovat zvýšené podélné rozstupy, které mohou být stanoveny mezi letadly ve stejné cestovní hladině.
8. Požadavek na stoupání a klesání dostatečně vpravo od osy specificky stanovených tratí.
9. Stanovení postupů pro řízený vstup do prostoru, kde jsou uplatňovány postupy pro řešení nouzových situací, k zamezení jeho přetížení.
10. Požadavek, aby veškerý provoz v prostoru, kde jsou uplatňovány postupy pro řešení nenaďalých situací, byl prováděn podle pravidel pro lety podle přístrojů (IFR), včetně přidělování IFR letových hladin.

Důležité je stanovení jasných odpovědností v plánu a důsledný důraz na jejich dodržování v provozu.

Zvláštní pozornost je třeba v leteckém provozu věnovat opatřením, která sníží dopady proti protiprávnímu činům. Na základě detailního rozboru předmětných nehod v [8] je třeba, aby všechny letouny určené k přepravě cestujících byly vybaveny schválenými oddělovacími dveřmi pilotního prostoru, které jsou navrženy tak, aby zajistily neprůstřelnost malou palebnou zbraní a zůstaly odolné proti násilnému vniknutí neoprávněných osob. Ve všech letounech vybavených oddělovacími dveřmi pilotního prostoru musí být předmětné dveře uzamykatelné a musí být poskytnuty prostředky, kterými mohou palubní průvodčí v případě podezřelé činnosti nebo porušení bezpečnosti v kabině cestujících poskytnout letové posádce diskrétní oznámení [8].

Letadlo, které je předmětem protiprávního činu, musí vyvinout maximální úsilí, aby uvědomilo o dané skutečnosti příslušné stanoviště Řízení letového provozu (ATS) a oznámilo mu jakékoli důležité okolnosti spojené s předmětným činem a jakoukoli odchylku od platného letového plánu vynucenou okolnostmi. Na základě toho lze provést opatření jako „dát letadlu přednost“, a tak snížit na minimum možnost konfliktu s jinými letadly. Jestliže je letadlo vystaveno protiprávnímu činu, musí se velitel letadla pokusit přistát co nejdříve, na nejbližším vhodném letišti, pokud by závažnost situace na palubě letadla nevyžadovala jiné řešení. Jestliže velitel letadla nemůže pokračovat na letiště, měl by se pokusit pokračovat v letu po přidělené trati a v přidělené cestovní hladině alespoň do doby, dokud nebude moci uvědomit stanoviště ATS nebo

dokud nebude v dosahu radaru letiště. Jestliže se letadlo musí odchýlit od přidělené trati nebo musí opustit přidělenou cestovní hladinu, aniž by mohlo navázat spojení s ATS, měl by se pilot pokusit vysílat výstrahy všemi možnými způsoby [8].

Na každém pracovišti pro řízení letového provozu je třeba dle [8] mít zpracován plán, ve kterém:

- jsou řešena opatření pro zmírnění dopadů organizační havárie a zvládnutí odezvy,
- jsou stanoveny jasné odpovědnosti a je zajištěn důsledný důraz na jejich dodržování v provozu,
- je zvláštní pozornost věnována opatřením, která sníží dopady protiprávních činů,
- je uloženo pilotům letadel, která se stanou předmětem protiprávního činu, že musí vyvinout maximální úsilí, aby uvědomili o dané skutečnosti příslušné stanoviště Řízení letového provozu a oznámili mu důležité okolnosti spojené s předmětným činem a každou odchylku od platného letového plánu vynucenou okolnostmi.

Opatření pro zmírnění dopadů organizační havárie a zvládnutí odezvy dle [8] jsou:

1. Přesměrování provozu pro vyhnutí se danému vzdušnému prostoru
2. Zavedení zjednodušené struktury tratí daného prostoru
3. Zajištění a provoz dostačujícího spojení „letadlo - země“, včetně předání odpovědnosti
4. Zvláštní opatření k soustředování a rozšiřování letových a poletových hlášení z letadel.
5. Požadavek na letadla udržovat nepřetržitý poslech na zvláštním VHF kmitočtu „pilot - pilot“ ve stanovených prostorech.....
6. Požadavek všem letadlům ve stanovených prostorech, aby měla stále rozsvícená navigační a proti srážková světla.
7. Požadavek a postupy pro letadla udržovat zvýšené podélné rozstupy, které mohou být stanoveny mezi letadly ve stejné cestovní hladině.
8. Požadavek na stoupání a klesání dostatečně vpravo od osy specificky stanovených tratí.
9. Stanovení postupů pro řízený vstup do prostoru, kde jsou uplatňovány postupy pro řešení nouzových situací, k zamezení jeho přetížení.
10. Požadavek, aby veškerý provoz v prostoru, kde jsou uplatňovány postupy pro řešení nenačíslovaných situací, byl prováděn podle pravidel pro lety podle přístrojů (IFR), včetně přidělování IFR letových hladin.

Výsledky platí pro dopravní nehody civilních letadel pro 15 a více cestujících.

U více než 80% nehod se uplatnil lidský faktor, z toho ve více než 65% hrály roli nedostatky v řízení a rozhodování, tj. lze je zařadit do kategorie, kterou označujeme „organizační havárie“.

Protože řada z předmětných havárií je z oblasti řízení letového provozu, je třeba, aby na každém pracovišti byl konkrétní plán, ve kterém je řešeno deset nejzávažnějších situací, které byly identifikovány a byly jasně stanoveny odpovědnosti.

6.2. Opatření pro bezpečnost letového provozu

Z důvodu bezpečnosti je třeba zajistit cílenou činnost bezpečnostních složek, fyzické ochrany a fyzické ostrahy příslušných budov a zařízení letiště, a mít připraveny plány odezvy na útoky insiderů nebo teroristů z vnějšku. Letadlo se může stát v rukou neoprávněných nebo psychicky

narušených osob nebezpečnou zbraní. V souladu s pracemi [4-6] je třeba připustit existenci rizik na všech územích a mít připraveny scénáře odezvy na možné situace.

6.2.1. Opatření pro zvýšení bezpečnosti letišť a letového provozu

Systém bezpečnostních prohlídek cestujících před nástupem do letadla je sice neustále zdokonalován, ale jejich úroveň je v praxi na různých letištích velmi rozdílná. Zejména nízkonákladové společnosti mají ve zvyku létat na letiště, která nabízejí finančně nejvýhodnější služby, ale často na úkor jejich kvality. V kombinaci s tlakem na maximální urychlení odbavovacího procesu je možná šťastnou náhodou, že se nízkonákladovým společnostem teroristické útoky dosud vyhýbají [8]. Proto menší letiště by před zavedením pravidelného provozu měla projít důkladným nezávislým bezpečnostním auditem a jejich zabezpečení by mělo následně procházet pravidelnými prověrkami stejně často, jako na velkých mezinárodních letištích.

Z hlediska bezpečnosti je nutný trvalý dohled nad zdravotní a profesní způsobilostí posádek letadel a veškerého provozního personálu, který je součástí leteckého systému [8]. Každý prvek systému má vliv na bezpečnost celku a proto musí dodržovat schválené postupy a podléhat kvalitnímu výcviku. Ani kvalitně vycvičený personál není schopen podávat požadovaný pracovní výkon, pokud k němu nemá odpovídající podmínky nebo je přetížen.

Právě v rozdílné způsobilosti a dohledu nad provozním personálem v různých částech světa je významná slabina leteckého systému, což potvrdilo zřícení Boeingu 747 v Afghánistánu, k němuž došlo krátce po vzletu z vojenské základny Bagram v dubnu 2014. Příčinou zřícení byl pohyb rozměrného nákladu, který nebyl dostatečně zajištěn. Personál provádějící nakládku nebyl certifikován příslušnou organizací, v době nakládky byl souvisle ve službě již 21 hodin a nebyl dostatečně vycvičen. Několikanásobné porušení předpisů bylo umožněno absencí dohledu inspektorů, kteří neměli vládou USA povoleny cesty do Afghánistánu [8].

Úmyslné navedení letounu A320 společnosti Germanwings do skály ve francouzských Alpách, poukázalo na rozdíl mezi bezpečným a zabezpečeným systémem [8]. Po událostech 11. 9. 2001 došlo k rozsáhlým úpravám zabezpečení pilotní kabiny dopravních letadel. Dveře do pilotní kabiny jsou vybaveny opancérováním a systém nezávislých elektrických a mechanických zámků zajišťuje zabezpečení před útokem z vnějšku. Nejedná se však o bezpečný systém, protože nepočítá s teroristickým útokem některého z pilotů. Proto je třeba zajistit přítomnost alespoň 2 osob v pilotní kabině v každém okamžiku letu a vycvičit palubní průvodčí na účinné rozpoznávání základních režimů letu, tedy stoupání, vodorovný let a klesání. K tomu je třeba zajistit účinnější rozpoznávání psychologických poruch pilotů na vstupních a pravidelných lékařských prohlídkách. Trend je však v poslední době, kdy se od povinných psychologických a psychiatrických vyšetření uchazečů o pilotní profesi pomalu upouští, opačný [8].

Současný systém rozdělení odpovědnosti za bezpečné vedení civilního letového provozu není nastaven tak, aby dokázal adekvátně zhodnotit riziko přeletu nad konfliktním územím. Letečtí provozovatelé automaticky předpokládají, že jakýkoliv otevřený vzdušný prostor je bezpečný. Jejich pozornost se často zaměřuje na situaci v místě odletu a přistání, nikoliv však podél trati [8]. Hodnocení rizika nesmí uvažovat pouze aktuální potvrzené hrozby, ale musí se zabývat i potenciálním nebezpečím spojeným s určitým stupněm nejistoty. Závěrečná zpráva z průběhu vyšetřování sestřelení Boeingu 777 nad východní Ukrajinou dala podnět k lepší výměně informací o možném riziku pro letový provoz mezi jednotlivými státy a leteckými dopravci [8].

Letecká doprava je již od dob svého globálního rozvoje vystavena mnoha útokům, neboť unesená letadla jsou snadným prostředkem pro vydírání a zároveň mohou být v rukách teroristů ničivou zbraní. Boj proti útokům na letadlo probíhá na letištích, kde jsou neustále zdokonalovány bezpečnostní prohlídky cestujících a zavazadel, i ve vzduchu, neboť jsou vylepšovány

bezpečnostní prvky a postupy na palubách letadel. Vysoké tempo rozvoje letecké dopravy a tlak na její urychlování a zefektivňování mají však před bezpečnostními prvky náskok, kterého útočníci se střídavými úspěchy využívají. Hrozbou posledních let je kyberterorismus, tedy softwarové útoky na letadla, bezpilotní prostředky i systémy řízení letového provozu. Je nutné cvičit letový i pozemní personál na práci s částečně, nebo i plně nefunkčními technickými systémy vlivem narušení kybernetických propojení [8].

Dalším identifikovaným rizikem jsou nezvladatelní cestující, jejichž výskyt by jistě omezil zákaz konzumace alkoholu na palubách letadel, který se ovšem neslučuje s ekonomickými představami leteckých dopravců a slabou politickou vůlí [8]. Opatření pro snížení rizik letového provozu dle [8] jsou v tabulce 14.

Tabulka 14. Rizika letového provozu; zpracováno dle [8].

Oblast	Popis rizika	Opatření na zmírnění rizika
Technická	Nedostatky v systému nouzového určování polohy letadla	Pokročilejší systémy pro určení polohy
	Zastaralá technologie záznamu letových dat	Modernější technologie záznamu s větší kapacitou
	Náchylnost proudových motorů na střet s ptactvem	Zlepšení postupu testování proudových motorů
	Slabá ochrana systémů řízení letadla vůči manuálním zásahům	Varování na nebezpečné výchylky kormidel ve vysokých rychlostech.
	Obtížnost přistání na vodní hladině bez pohonných jednotek.	Zlepšení postupu certifikace letounů před uvedením do provozu.
Provozní	Odolnost provozu vůči psychické zátěži.	Dohled nad důsledným dodržováním bezpečnostních přestávek a pracovního volna.
	Nerovnoměrná pracovní zátěž pracovníků řízení letového provozu,	Slučování pracovních pozic v provozně slabších obdobích.
	Chybné reakce pilotů na varovné systémy na palubě.	Kladení většího důrazu na kritické situace ve výcviku pilotů.
	Nahrazování výcvikových letových hodin na simulátoru.	Eliminovat ve výcvikových osnovách simulátory v počáteční fázi výcviku.
	Nedostatky v manuálním řízení letounu ve vysokých hladinách.	Důkladný teoretický a praktický výcvik obtížných prvků pilotáže.
	Snižování psychické kondice v důsledku pomalého úbytku kyslíku na palubě letadla.	Zařazení práce v nedostatku kyslíku do výcviku posádek letadel.
	Problémy při spolupráci vícepilotních posádek.	Vytvoření menších pracovních skupin, ve kterých by jednotliví členové pracovali pravidelně.
	Nedostatek času na provedení povinných úkonů na palubě v kritických situacích.	Zestručnění nouzových kontrolních seznamů a jejich dostupnost v elektronické podobě.
Bezpečnost	Rozdílná úroveň bezpečnostních prohlídek cestujících na mezinárodních letištích.	Důsledný dohled pověřených úřadů.
	Nedostatečný dohled nad provozním personálem v různých částech světa.	Důsledný dohled pověřených úřadů.
	Špatný úmysl některého člena posádky.	Trvalá přítomnost alespoň 2 členů posádky v pilotní kabině.
	Možná nebezpečí ve vzdušném prostoru.	Zlepšení výměny informací mezi jednotlivými státy a leteckými dopravci.
	Kyberterorismus	Výcvik personálu na částečný i úplný výpadek technických systémů.
	Nezvladatelní cestující.	Zákaz konzumace alkoholu a drog na palubě letadel.

6.2.2. Opatření letiště pro nouzové přistání civilního letadla

Nouzové přistání na letišti, při němž dojde k poškození nebo zničení letounu, je klasifikováno jako letecká nehoda [8]. Mezinárodní letiště s nepřetržitým provozem, které je schopno odbavit až 15 mil. cestujících ročně. Jsou k dispozici 2 vzletové a přistávací dráhy (3715×45m a 3250×45m). Na letišti je poskytována služba řízení letového provozu, služba celního odbavení cestujících a nákladu a je na něm umístěna hasičská stanice. Zdravotnická záchranná služba je poskytována na vyžádání z přilehlých obcí s dojezdovým časem 10 minut.

Návrh postupu odezvy na nouzové přistání letadla dle [8]:

V čase T1 přijde žádost o povolení nouzového přistání civilního letadla plného cestujících z důvodu technické závady na letadle.

T1 + dT rozhodování na stanovišti řízení letového provozu, přistání povoleno a jsou zahájeny přípravy na pomoc, kdyby došlo k nebezpečné situaci. Postup činností:

1. **Zahájení kontinuálního monitoringu na provozní ploše letiště** - provede vedoucí směny letištní řídicí věže.
2. **Svolání krizového štábu letiště**-provede ředitel letiště. Použije text adresovaný: veliteli hasičského záchranného sboru, veliteli zdravotní záchranné služby letiště, veliteli policejních složek letiště a řediteli ŘLP.: „*Vážený kolego, dochází k nouzovému přistání civilního letadla plného cestujících, dostavte se neprodleně do krizového štábu.*”
3. Velitelé nouzových složek zajistí, aby na místo nouzového přistání byly poslány základní jednotky, aby se zabránilo časovému zpoždění odezvy, bude-li třeba, protože včasným zásahem se sníží ztráty na lidských životech i ztráty ekonomické.
4. Při letecké nehodě při nouzovém přistání zajistí vedoucí řídicí věže letiště **vyrozumění letištního personálu** telefonem nebo prostřednictvím pověřeného pracovníka, který bude zajišťovat nezbytné činnosti a provádět ochranná opatření. Text: „*Vážení kolegové, dochází k nouzovému přistání letadla, zajistěte činnosti nezbytné dle dokumentu [9]*“.
 - letecká nehoda,
 - místo nehody – upřesnění vždy ve vztahu k příslušné RWY, TWY, technickým zařízením v areálu letiště nebo označením příslušné jednotné koordinační mapy letiště,
 - typ letadla,
 - volací znak,
 - počet osob na palubě (je-li známo),
 - množství LPH (je-li známo) v t (kg),
 - doplňující informace (charakter nehody, nebezpečný náklad, případně další upřesňující informace).

Následně všechna vozidla provozovatele a prostředky HZS vyjíždí z hasičských stanic, s úkolem co nejrychleji se dostat k místu nehody a zahájit záchranné práce. Dle [9] se v ČR používá kontrolní seznam:

1. Proved':
 - informuj HZS,
 - uvolni trasy HZS, nebo zastav dotčená letadla,
 - povol HZD vstup na provozní plochu,
 - informuj vedoucího směny,
 - zastav provoz v blízkosti letiště,
 - informuj záchranné koordinační středisko (RCC),
 - informuj provozovatele letadla (je-li znám a je-li to proveditelné).

2. Pamatuj, že před obnovením provozu na letišti je nutno ověřit spolehlivost zařízení pro přístrojové přiblížení.
3. Očekávej, že po dobu trvání zásahu je snížená kapacita letiště pro požární a záchranné služby.
5. Současně se provede varování pracovníků na letištní ploše a v budovách letiště [8]: „*Vážení kolegové, vážení cestující, dochází k nouzovému přistání velkého civilního letadla. Dbejte o své bezpečí a uposlechněte pokynů bezpečnostních složek a personálu letiště*“.
6. Evakuace cestujících z letadla, jež nouzově přistálo:
 1. Letadlo nehoří - evakuaci cestujících a posádky provedou složky HZS dle stupně poškození letounu, a to buď standardní cestou pomocí pohyblivých schodů, nebo pomocí nouzových východů z letadla.
 2. Došlo k požáru - letištní HZS provádí hašení i evakuaci cestujících a posádky. S hašením v případě potřeby pomáhají přivolané jednotky HZS z okolí, které mohou pomoci jednotkám, které pracují pod vedením letištních hasičů (zásah je prováděn na základě smluv předem podepsaných a způsobem předem procvičeným).
7. Obnova provozu letiště: Odklizení trosk a úpravu letištní plochy provede HZS letiště; a návrat letiště do normální situace zajistí pracoviště řízení letového provozu podle pokynu ředitele ŘLP [9].

6.2.3. Opatření pro případ požáru v budově letového provozu

Požár v provozním objektu řízení letového provozu, odkud jsou poskytovány letové provozní služby. Provozní budova řízení letového provozu je dělena do 3 bezpečnostních zón (administrativa; ochranná zóna; objekt řízení). V objektu se nachází automatické poplachové a hasící systémy, hasičská záchranná služba je k dispozici z blízkého mezinárodního letiště s dojezdovým časem 20 minut a zdravotnická záchranná služba z okolních obcí s dojezdovým časem 15 minut.

Návrh postupu odezvy na požár v budově letového provozu dle [8]:

V čase T1 vypukne požár v provozním objektu řízení letového provozu.

T1 + dT rozhodování na stanovišti řízení letového provozu a jsou zahájeny přípravy na vyklizení oblohy a evakuaci objektu. Postup činností:

1. **Zahájení kontinuálního monitoringu** – provede vedoucí směny na sále letových provozních služeb.
2. **Svolání krizového štábu**-provede ředitel řízení letového provozu. Použije text adresovaný: vedení řízení letového provozu, veliteli složek hasičského záchranného systému letiště, řediteli krajské záchranné služby, veliteli policejních složek přilehlé obce a starostovi přilehlé obce.: „*Vážený kolego, vypukl požár v provozní budově řízení letového provozu, dostavte se neprodleně do krizového štábu.*”
3. Velitelé nouzových složek zajistí, aby do objektu ŘLP byly poslány základní jednotky, aby se zabránilo časovému zpoždění odezvy, bude-li třeba, protože včasným zásahem se sníží ztráty na lidských životech i ztráty ekonomické.
4. Při vypuknutí požáru zajistí požární rozhlas **vyrozumění osob v objektu ŘLP** s výjimkou personálu na sále letových provozních služeb. Text: „*Vážení kolegové, v objektu je*

vyhlášená evakuace. Žádáme zaměstnance pracující v objektu, aby se dostavili na místo evakuace a vyčkali dalších pokynů.”

5. **Varování řídicích letového provozu a provozního personálu** na sále letových provozních služeb provede vedoucí směny. Použije text: „Vážení kolegové, v objektu je vyhlášena evakuace z důvodu požáru. Okamžitě zahajte postup pro nouzové vyklizení oblohy, aby mohla být zahájena evakuace stanoviště.“

Od doby rozhodnutí o nutné evakuaci stanoviště je nutno dokončit činnosti související s poskytováním letových provozních služeb co nejdříve, nejpozději však v takovou dobu, aby byli pracovníci schopni opustit objekt do 30 minut od doby vyhlášení evakuace nebo do jiného časového limitu, byl-li stanoven [8]. Tento postup je nazýván vyklizením oblohy, jehož jednotlivé pokyny dle [9] jsou:

1. V nenadálých situacích:
 - informuj všechna pracoviště letového provozu,
 - zastav odlety z hlavních a blízkých letišť,
 - okolní stanoviště požádej o: pomoc; a omezení vstupujícího provozu,
 - informuj vedoucího směny.
2. Vedoucí směny:
 - informuje všechny řídicí sektory o vzniklé situaci,
 - vypomáhá na jednotlivých pracovních místech dle potřeby.
3. Předání letadel:
 - po koordinaci řídicí letového provozu předá letadla v nekonfliktních letových hladinách na sousední stanoviště,
 - po předání řízení posledního letadla řídicí letového provozu vypomáhá na jednotlivých pracovních místech dle potřeby.
4. Koordinuje se předání letadel v nekonfliktních letových hladinách na sousední stanoviště.
6. Evakuace osob:
 - a) Osoby nacházející se mimo sál letových provozních služeb opustí objekt řízení letového provozu okamžitě po vyhlášení evakuace rozhlasem některou z nechráněných únikových cest a soustředí se na evakuační místo před objektem.
 - b) Osoby nacházející se na sále letových provozních služeb, včetně těch, které nemají přímou účast na „vyklizení oblohy”, vyčkají na pokyn vedoucího směny, aby zahájili evakuaci chráněnou únikovou cestou. Ta by měla poskytnout bezpečnou únikovou cestu z objektu po dobu několika desítek minut. V celém objektu jsou instalovány informační tabulky s vyznačením směru na místo evakuace osob.
 - c) Postup evakuace osob je dle [9]:
 1. Mimo sál letových provozních služeb proběhne oznámení o evakuaci požárním rozhlasem, na sále letových provozních služeb jej zajistí vedoucí směny.
 2. Personál využije k evakuaci: nechráněnou únikovou cestu, pokud se nachází mimo sál letových provozních služeb; a chráněnou únikovou cestu, pokud se nachází na sále letových provozních služeb.
 3. Vedoucí směny rozhodne o vhodných opatřeních: regulace toku; a uzavření vzdušného prostoru.
7. Přejít na záložní pracoviště. V případě, že výpadek pracoviště řízení letového provozu bude delší než 30 minut [39], tak službu převezme záložní pracoviště řízení letového provozu na letištní řídicí věži nejbližšího mezinárodního letiště. Toto pracoviště shromažďuje dotazy a předává ostatním služebnám známé informace do doby, než dojde k obnovení služeb z normálního pracoviště [39].

8. Přejít ze záložního pracoviště do obnoveného normálního pracoviště. Za urychlené odstranění škod v zájmu obnovení poskytování letových provozních služeb z běžného pracoviště odpovídá provozovatel objektu řízení letového provozu [40]. Doba odstranění závisí na rozsahu poškození objektu. Návrat do objektu je z důvodu bezpečnosti poskytovaných služeb možný až po zkušebním provozu [40].
9. Obnova provozu ve vzdušném prostoru z normálního pracoviště. V rámci zkušebního provozu obnoveného objektu budou letové provozní služby poskytovány částečně ze záložního a částečně z běžného pracoviště [40]. Po přechodu na obnovené normální pracoviště zůstane záložní pracoviště v pohotovostním provozu po nezbytně nutnou dobu [40].

6.2.4. Opatření pro zvýšení kvality personálu

Při zabezpečení jakéhokoliv objektu nebo zařízení hrají roli nejenom technická zařízení a překážky, ale člověk samotný. Lidský faktor je souhrn lidských vlastností, které ovlivňují funkci technologických systémů, situaci v lidské společnosti a také rovnováhu mezi lidmi a životním prostředím. Pakliže bezpečnostní zařízení a technika pracují ve zcela spolehlivém režimu z hlediska výkonu práce, je lidský faktor nejslabším článkem v systému bezpečnosti. Budoucí úspěšnost pracovníka bezpečnostní kontroly je zajištěna v prve řadě řádným vstupním výcvikem a následným přezkoušením. Zvláštní odborná příprava osob provádějících bezpečnostní kontroly by měla naučit pracovníka bezpečnostní kontroly zvládat identifikovat rizika (např. podezřelé chování cestujících, zakázané předměty v zavazadle), je popsána v Národním programu bezpečnostního výcviku v civilním letectví ČR. Zabezpečovací systémy jsou pasivní a aktivní. Mezi pasivní patří správně architektonicky navržené a postavené letiště, evakuační prostředky, organizovatelnost bezpečnostních a záchranných složek, fyzická ochrana, atd. Aktivní systémy propojují monitorovací zařízení a bezpečnostní složky. Do aktivních systémů patří rovněž přístroje sledující pohyb vozidel po letištní ploše a také přístroje sledující letadlo, které vykonává pohyb na zemi či ve vzduchu. Za bezpečnost letového provozu zodpovídají nejen techničtí pracovníci a letová posádka, ale také dispečeri letového provozu, které zabezpečují provoz tak, aby nedošlo ke kolizní situaci [23].

Z výsledků práce [20] vyplývá, že je třeba vylepšit:

1. U agentů check-in přepážky by mělo dojít k zvýšení vzdělanosti o ochranných prvcích dokladů, zlepšení úrovně kontroly dokladů a zajištění lepšího přísunu informací přímo na pracoviště check-in přepážek o osobách, které představují bezpečnostní riziko. Bezpečnostní kontrola u schengenských letů, která má za úkol kontrolovat palubní vstupenku s předloženým dokladem cestujícího, má být nahrazena v půlce roku 2014 automatizovaným vstupem ke kontrolám kabinových zavazadel. Předmětná reakce je potěšující, ale ne zcela vyhovující. Zavedenou změnou odpadá manuální kontrola vystavené palubní vstupenky s kontrolou dokladů, kde zaměstnanec bezpečnostní kontroly měl alespoň možnost hmatově si ověřit pravost dokladů. Popsané opatření zvýší účinnost kontroly, ale v žádném případě neodhalí zneužití platného dokladu jinou osobou, protože nekontroluje soulad podoby osoby s fotografií na předkládaném dokladu. Bylo by vyhovující zanechat původní manuální systém kontrol vstupu, vyškolit zaměstnance o bezpečnostních prvcích dokladů a zajistit přísun informací na pracoviště o osobách, které představují bezpečnostní riziko. Gate agenti (obvykle to bývají agenti, kteří odbavili cestující již na check-in přepážce) by měli být 100% vyškoleni a vycvičeni s postupy, co učinit v případě podezření, že není u konkrétního cestujícího vše v souladu s předpisy.
2. U vedoucích kabin, kteří se necítí být připraveni na situace, kdy musí zabránit za každou cenu vstupu neoprávněné osoby do kokpitu letadla, by bylo vhodné zajistit opakovaný

výcvik a školení. Dále je důležité dodržování předpisů operačního manuálu, obzvláště zabránit při boarding setkání pilotů s cestujícími na palubě letadla.

3. Všichni řadoví stewardi by měli projít výcvikem, jak jednat s osobou, jejíž jednání je zvláštní až extrémní a výcvikem, jak zvládnout osoby, které ohrožují je nebo cestující – výsledky ukázaly, že někteří dotazovaní výcvik neměli, což je zapotřebí napravit.
4. Pro zvýšení bezpečí kokpitu letadla, uvedené výsledky kapitánů letadel ukázaly, že by bylo vhodné navrhnout v přední galley stěnu, která obklopuje pancéřové dveře do pilotní kabiny z takového materiálu, který by byl lehký a zároveň neprůstřelný.

Analýza skutečné situace ukazuje, že pro správný chod procesu je zapotřebí kvalifikovaného personálu ve všech šetřených kritických místech odbavovacího procesu, který je řádně vyškolen a vycvičen pro zvládnutí mimořádných událostí. Je zapotřebí si uvědomit, že selhání mezinárodního letiště, znamená selhání kritické infrastruktury, která vyvolá ztráty nejen na prioritně chráněných zájmech státu, ale i ztráty činností leteckých aerolinií, ztráta činnosti okolních hotelů, a jiných podniků spojených s cestovním ruchem.

6.3. Plán řízení rizik

Pro odstranění řady příčin havárií a selhání v leteckém provozu a pro jejich kvalitní zvládnutí se používají nástroje inženýrství, které pracuje s riziky, např. kontrolní seznamy, bezpečnostní audity, bezpečnostní plány, plány pro řízení rizik, operativní krizové plány apod. [4,5].

Plán řízení rizik obsahuje čtyři základní položky, a to:

- oblast příčin rizika (technická, organizační, vnitřní příčiny, vnější příčiny, kybernetická)
- popis příčin rizika,
- pravděpodobnost výskytu a ocenění dopadů rizika,
- opatření pro zmírnění rizika a odpovědnosti.

Při ocenění dopadů a pravděpodobností nehod civilních letadel byla použity údaje ze sestavené databáze a stupnice: Malá – 5-20 %; střední 20-45 %; vysoká 45-70 %; velmi vysoká 70-95 %. Další detaily jsou v práci [1].

Příklad plánu řízení rizik pro letadlo je uveden v tabulce 15 pro letiště v tabulce 16. Požadavky mezinárodních předpisů citované v tabulkách 15 a 16 jsou zavedeny do provozních předpisů pro civilní letiště předpisy [47,48].

Tabulka 15. Příklad plánu řízení rizik pro letadlo; zpracováno dle [8]. Použité zkratky: NTSB = National Transportation Safety Board; ŘLP = Řízení letového provozu; SAS = Skybrary aviation safety.

Popis příčin rizika	Pravděpodobnost výskytu a dopady rizika	Opatření pro zmírnění rizika a odpovědnosti
<i>Oblast rizika – organizační</i>		
Ztráta orientace	Pravděpodobnost: malá Dopady: velké	Opatření: použití náhradních způsobů orientace - dle reliéfu terénu a požádání o pomoc řízení letového provozu [41]. Provede: pilot [41] Odpovědnost: pilot [41]
Chybné vyhodnocení situace	Pravděpodobnost: střední Dopady: velké	Opatření: provedení opravného manévru [42]. Provede: pilot [41]. Odpovědnost: pilot [41].
Špatná spolupráce posádky	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední	Opatření: okamžité zavedení pořádku a později změna posádky [42]. Provede: velitel letadla [42].

		Odpovědnost: velitel letadla [42].
Nezvladatelný cestující	Pravděpodobnost: střední Dopady: střední	Opatření: pohovor, přikurtování k sedadlu, popř. oddělení od ostatních, přistání na vhodném letišti [2]. Provede: velitel letadla [2]. Odpovědnost: velitel letadla [2].
Oblast rizika – technická		
Výpadek motoru	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední	Opatření: zahájit nouzové klesání a vyslání zprávy na řízení letového provozu [43-45]. Provede: pilot „letící“ [43-45]. Odpovědnost: pilot „letící“ [43-45].
Nefunkční výškoměr	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední	Opatření: použití záložních systémů určení polohy [44]. Provede: pilot [44]. Odpovědnost: pilot [44].
Úbytek kyslíku na palubě	Pravděpodobnost: malá Dopady: vysoká	Opatření: spuštění kyslíkových masek, vyslání [46], zpráva na řízení letového provozu [46]. Provede: pilot [46]. Odpovědnost: pilot [46].
Oblast rizika – narušení bezpečnosti z vnitřních příčin		
Požár v kabině	Pravděpodobnost: malá Dopady: velmi vysoké	Opatření: použití hasících přístrojů na palubě, vyslání zprávy na řízení letového provozu, snaha o rychlé přistání [47]. Provede: velitel letadla [47]. Odpovědnost: velitel letadla [47].
Požár v zavazadlovém prostoru	Pravděpodobnost: malá Dopady: velmi vysoké	Opatření: nouzové přistání na nejbližším vhodném letišti [41]. Provede: velitel letadla [41]. Odpovědnost: velitel letadla [41].
Oblast rizika – narušení bezpečnosti z vnějších příčin		
Velké propadnutí letounu	Pravděpodobnost: malá Dopady: střední	Opatření: opravný zásah v řízení letadla [48]. Provede: pilot „letící“ [48]. Odpovědnost: pilot „letící“ [48].
Velký elektrický výboj	Pravděpodobnost: malá Dopady: vysoké	Opatření: okamžité převzetí manuálního řízení [47]. Provede: pilot [47]. Odpovědnost: pilot [47].
Útok cizího letadla	Pravděpodobnost: malá Dopady: velmi vysoké	Opatření: nouzové přistání na nejbližším vhodném letišti [49]. Provede: pilot „letící“ [49]. Odpovědnost: pilot „letící“ [49].
Oblast rizika – kybernetická propojení		
Ztráta spojení	Pravděpodobnost: střední Dopady: střední	Opatření: nastavení nouzového kódu odpovídače letadla [47]. Provede: pilot „letící“ [47]. Odpovědnost: pilot „letící“ [47].
Hackerský útok na systém řízení letadla	Pravděpodobnost: malá Dopady: velmi vysoké	Opatření: aplikace manuálního řízení [2]. Provede: pilot „letící“ [2]. Odpovědnost: pilot „letící“ [2].
Podivné hlášení – neobvyklá aktivace senzorů	Pravděpodobnost: malá Dopady: velmi vysoké	Opatření: prověření varovných sstémů, vyslání zpráva na řízení letového provozu [45]. Provede: velitel letadla [45]. Odpovědnost: velitel letadla [45].

Tabulka 16. Plán řízení rizik pro letiště; zpracováno dle [8].

Oblast rizika	Popis příčiny rizika	Pravděpodobnost výskytu a dopady rizika	Opatření na zmírnění rizika a odpovědnost
Organizační	Neposkytnutí nebo poskytnutí nesprávné informace letadlu	Pravděpodobnost: nízká Dopady: velmi vysoké	Opatření: provést urychleně opravné hlášení [50]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [50]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu [50].
	Umístění letadla na nesprávnou dráhu	Pravděpodobnost: nízká Dopady: vysoké	Opatření: urychlené uvolnění dráhy a vyzvání pilota přistávajícího letadla k posečkání a opatrnosti [51]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [51]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu [51].
	Neschopnost pomoci letadlu v nesházích	Pravděpodobnost: nízká Dopady: velmi vysoké	Opatření: okamžitě odstartování nouzových opatření a činnosti nouzových služeb; později zajistit kvalitní výcvik řídicích letového provozu [50]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [50]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu; později ředitel výcviku řízení letového provozu [50] zajistí výcvik.
	Zmatek na pracovišti z důvodu vnějšího zásahu jako je např. požár	Pravděpodobnost: nízká Dopady: velmi vysoké	Opatření: přijmout opatření pro nouzový režim, tj. varovat letadla v přímém řízení a zajistit urychlený přechod na náhradní pracoviště a urychleně zahájit činnost [50]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [50]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu [50].
Technická	Špatný stav dráhového systému letiště	Pravděpodobnost: nízká Dopady: velmi vysoké	Opatření: okamžitě uzavřít poškozené dráhy [2]. Provede: pracovník pověřený ředitelem letiště [2]. Odpovědnost: ředitel letiště [2].
	Špatné rozmístění techniky na letišti	Pravděpodobnost: nízká Dopady: střední až vysoké	Opatření: provést nápravná opatření a zajistit vydání výstražných zpráv NOTAM o stavu letiště [2]. Provede: pracovník pověřený provozním ředitelem letiště [2]. Odpovědnost: provozní ředitel letiště [2].
	Nefunkční varovný systém	Pravděpodobnost: nízká Dopady: velmi vysoké	Opatření: okamžitě provést nápravu, tj. aktivovat náhradní varovné systémy; později cvičit letový i pozemní personál na práci s nefunkčními technickými systémy [2]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [2]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu; později ředitel výcviku řízení letového provozu [2].
Vnější podmínky	Mlha	Pravděpodobnost: střední Dopady: vysoké	Opatření: uvést v činnost všechny pozemní radary a pomocná zařízení pro orientaci na letišti [52]. Provede: pracovník pověřený technickým ředitelem letiště [52]. Odpovědnost: technický ředitel letiště [52].

Kybernetická	Zaplavení / zasněžení letiště	Pravděpodobnost: nízká Dopady: vysoké	Opatření: provést okamžité uzavření letiště, varovat letadla v přímém řízení a zahájit odklízecí práce [51]. Provede: pracovníci pověřeni vedoucím směny na řízení letového provozu, a za odklizení ředitelem údržby letiště [51]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu, za odklizení ředitel údržby letiště [51].
	Fyzický útok na letiště nebo dispečerské stanoviště	Pravděpodobnost: střední Dopady: vysoké	Opatření: nařídit okamžitý zásah bezpečnostních složek [2]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [2]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu [2].
	Ztráta spojení	Pravděpodobnost: střední Dopady: střední	Opatření: aktivovat nouzové systémy, a to včetně manuálních a mechanických prostředků s cílem pomoci letadlu; později cvičit pozemní personál na bezpečné zacházení s letadlem bez spojení [47]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [47]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu; později ředitel výcviku řízení letového provozu [47].
	Hackerský útok na systém řízení letového provozu	Pravděpodobnost: nízká Dopady: velmi vysoké	Opatření: aktivovat nouzové systémy, a to včetně manuálních a mechanických prostředků s cílem pomoci letadlu; později cvičit technický personál na okamžité odvrácení hackerského útoku [2]. Provede: pracovník pověřený vedoucím směny na řízení letového provozu [2]. Odpovědnost: vedoucí směny na řízení letového provozu; později technický ředitel řízení letového provozu [2].

6.4. Řízení bezpečnosti letadel s ohledem na únavu posádky

Poučení z výše uvedených nehod a incidentů vedlo ke stanovení požadavků na nový způsob myšlení, pokud jde o řízení bezpečnosti [29]. Jedním z hlavních rysů tohoto nového přístupu v letectví je, že všechny zúčastněné organizace sdílejí odpovědnost za minimalizaci rizik a zvýšení bezpečnosti. Každá organizace a každý zaměstnanec přispívá ke zvýšení bezpečnosti sdílením informací o bezpečnostních událostech. Moudré zainteresované strany se pak mohou poučit nejen ze svých vlastních chyb, ale také z chyb druhých [55].

Proto v posledních letech byly zavedeny systémy řízení v oblastech bezpečnosti, ale i v dalších oblastech, které by mohly negativně ovlivnit provoz leteckých organizací [29]. Pomocí systémů řízení bezpečnosti jsou rizika zmírňována, i když se objevují nové zdroje rizik. To platí i pro únavu, protože to nebylo dobře pochopeno a až donedávna bylo těžké ji měřit. Použité strategie pro řízení únavy začínají poskytovat řešení pro jednotlivé zaměstnance a organizace, aby se lépe vypořádali s tímto zdrojem rizik.

Do praxe byl zaveden přístup založený na řízení rizik (risk-based approach). Jeho cílem je zajistit provozní bezpečnost pomocí systému řízení bezpečnosti (SMS) [6,56], který je založen na řízení rizik a je zaměřen na neustálé zlepšování úrovně bezpečnosti a zavádí proces identifikace nebezpečí do každodenního provozu obsluhy spolu se shromažďováním bezpečnostních údajů a jejich analýzou, hodnocením rizik a prováděním strategií zmírňování rizik [57]. Řízení

rizik podle SMS zahrnuje rozvoj komplexní ochrany před rizikem únavy na základě formálního vyhodnocení rizika. Rozsah řízení rizik spojených s únavou letové posádky spočívá výhradně na organizaci.

Přístup založený na rizicích je založen na posouzení rizik spojených s únavou. Na základě jejich konkrétního hodnocení se vytvářejí vhodné ochrany, aby se zabránilo realizaci rizika způsobené únavou [58]. Příklad založený na dodržování předpisů je odlišný přístup, který představuje plánování práce posádky v souladu s platnými předpisy a doufá, že zaručuje dosažení určité úrovně bezpečnosti. Příklad založený na řízení rizik představuje důkladnější zkoumání a vylepšení podmínek v organizaci s cílem omezit výskyt havárií a selhání.

Chronologii událostí s velkou pravděpodobností lépe hodnotí odpočatí piloti, kteří nemají žádné známky únavy, než ti vyčerpaní; známky vyčerpání zhoršují řízení rizik. Riziko únavy závisí na plánování posádky a na zdravotním stavu pilota. Součástí řízení rizik pilota je zodpovědný přístup ke spánku a odpočinku, zatímco zbývající faktory závisí na letecké společnosti [59].

Do praxe je zaveden systém Fatigue Risk Management System (FRMS) [60], který ICAO definuje jako: "Prostředky založené na datech, které se nepřetržitě monitorují a řídí bezpečnostní rizika související s únavou, založené na vědeckých zásadách a znalostech a provozních zkušenostech, jejichž cílem je zajistit, aby příslušní pracovníci byli na odpovídající úrovni bdělosti [60]. Jde o cyklus, který zahrnuje procesy měření a hodnocení: současných podmínek; modelování a analyzování rizik spojených s únavou; řízení a zmírňování těchto rizik; a provedení korekce formou připravené zpětné vazby.

Kromě zmírnění rizika spojeného s únavou posádky dle [29] jsou výhody FRMS:

- snížení počtu nehod a havárií souvisejících s chybami způsobenými únavou, které vedou k finančním nákladům nebo k poškození dobrého jména provozovatele,
- snížení nákladů na pojištění, protože některé pojišťovny jsou ochotny snížit pojistné v případech, ve kterých provozovatel prokáže existenci funkčního FRMS ve své organizaci,
- snížení počtu absencí posádky kvůli únavě,
- zlepšení nábory členů posádky kvůli lepším pracovním podmínkám.

Další údaje jsou v práci [29]. ***Je třeba poznamenat, že stejné riziko je problémem i na letištích, a to ve spojení s pracovníky řízení letového provozu.***

6.5. Vnější opatření pro zvýšení bezpečnosti leteckého provozu

Úřad pro civilní letectví České republiky (ÚCL) je správní úřad ČR, který je podřízen Ministerstvu dopravy. Dle mezinárodních smluv je leteckým úřadem ČR. Vykonává dohled nad civilním letectvím, licencuje piloty a certifikuje letadla a letecká technická zařízení; např. letadlům přiděluje imatrikulace. Činnost úřadu se dělí do čtyř sekcí:

- sekce správní a bezpečnostní,
- sekce technická,
- sekce letová,
- sekce provozní.

Úřad vykonává též funkci speciálního stavebního úřadu pro letecké stavby.

Vyšetřováním leteckých nehod v ČR je pověřen Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod, který je zřízený zákonem č. 49/1997 Sb., o civilním letectví.

Na letišti pracují složky, jejichž úkolem je zajistit bezpečnost letiště i celého letového provozu. Pro případ větších událostí na letišti a hlavně mimo něj existují smlouvy o spolupráci

s Integrovaným záchranným systémem (IZS) a s Armádou České republiky (AČR); každá ze složek IZS má schválené typové činnosti pro případ letecké nehody; jejich texty jsou např. v práci [3]. Speciální smlouvy existují se specifickými složkami Policie ČR (např. ochrana proti kybernetickým útokům).

7. ZÁVĚR

Bezpečnost složitých technologických objektů a zařízení nelze zajistit sebedokonalejšími dílčími opatřeními. Pro její zajištění je třeba zvažovat vlastnosti objektů, které mají formu nazývanou systémy systémů [5]. Předmětnými vlastnostmi jsou interoperabilita, kritičnost a integrita. Kvůli dynamickému vývoji světa a nedostatečným lidským znalostem a schopnostem, je třeba počítat s tím, že mohou nastat kritické situace. Proto je třeba se připravit na jejich zvládnutí s cílem, aby ztráty, škody a újmy na veřejných a dalších aktivech byly přijatelné. Předmětné nástroje poskytují disciplíny inženýrství, které se zabývá riziky.

U více než 80 % nehod se uplatnil lidský faktor, z toho ve více než 65 % hrály roli nedostatky v řízení a rozhodování, tj. lze je zařadit do kategorie, kterou označujeme „organizační havárie“ [4]. Protože řada z předmětných havárií je z oblasti řízení letového provozu, je třeba, aby na každém pracovišti byl konkrétní plán, ve kterém je řešeno deset nejzávažnějších situací, které byly identifikovány a byly jasně stanoveny odpovědnosti. V technice i výuce je třeba brát ohled na odbornost a zabránit situacím popsaným výstižně slovy amerického pilota u příčin havárií 737-MAX „vyrobili klauni řízení opicemi“.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. Causes of Accidents in Civilian Aircraft Operation and Tools for Management of Selected Risks. In: *Safety and Reliability – Theory and Applications*. ISBN 978-1-138-62937-0. London: Taylor & Francis Group 2017, pp. 3057-3066.
- [2] IATA. <http://www.iata.org/>
- [3] CHMELÍK, J. et al. *Letecké nehody*. ISBN 80-7312-033-4. Praha: MV ČR 2008, 125 p.
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. <http://hdl.handle.net/10467/85867> doi:10.14311/BK.9788001066751
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208 p.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN 978-80-01-06180-0, e-ISBN: 78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [7] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD: *Controlled Flight Into Terrain, Learjet 35A, N30DK*. <http://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AAB0605.aspx>
- [8] PRAŽAN, M. *Identifikace závažných rizik v letovém provozu a návrh jejich vypořádání*. Diplomová práce. Praha: ČVUT Archiv 2016, 82 p.
- [9] ŘÍZELÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR, s. p. *Řídící směrnice nestandardních provozních stavů v ŘLP ČR*. Jeneč: ŘLP 2014.
- [10] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [11] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. ISBN 978-80-01-04842-9. Praha: ČVUT 2011, 369 p.
- [12] ZAIRI, M. *Total Quality Management for Engineers*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1991.
- [13] www.airdisaster.com
- [14] ČVUT. *Archiv pohrom, havárií, selhání a práce s riziky*. Praha: ČVUT 2021.
- [15] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. *Steep Climb and Uncontrolled Descent During Takeoff*. http://www.ntsb.gov/investigations/Pages/2013_Bagram.aspx
- [16] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. *Midair Collision over Amazon Jungle*. http://www.ntsb.gov/safety/safety-recs/RecLetters/A07_35_37.pdf

- [17] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD *Controlled Flight Into Terrain, Korean Air Flight 801, Boeing 747-300, HL7468*. <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AAR0001.aspx>
- [18] DUTCH SAFETY BOARD. *Investigation Crash MH17, 17 July 2014 Donetsk*. <http://www.onderzoekskraad.nl/en/onderzoek/2049/investigation-crash-mh17-17july-2014>
- [19] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. *Loss of Thrust in Both Engines, US Airways Flight 1549 Airbus Industrie A320-214, N106US*. <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AAR1003.aspx>
- [20] STRYMPLOVÁ, V. *Analýza kritických míst při odbavení cestujících na letišti*. Diplomová práce. Praha: ČVUT 2014, 125 p.
- [21] PROCHÁZKOVÁ, D. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223 p.
- [22] ČR. *Zákon č. 216/2002 Sb., o ochraně státních hranic České republiky a o změně některých zákonů (zákon o ochraně státních hranic)*. <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=53482&full-text=&nr=216~2F2002&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [23] ES. *Nařízení č. 300/2008: O společných pravidlech v oblasti ochrany civilního letectví před protiprávními činy a o zrušení nařízení (ES) č. 2320/2002*. <http://eur-ex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:097:0072:0084:CS:PDF>
- [24] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05103-0. Praha: ČVUT 2012, 318 p.
- [25] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *DOC 8973 Aviation Security Manual*. 10th Edition. ISBN 978-92-9258-277-7. ICAO 2017.
- [26] KOŠTÁLOVÁ, Š. Dopady protiprávního činu na civilní letiště a způsoby jeho zohlednění při návrhu stavebních konstrukcí. In: JUFOS 2021. ISBN 978-80-214-5963-2. Brno: VUT 2021, pp. 127-136.
- [27] BLOCK, M. *Applying Situational Crime Prevention to Terrorism against Airports and Aircrafts*. 2016 doi: 10.18297/etd/2479
- [28] ŠTEFAN, R. a kol. *Metodika hodnocení stavebních konstrukcí z hlediska mimořádného zatížení*. Praha: ČVUT 2020, 70 p.
- [29] HULÍNSKÁ, Š., KRAUS, J. Fatigue Risk Management System in Aviation. In: *Risks of Business and Territorial Processes*. ISBN 978-80-7561-021-8. Ústí nad Labem: UJEP 2016, pp. 174-181.
- [30] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., ŘÍHA, J., BERAN, V., PROCHÁZKA, Z. *Řízení rizik procesů spojených se specifikací a umístěním technického díla do území*. ISBN: 978-80-01-06467-2. Praha: ČVUT 2018, 134p., <http://hdl.handle.net/10467/78522>
- [31] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., BERAN, V., ŠINDLEROVÁ, V. *Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu*. ISBN 978-80-01-06609. Praha: ČVUT 2019, 207p. <http://hdl.handle.net/10467/8446634>
- [32] KEENEY, R. L., RAIFFA, H. *Decision with Multiple Objectives*. Cambridge: Cambridge University Press 1976, 1993, 569 p.
- [33] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. Checklist for Judgement of Technical Facility Safety and Results Obtained by Its Application in Practice.. *Proceedings of International European Safety and Reliability Conference, ESREL2018*. ISBN: 978-1-351-17466-4. London: Taylor & Francis Group 2018, pp. 1175-1184. <https://www.ntnu.edu/esrel> 2018.
- [34] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. *Rizika spojená s pozemními komunikacemi*. ISBN 978-80-01-06843-4. Praha: ČVUT 2021, 296 p., <http://hdl.handle.net/10467/94283>
- [35] DELONGU, B. *Risk Analysis and Governance in EU Policy Making and Regulation*. ISBN 978-3-319-30822-1. Springer 2016, 288 p.
- [36] VEBER, J. a kol. *Management*. ISBN 807261-029-5. Praha: Management Press 2001. 700 p.
- [37] BĚLOHLÁVEK, F., KOŠTAN, P., ŠULEŘ, O. *Management*. ISBN 80-251-0396-X. Brno: Computer Press 2006. 724 p.
- [38] DĚDINA, J. *Management a organizační chování*. Praha: Grada 2005.
- [39] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. *Plán řešení nestandardních provozních stavů na ACC*. Praha: Jeneč 2015.
- [40] EUROCONTROL. *Guidelines for Contingency Planning of Air Navigation Services*. <http://www.Eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/nm/safety/safety-guidelines-contingency-planning-ans-2009.pdf>
- [41] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. *Loss of Thrust in Both Engines, US Airways Flight 1549 Airbus Industrie A320-214, N106US*. <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AAR1003.aspx>
- [42] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. *Controlled Flight Into Terrain, Korean Air Flight 801, Boeing 747-300, HL7468*. <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AAR0001.aspx>

- [43] MIKA, L. Letecká provozní bezpečnost ve světě v roce 2015. *Letectví + kosmonautika*. ISSN 0024-1156. 92 (2016), pp. 50-52.
- [44] SKYBRARY AVIATION SAFETY. A332, *en-route, Atlantic Ocean*. 2009. http://www.skybrary.aero/index.php/A332_en-route_Atantic_Ocean_2009
- [45] SKYBRARY AVIATION SAFETY. MD83 *En Route South East of Gossi, Mali* 2014. http://www.skybrary.aero/index.php/MD83_En_route_south_east_of_Gossi_Mali_2014
- [46] SKYBRARY AVIATION SAFETY. B733, *en-route, Grammatiko Greece*, 2005. http://www.skybrary.aero/index.php/B733_enroute_Grammatiko_Greece_2005
- [47] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. *Interní databáze událostí v letovém provozu*. Jeneč: ŘLP 2016.
- [48] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. *In-Flight Separation of Vertical Stabilizer American Airlines Flight 587, Airbus Industrie A300-605R, N14053*. <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AAR0404.aspx>
- [49] DUTCH SAFETY BOARD. *Investigation Crash MH17, 17 July 2014 Donetsk*. <http://www.onderzoekraad.nl/en/onderzoek/2049/investigation-crash-mh17-17-july-2014>
- [50] SKYBRARY AVIATION SAFETY. T154 / B752, *en-route, Uberlingen Germany*, 2002. http://www.skybrary.aero/index.php/T154_B752_enroute_Uberlingen_Germany_2002
- [51] SKYBRARY AVIATION SAFETY. B744, *Taipei Taiwan*, 2000. http://www.skybrary.aero/index.php/B744_Taipei_Taiwan_2000
- [52] SKYBRARY AVIATION SAFETY. MD87 / C525, *Milan Linate*, 2001. http://www.skybrary.aero/index.php/MD87_C525_Milan_Linate_2001
- [53] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Letové provozní služby. In: *L1*. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2014. <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [54] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Letové provozní služby. In: *L2* Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2014 <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [55] EUROPEAN COCKPIT ASSOCIATION AISBL. *Piloting Safety* (ed.). Pilot Fatigue: Barometer. 2012. https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/eca_barometer_on_pilot_fatigue_12_1107_f.pdf
- [56] OECD. *Guidance on Safety Performance Indicators. Guidance for Industry, Public Authorities and Communities for developing SPI Programmes related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response*. Paris: OECD 2002, 191 p.
- [57] VITTEK, P., LALIŠ, A., STOJÍČ, S., PLOS, V. Management of Aviation Safety at State Level. In: *Air Transport 2014*. ISBN 978-80-553-1867-7. Košice: Technická Univerzita, 2014, pp. 185-187.
- [58] PLOS, V., VITTEK, P. Proposal for Risk-based Indicators for Monitoring Aviation Safety Performance. In: *Air Transport 2014*. ISBN 978-80-553-1867-7. Košice: Technická Univerzita 2014, pp. 122-124.
- [59] SOCHA, V., SCHLENKER, J., KALAVKŠÝ, P., KUTÍLEK, P., SOCHA, L., SZABO, S., SMRČKA, P. Effect of the Change of Flight, Navigation and Motor Data Visualization on Psychophysiological State of Pilots. In: *SAMI 2015 - IEEE 13th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, pp. 339-344.
- [60] IATA, ICAO, IFALPA. *Fatigue Risk Management System, Implementation Guide for Operators*. 2011. <http://www.iata.org/publications/Documents/FRMS%20Implementation%20Guide%20for%20Operators%201st%20Edition-%20English.pdf>

Poděkování: Autoři děkují podpoře z projektu RIRIZIBE CZ.02.2.69/0.0/0.0/16-018/00026 49 a projektu PR-KODI CK01000095.

SYSTÉM PRO PODPORU ROZHODOVÁNÍ O RIZICÍCH PRO PROJEKTOVÁNÍ, ZHOTOVENÍ A UVEDENÍ DO PROVOZU JADERNÉHO ZAŘÍZENÍ S MALÝM MODULÁRNÍM REAKTOREM

SYSTEM TO SUPPORT DECISION-MAKING ON THE RISKS TO THE DESIGN, CONSTRUCTION AND COMMISSIONING OF A NUCLEAR INSTALLATION WITH SMALL MODULAR REACTOR

Dana Procházková, Jan Procházka, Václav Dostál

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 00 Praha 6. Česká republika;
danuse.prochazkova@fs.cvut.cz; vaclav.dostal@fs.cvut.cz

Abstrakt: Článek shrnuje údaje o zdrojích rizik pro jaderná zařízení. Na základě skutečnosti, že i jaderná zařízení s malými modulárními reaktory jsou složité systémy systémů, které mají povahu socio-kyber-fyzickou (technickou), není zajištění jejich bezpečnosti snadné. Je třeba při řízení rizik ve prospěch jejich bezpečnosti sledovat nejen velká dílčí rizika, ale také integrální (celkové) riziko. Pro jeho aplikaci je pro jaderné zařízení s malým modulárním reaktorem vytvořen osvědčený nástroj „systém pro podporu rozhodování“ pro fázi projektování, a pro širší etapu od projektování, přes zhotovení až do uvedení do provozu.

Klíčová slova: Jaderná zařízení; zdroje rizik; malé modulární reaktory; integrální riziko; systém pro podporu rozhodování; fáze projektování, zhotovení a uvedení do provozu.

Abstract: The article summarises data on the sources of risks for nuclear installations. Based on the fact that nuclear installations with small modular reactors are complex systems of systems that have the nature of socio-cyber-physical (technical), ensuring their safety is not easy. Not only large partial risks but also integral (overall) risk should be monitored for the benefit of their safety. For its application, it is for nuclear installations with small modular reactors is set up the proven tool "decision support system" for the design phase, and for the broader stage from designing, over construction up to commissioning.

Key words: Nuclear installations; sources of risk; small modular reactors; integral risk; a decision-making support system; design, construction and commissioning phases.

1. ÚVOD

Jaderné zařízení s malým modulárním reaktorem (*dále jen ZSMR*) je socio-kyber-fyzický (technologický) systém, který zahrnuje jednak složité komponenty a jednak jejich propojení. Komponenty mohou pracovat samostatně a dohromady pak plní zcela jedinečný úkol, který je vzdálený od úkolů jednotlivých složitých systémů (např. systémy pro výrobu, distribuci a spotřebu elektřiny, systémy pro chlazení apod.) [1]. Jejich model je otevřený systém systémů (tj. soubor vzájemně propojených otevřených systémů), jejichž vlastnosti jsou popsány např. v pracích [1-4]. Z důvodu respektování složitosti nelze při jejich projektování, zhotovení a uvádění do provozu používat jednoduché postupy při zajišťování bezpečnosti celku, protože tím se nezvažují vzájemné interakce dílčích systémů za možných podmínek; dochází totiž k velkým zanedbáním reálných situací, kdy dochází k překročením limitů, což vede k narušení bezpečnosti.

Na základě současných poznatků, shrnutých v práci [5], je třeba ZSMR projektovat a konstruovat tak, že se zohlední jak platné normy, tak výsledky řízení rizik ve prospěch bezpečnosti.

Vzhledem ke složitosti ZSMR je třeba sledovat nejen zdroje velkých dílčích rizik [6-8], ale i integrální (celkové) riziko [6-8], protože cca 80 % selhání technických děl je způsobeno náhodnou kombinací řady malých selhání v krátkém časovém intervalu [8,9]. Pro dlouhodobé zajištění bezpečnosti ZSMR je proto třeba aplikovat multikriteriální hodnocení všech příčin (příspěvků k riziku), jejichž kombinace vede k selhání na základě shromáždění dosavadních poznatků i zkušeností [10]. Osvědčeným nástrojem, který dovoluje posuzovat případy, ve kterých se vyskytují konfliktní kritéria, což u složitých systémů je časté, je systém pro podporu rozhodování (DSS) [11]. Sdělení obsahuje předmětný nástroj pro projektování a pro následnou fázi zhotovení a uvedení do provozu.

2. RIZIKA SLOŽITÝCH SOCIO-KYBER-FYZICKÝCH SYSTÉMŮ

Ve strategickém plánování riziko znamená pravděpodobnou velikost škod, ztrát a újmy na chráněných aktivech, kterou způsobí pohroma (pojem zahrnuje všechny škodlivé jevy) o normativně určené velikosti (nazývanou ohrožení), která je normovaná na jednotku plochy a jednotku času, tj. jde o míru nepřijatelných dopadů způsobených pohromou o velikosti rovné hodnotě ohrožení [3,4]. Na takto stanovenou hodnotu rizika se pak dimenzuje při projektování ochrana zařízení, tj. jeho limity. Jestliže velikost pohromy je větší než takto stanovené ohrožení, dochází pochopitelně k narušení bezpečnosti zařízení.

Riziko je spojeno se složitými podmínkami a mnoha působícími faktory v našem světě:

- nejistá přírodní ohrožení,
- nejistoty, které obsahují výsledky vědy i používané technologie, a jejich působení na zdraví a kvalitu života lidí,
- zranitelnost lidí a nedostatek konzistentního vysvětlení životních strastí a jejich významu,
- lidská hra se strachem, šancemi a možnostmi.

Každé technické dílo chápeme jako otevřený složitý systém systémů, tj. jako několik otevřených systémů, které se vzájemně prolínají, a jsou propojené s okolím [1-4]. Propojení způsobují závislosti, které jsou příčinami specifických zranitelností [1]. Kromě žádoucích propojení vznikají za jistých podmínek i propojení nežádoucí, která vedou k selhání technických děl, která za jistých okolností výrazně poškozují technické dílo i jeho okolí. Technická díla mají rozmanitá aktiva, která se v dynamicky proměnném světě mění [1-4], a tím se mění i míra bezpečnosti technického díla. Rozmanitost aktiv způsobuje, že za jistých podmínek jsou požadavky na opatření, která zajišťují bezpečnost jednotlivých aktiv, konfliktní, což znamená, že metody používané k řízení rizik zacílené na bezpečnost technických děl musí být multikriteriální [1-4].

Svět se dynamicky vyvíjí, tj. probíhají v něm rozmanité procesy, které jsou mimo jiné i příčinou rizik v lidském systému, tj. území i v technických dílech, které vedou ke škodlivým jevům / pohromám (které zahrnují i havárie a selháním technických systémů) [1]. Cílem lidského snažení je bezpečná lidská společnost, bezpečná komunita, bezpečné území, bezpečná technická díla atd., podrobnosti jsou např. v publikacích [1]. Všechny sledované systémy jsou složité, a proto je nahrazujeme modely umístěnými do jistého modelu prostředí (okolí systému), které mají určitou hladinu podrobnosti, a tím i jisté meze platnosti; v technické praxi se používá soustavy limity a podmínky. Je si třeba proto uvědomit, že mimo těchto mezí jsou závěry získané aplikací použitých modelů neoprávněné a mohou způsobit chybná rozhodnutí vedoucí k iniciaci pohrom či celých řetězců pohrom (v daných souvislostech často mluvíme o organizačních haváriích [4]).

Každé technické dílo je umístěno v území, které je postihováno jistými pohromami, tj. leží v něm zdroje rizik. Jde o vnější zdroje rizik a kromě nich jsou vnitřní zdroje rizik spojené s existencí různých vnitřních komponent a vnitřních infrastruktur a s jejich provozem a zdroje rizik

spojené s interakcemi technického díla a jeho okolí. V dalších odstavcích je uveden přehled zdrojů rizik a odkazy na literaturu, ve které jsou pohromy, tj. zdroje rizik sledovány podrobně. Speciální pozornost je věnována zdrojům rizik, jejichž původcem je člověk a jejichž důsledkem jsou tzv. organizační havárie.

Další specifické nové zdroje rizik přináší pokračující robotizace. Zdroje rizik vznikají hlavně na rozhraních: stroj – IT; IT – IT; člověk – IT. V práci [12] je ukázáno, že původcem zdrojů rizik při aplikaci kybernetických technologií je z 84 % člověk, jejich tvůrce. Z citované práce vyplývá, že v dané oblasti je podstatné zajistit důvěrnost, integritu a dostupnost kybernetických technologií, když jsou k činnosti technického díla potřeba. Při zajištění uvedených požadavků dochází ke konfliktu mezi bezpečím a soukromím člověka. V zájmu lidské existence a lidského bezpečí je třeba najít rovnováhu. K tomu je nutné pochopit procesy, rozumět předmětné technologii a také rozumět lidem.

Rizika dělíme na: dílčí (vztahují se k jednomu aktivu); integrovaná (součet dílčích rizik); a integrální (celkové, které zahrnuje i propojení mezi aktivy) [3,4]. Jak ukazuje práce [4] integrální riziko s ohledem na vazby a toky v systému a jeho okolí a na dynamický vývoj světa je dané vztahem

$$R(H) = \left[\sum_{i=1}^n A_i(H) Z_i(H) + \sum_{i=1}^n \int_0^T \int_S F(H, A_i, P_i, O, t) dS dt \right] \cdot \tau^{-1},$$

ve kterém H je ohrožení spojené s danou pohromou v místě objektu; A_i jsou hodnoty sledovaných aktiv pro $i = 1, 2, \dots, n$; Z_i jsou zranitelnosti aktiv pro $i = 1, 2, \dots, n$; F je ztrátová funkce; P_i jsou pravděpodobnosti výskytu poškození aktiv pro $i = 1, 2, \dots, n$ – jde o podmíněné pravděpodobnosti; O zranitelnost ochranných opatření; S velikost sledovaného objektu; t je čas měřený od vzniku škodlivého jevu; T je čas, po který vznikají ztráty; a τ je perioda opakování pohromy. Vztah navíc v praxi nelze použít, protože dosud neznáme tvar ztrátové funkce. Z dosavadního poznání vyplývá, že předmětná funkce je proměnná jak s místem, tak s časem; v dostupné literatuře nebyl nalezen obecný tvar a publikované prostorové modely jsou platné jen pro konkrétní případy, na jejichž základě byly sestaveny. Dostupné modely obvykle ukazují vysoké ztráty v místech, ve kterých je mnoho lidí a v místech, ve kterých vzniknou velké ekonomické škody.

Nejjednodušší způsob pro odhad ztrát je sestavit situační plán území / anebo technického díla a jeho okolí [1-4,13], tj. scénář, a podle rozložení aktiv a jejich zranitelnosti odhadnout očekávané ztráty [2]; např. osvědčený vzorec pro stanovení počtu poškozených osob je

$$N = S \cdot h \cdot f$$

ve kterém S je zasažené území v ha, h je hustota zalidnění daná počtem osob na ha, f je korelační faktor, když je obydlena jen část území. Tabulka 1 ukazuje příklad stupnice, převzatý z práce [2], kterou používá FEMA při hodnocení ztrát na dalších aktivech.

Tabulka 1. Pomocná stupnice pro posouzení přijatelnosti rizika na základě dopadů pohromy.

Nemoc – úraz	Ztráta na majetku / zařízení	Čas potřebný na nápravu dopadů	Ekonomická ztráta zařízení [\$]	Environmentální dopad
Úmrtí nebo totální trvalá nezpůsobilost	Ztráta systému, podstatné poškození nemovitostí	> 4 měsíce	> 1 milión	Dlouhodobé poškození životního prostředí (5 roků a více), nebo potřeba více než 1 mil. \$ pro nápravu (nebo pokutu)

Trvalá částečná nezpůsobilost; dočasná úplná nezpůsobilost (nad 3 měsíce)	Podstatné poškození systému; významné poškození nemovitostí	2 týdny až 4 měsíce	250 tis. – 1 mil.	Střednědobé poškození životního prostředí (1-5 roků), nebo potřeba 250 tis.-1 mil. \$ pro nápravu (nebo pokutu)
Menší úraz; Ztráta pracovní směny; Odškodné za úraz nebo nemoc	Menší poškození systému; menší poškození nemovitostí	1 den až 2 týdny	1–250 tis.	Krátkodobé poškození životního prostředí (< 1 rok), nebo potřeba 1 tis. - 250 tis. \$ pro nápravu (nebo pokutu)
První pomoc nebo menší lékařské ošetření	Menší defekty systému	< 1 den	< 1 tis.	Nepatrné poškození životního prostředí, lehce napravitelné, vyžadující < 1 tis. \$ pro nápravu (nebo pokutu).

Tímto způsobem se vyhodnotí i přídavné ztráty způsobné domino efekty, které matematické modely neodhalí.

3. PŘÍČINY RIZIK VZNIKLÉ PŘI PROJEKTOVÁNÍ A ZHOTOVENÍ TECHNICKÝCH DĚL

Pro ZSMR nejsou zatím dostatečné údaje, a tak jsme použili údaje pro technická díla, do kterých patří. Na základě kritické analýzy dat a údajů o více než 500 haváriích a selháních, u kterých se vyskytly příčiny spojené se sledovanou fází technického díla [7] byly zjištěny příčiny selhání sledovaného procesu: věcné chyby při projektování; věcné chyby při zhotovení stavby; věcné chyby při konstrukci a montáži technickým vybavením; chyby při testech; chyby při spuštění; nedodržení požadavků legislativy a norem; chyby v dozoru zhotovitele; chyby v dohledu státní správy; chyby v organizační oblasti na straně veřejné správy; chyby v organizační oblasti na straně zhotovitele a investora; nedokonalosti či chyby v použitých nástrojích IT; chyby v dohledu veřejné správy; nedostatky v kontrolní pravomoci veřejné správy; špatná vynutitelnost práva; opomenutí faktorů z oblasti ekonomiky, ekologie a sociální.

Konkrétní zjištěné příčiny selhání a havárií technických děl, které byly nalezeny v procesu zahrnujícím projektování, zhotovení a uvádění do provozu, jsou opomenutí, chyby a nedostatky při:

1. *Projektování technického díla – věcná oblast:*

- chyby v zadávacích podmínkách (nepoužit postup All Hazard Approach – tj. zanedbání některých možných pohrom možných v lokalitě; nesprávně stanovená velikost ohrožení (podcenění velikosti pohrom – např. jen aplikací deterministických anebo pravděpodobnostních metod; tj. nepoužití teorií dovolujících stanovení extrémů z důvodu nepravděpodobnosti a řídkosti výskytu extrémních jevů),
- chyby v projektu (pro výpočty použit nevhodný model stavby s ohledem na podmínky v lokalitě, a to buď příliš teoretický, nebo obecný či neměl vypořádané nejistoty a neurčitosti; nezpracován správně princip Defence-in-depth)
- nezhodování zranitelnosti lokality (např. velké množství obyvatel, existenci objektů jako jsou nemocnice, školy apod.; nedostatečně kapacitní zdroje energie, vody a kanalizace, nedostatečná kapacita dopravních cest, nedostatek personálu k obsluze apod.),

- neurčení kritických míst stavby, a tudíž nepřijetí opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, tj. k zajištění jejich spolehlivosti a zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy),
- neurčení kritických míst technologie a výrobních procesů, a tudíž nepřijetí opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, ochraně a k zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy, principy ke zvýšení bezpečnosti),
- nebyla určena a v projektu zvážena a odpovídajícím způsobem řešena kritická místa technologie (tlaková zařízení, ve kterých jsou nebezpečné látky, anebo v nich probíhají nebezpečné reakce či natlakovaná potrubí, hlavně tas s nebezpečnými látkami) a místa, ve kterých je nebezpečí selhání obsluhy z pohledu možných rizik,
- nedodržení norem a přístupů dobré praxe či použití chybných norem, což způsobilo, že v projektu navrženy: nevhodné materiály; nevhodné technické principy; nevhodné postupy výstavby; nevhodné postupy konstrukce; nebyly stanoveny kritické procesy výstavby a konstrukce a navržena specifická opatření pro jejich kvalitní provedení; zařízení, stroje, komponenty a systémy nesplňovaly požadavek na bezpečnost, spolehlivost a dlouhodobou funkčnost, tj. trvanlivost a snadnou ovladatelnost zařízení a procesů; nerespektovány ergonomické požadavky obsluhy, nároky servisu, údržbu a finanční náklady s nimi spojené; nevhodné umístění ochranných zařízení a systémů na podporu bezpečnosti; nevhodné technologie výstavby, konstrukcí a montáže,
- při vytváření projektu automatických a poloautomatických systémů řízení byly nedostatky způsobené nedostatečným poznáním nebo nedostatečnou spoluprací specialistů z různých oborů či použitím chybných nebo nedokonalých nástrojů IT,
- nezpracování technických opatření pro základní fyzickou a kybernetickou ochranu technického díla,
- nezávažování možností změn v: zákonech během výstavby; systému daní během výstavby; systému úroků během výstavby; situaci na trhu – inflace, deflace, změny poptávky aj.; podpory technického díla ze strany státu (např. při změně politické reprezentace); dodávkách zásadních materiálů a technologií a spoléhalo se jen na jednoho dodavatele, což vedlo k problémům při výstavbě a provozu – např. z nedostatku financí či nedostupnosti daného materiálu pak byly ošizeny některé stavby a vybavení.

2. ***Stavba technického díla – věcná oblast:***

- stavba zahájena bez dostatečné přípravy,
- nedodržení norem a přístupů dobré praxe, což způsobilo volbu chybné technologie výstavby (nevhodný materiál, nevhodný harmonogram prací, což se odrazilo v častých prostojích, prodlužování výstavby a v růstu finančních nákladů; chaos na pracovišti),
- špatné provedení stavebních prací u kritických staveb způsobený nedostatkem prostředků jako: nedostatek nástrojů a materiálů; zastaralá dokumentace či nevhodné pracovní podmínky.

3. ***Konstrukce a montáž technického díla – věcná oblast:***

- montáže zahájeny bez dostatečné přípravy (např. nebylo určeno rozmístění kabelových hlav na stěně),
- nedodržení norem a přístupů dobré praxe, což umožnilo chybné nebo vadné postupy, které způsobily: vadné konstrukce tlakových nádob, ventilů a přípojek; špatné provedení těsných spojení šrouby; vadné svary,
- chybný harmonogram prací, což se odrazilo v častých prostojích, prodlužování výstavby a v růstu finančních nákladů a v chaosu na pracovišti.

4. ***Testování staveb a technologie technického díla – věcná oblast:***

- nesestavení přesného harmonogramu prací,

- nesestavena stupnice na hodnocení kritičnosti kritických zařízení,
 - neurčení přesných podmínek pro najíždění a odstavování kritických zařízení, kterými jsou např. tlaková zařízení, systémy pro podporu bezpečnosti, systémy pro zajištění bezpečnosti apod.
 - nekvalitně provedené testy kritických strojů, zařízení, komponent a systémů, např. opomenutí zkoušek těsnosti u tlakových zařízení nebo potrubních systémů natlakovaných nebezpečnými látkami,
 - použití chybných nebo nevhodných metod pro testy potřebné pro ověření spolehlivosti a bezpečnosti; např. nesprávně zvolené testy pro nedestruktivní testování,
 - nedodržení norem a přístupů dobré praxe (nedostatečné znalosti, opomenutí, lidské selhání),
 - použití chybných nebo nedokonalých nástrojů IT při ověřování výsledků testů (založených např. na stromových modelech, které nemají schopnost posoudit velikost specifických rizik, např. selhání technologického procesu kvůli současné vícenásobnému selhání několika kritických komponent např. v důsledku vnějších pohrom).
5. **Zkušební provoz technického díla – věcná oblast:**
- použití chybných postupů,
 - nesestavení přesného harmonogramu prací (chaos, uspěchanost),
 - nedodržení norem a přístupů dobré praxe (nedostatečné znalosti, uspěchanost), tj. nekvalitně provedený zkušební provoz strojů, zařízení, komponent a systémů,
 - nebyly provedeny průkazy bezpečnosti, tj. prověření, zda u všech kritických zařízení jsou opatření na zvládnutí poruch funkční a dostatečně účinná.
6. **Spouštění (uvedení do trvalého provozu) technického díla – věcná oblast:**
- nedodržení norem a přístupů dobré praxe (nedostatečné znalosti, uspěchanost),
 - nesestavení přesného harmonogramu prací (chaos, uspěchanost),
7. **Dohled veřejné správy nad projektováním a zhotovováním technického díla – organizační oblast:**
- nedostatečný dohled veřejné správy, např. nevyžadovala dokumentaci o průkazu bezpečnosti technického díla (tj. v českém slangu bezpečnostní dokumentaci) ve všech důležitých výše zmíněných sledovaných šesti etapách technického díla,
 - zanedbání řešení dostatečné kapacity místních zdrojů energie, vody a kanalizace, dopravních cest a personálu při umístění a projektování technického díla,
 - dovolena významná kontaminace životního prostředí a dlouhodobé narušení života místních obyvatel při výstavbě,
 - zanedbání posouzení finanční schopnosti zhodnotitele a investora při udělování příslušných povolení.
8. **Dozor zhotovitele a investora technického díla nad projektováním a zhotovováním díla – organizační oblast:**
- nedostatečný dohled, tj. nesestavování průkazu bezpečnosti technického díla (tj. v českém slangu bezpečnostní dokumentaci) ve všech důležitých výše zmíněných sledovaných šesti etapách technického díla,
 - podcenění řízení bezpečnosti,
 - podcenění faktorů z oblasti ekonomiky (finance),
 - podcenění faktorů z oblasti životního prostředí,
 - podcenění faktorů z oblasti sociální (potřeby místní populace).
9. **Nedostatečná legislativa:**
- nedostatečná kontrolní pravomoc veřejné správy,

- nedostatečná legislativa upravující požadavky na projektování, zhotovení a uvedení do provozu technických děl (příliš obecná, neúplná, dovoluje několikerý výklad),
- nedostatečná vynutitelnost práva na úseku bezpečnosti, ochrany zaměstnanců, ochrany veřejnosti a životního prostředí.

10. Jiné:

- stát neměl zajištěnu odbornou instituci, která byla schopna odborně posoudit proces zhotovení technického díla po všech stránkách,
- uspěchanost při projektování a výstavbě kvůli tlaku politiků,
- stát neměl vypracován systém dohledu nad projektováním a zhotovováním technických děl,
- stát neměl kritéria na posuzování správnosti projektování a zhotovování technických děl,
- zhotovitel a investor během projektování a zhotovování technického díla nespolupracovali s veřejnou správou,
- zemětřesení,
- sesuv,
- povodeň,
- požár.

Příčiny narušení koexistence způsobené u technického díla chybným provedením procesu projektování, zhotovení a spouštění technického díla jsou znázorněny na obrázku 1.



Obr. 1. Příčiny selhání koexistence technického díla a jeho okolí z důvodu nedostatků či chyb při projektování, zhotovení a spouštění technického díla do provozu.

Z obrázku 1 vyplývá, že hlavní příčiny narušení koexistence způsobené chybným provedením procesu projektování, zhotovení a uvedení do provozu technického díla jsou především spojeny se znalostmi a chováním zhotovitelů a investorů, a také orgánů veřejné správy, které řídí území, povolují a dozorují technická díla v území, což potvrzuje závěry uvedené v pracích [1,6]. Z pohledu úplnosti je třeba uvést, že v řadě případů se uplatnily i neurčitosti, které jsou způsobeny dynamickým vývojem světa, který nemá lidstvo pod kontrolou.

4. SHRUTÍ PRINCIPŮ POUŽITÝCH PŘI SESTAVENÍ DSS PRO ZSMR

V zájmu lidské společnosti i investujících subjektů je zhotovovat bezpečné ZSMR, která jsou zhotovena za přijatelných nákladů a plní spolehlivě úkoly po celou dobu životnosti, a proto je nutné kvalifikovaně rozhodovat při projektování, zhotovení a spouštění ZSMR do provozu v zásadních otázkách, ve kterých se rozhoduje o koexistenci mezi ZSMR a jeho okolím. Kromě respektování legislativy, norem a přístupů dobré praxe je třeba správně řídit a vypořádat rizika. To znamená správně zohlednit během sledovaného procesu odpovědi na otázky:

- co se může porouchat či co může nefungovat (tj. identifikovat a analyzovat nebezpečí),
- jak vážné mohou být následky těchto poruch či nefunkčnosti (tj. provést hodnocení rizika),
- jaká opatření musí být přijata, aby k tomu nedošlo (tj. řídit rizika),
- co je třeba provést, když to nastane porucha, nehoda, havárie, selhání (tj. připravit a po všech stránkách zajištění opatření odezvy pro zvládnutí situace).

Pro zajištění bezpečných ZSMR během jejich projektování, zhotovení a spouštění je proto nutno posuzovat možná rizika pro ZSMR také z pohledu dynamického vývoje ZSMR i jeho okolí. Přitom je třeba vycházet jak z historických dat, tak z modelů možných procesů sestavených na základě prediktivních případových studií či analogií v podobných technických dílech [1-8].

Z hlediska poznání pro projektovaná a zhotovovaná ZSMR [6,7] jde o:

- určení velikosti prioritních rizik, která lze ve sledované fázi správně ovlivnit z pohledu bezpečnosti a koexistence ZSMR s okolím po celou dobu životnosti ZSMR,
- rozřídění rizik do kategorií: přijatelné riziko; podmíněně přijatelné riziko, u kterého se navrhnou nutná opatření preventivní, zmírňující, reaktivní a obnovovací; a nepřijatelné riziko, u kterého se navrhnou buď vyhnoutí, je-li to možné (např. výběr jiného materiálu, jiné technologie apod.), anebo další opatření, která sníží jeho realizovatelnost nebo jeho dopad (principy inherentní bezpečnosti, ochranná opatření, bariéry apod.), či se do ZSMR vloží systémy a zařízení, které zajistí účinnou odezvu na kritické situace (např. sprchové systémy, hasící přístroje) a stanoví se požadavky, které musí respektovat nouzové plány a plány kontinuity během provozu [2] (tj. jsou vyžadovány vyšší znalosti, vyšší technické vybavení, vyšší náklady, vyšší připravenost lidských zdrojů).

Dle současného poznání [1,4,6-8] jsou při rozhodování o rizicích a bezpečnosti důležité zejména následující dovednosti:

1. Rozumět procesu **vzniku** pohrom (tj. škodlivých jevů všeho druhu) a podmínkám, ve kterých proces vzniku pohrom probíhá.
2. Znat, kde pohroma může vzniknout a jaké má fyzikální a jiné charakteristiky.
3. **Identifikovat** ohrožení od pohromy dle stanovených standardů.
4. Stanovit **dopady** pohrom o velikosti ohrožení na chráněná aktiva veřejná i samotného technického díla (tj. v našem případě ZSMR).
5. **Eliminovat** nepřijatelné dopady pohrom tam, kde to jde za přijatelných nákladů.
6. U zbylých dopadů vypočítat pomocí **prognostických** modelů pravděpodobnost jejich realizace s tím, že se vezmou v úvahu i možná selhání preventivních opatření.
7. Vypočítat možné škody na chráněná aktiva v konkrétním území podle seznamu veřejných chráněných aktiv, která jsou skutečně v území a na základě pravděpodobností výskytu určit výši celkového rizika.
8. Identifikovat a realizovat zmírňující opatření s ohledem na lidi, majetek a životní prostředí tak, aby splňovala požadavek ALARP (tak malá, jak je rozumně možné dosáhnout).

9. Prokázat, že byla provedena všechna opatření k zabránění a zmírnění dopadů všech možných pohrom.

Při stanovení kritérií pro posuzování rizika spojeného se *ZSMR* za podmínky, že po celou dobu životnosti musí být zajištěna koexistence *ZSMR* s okolím, zvažujeme zásady pro řízení rizik uvedené v práci [1] i princip odpovědnosti, který je běžný v Evropě [14], což znamená, že odpovědnost za bezpečnost *ZSMR*, tj. za úroveň práce s riziky spojenými se *ZSMR*, má vlastník (v době projektování, výstavby, testování a uvedení do provozu investor) i veřejná správa. Předmětný požadavek je logický i z důvodu, že problémy *ZSMR* znamenají nejen ztrátu výroby elektrické energie, ale i ztrátu daní pro veřejnou správu, výdaje způsobené nedostatkem elektrické energie a sociální problémy, např. zvýšenou kriminalitu.

S ohledem na požadavek české legislativy (zákon č. 183/2006 Sb.), která zvažuje dva milníky, a to:

- udělení stavebního povolení na základě projektové dokumentace pro *ZSMR*,
- vydání kolaudačního rozhodnutí na základě dokumentace k provozu *ZSMR*,

rozdělíme hodnocení koexistence *ZSMR* s okolím na dva případy. První je veden jako podklad pro udělení stavebního povolení, a druhý jako podklad pro získání kolaudačního rozhodnutí. V obou případech jsou nástroje koncipovány tak, že je může použít jak zhotovitel, tak veřejná správa.

5. DSS PRO POSOUZENÍ KOEXISTENCE *ZSMR* S OKOLÍM V SOUVISLOSTI S UDĚLENÍM STAVEBNÍHO POVOLENÍ

Na základě poznatků o projektování technických děl shrnutých v pracích [1,2,6,7] a skutečnosti, že stavební povolení dle stavebního zákona č. 183/2006 Sb. je udělováno na základě projektové dokumentace, je autory sestaven kontrolní seznam pro hodnocení rizik spojených se sestavením této dokumentace [4], tabulka 2 s filozofií, čím vyšší riziko, tím nižší je bezpečnost *ZSMR*, což znamená i nízkou míru koexistence *ZSMR* s okolím.

Pro aplikaci v praxi jsou ke kontrolnímu seznamu přiřazeny dvě stupnice: jedna v tabulce 3 pro posuzování vybraných kritérií při použití klasifikační stupnice (0-5) a konceptu „čím vyšší hodnota, tím je vyšší riziko [15], tj. je nižší koexistence *ZSMR* s okolím“; a druhá stupnice pro vyhodnocení celého kontrolního seznamu založeného na principu, který byl zaveden do norem ČSN v 80. letech minulého století [16], tabulka 4.

Tabulka 2. Kontrolní seznam pro posuzování rizika spojeného s koexistencí navrhovaného *ZSMR* a jeho okolí pro potřeby udělení stavebního povolení. Počet kritérií n = 32.

Kritérium	Hodnocení	Pozn.
<p>Míra, v jaké zadávací podmínky <i>ZSMR</i> zpracovává právní subjekt, který má:</p> <ul style="list-style-type: none"> - znalost: předpisů; rizik v lokalitě, do které je <i>ZSMR</i> umístováno; technického systému, který představuje <i>ZSMR</i>; modelů a teorií spojených s nehodami a selháními; metod analýzy, řízení a vypořádání rizik; způsobu řízení provozu objektu (finance, lidské zdroje, organizace, technologie, inovace...), - znalosti a schopnosti pro: uplatňování výsledků metod analýzy a hodnocení rizik; provádění metodiky analýzy a hodnocení rizik přizpůsobené problému; řízení nouzové a krizové; analýzy situací / aktivit / nehod; přeměnu politiky do skutečné akce; přeměnu statistik nehod do akčních plánů; strategické plánování; hierarchizaci problémů; hledání správných informací a poučení; kritickou analýzu; navrhování správných řešení; psanou a mluvenou komunikaci; provádění syntézy a přizpůsobování formule určené pro veřejnost, 		

- etiku.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR mají jasně vymezená aktiva a patří do nich i veřejná aktiva.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR zvažují dopady pohrom dle přístupu All-Hazard-Approach [17], které jsou možné v území.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR vychází ze správně stanovených ohrožení u všech pohrom, které jsou možné v daném území a mají škodlivý potenciál; např. u živelních pohromy jsou z důvodu řídkého a nepravidelného výskytu velkých jevů využita i historická data. U zvláště závažných pohrom se neomezují jen na pravděpodobnostní přístupy a doplňuje je výsledky vhodných metod, které mají schopnost odhalit extrémní jevy.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR zvažují místní a popř. i regionální zranitelnosti: - anomálie a nehomogenity geologické stavby, - velké množství obyvatel, - skutečnost, že v okolí jsou nemocnice, školy či další veřejné budovy. - skutečnost, že v okolí jsou zdroje domino efektů, tj. sklady či produkto- vody s nebezpečnými látkami, stanice pohonných hmot apod. - nedostatečně kapacitní zdroje energie, - nedostatečně kapacitní zdroje vody, - nedostatečná kanalizace, - nedostatečná dopravní obslužnost, - chráněné přírodní rezervace.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR zvažují všechna rizika spojená se závažnými pohromami a všem zranitelnostmi v území.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR jasně vymezují zařízení a systémy, u kterých je nutné vypořádat rizika s cílem zajistit: - spolehlivost, - zabezpečení, - bezpečnost. Podle stanoveného cíle stanovují limity a podmínky pro provoz zařízení a systémů a jejich zálohy v dostatečném počtu.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR jsou posouzeny kvalifikovanými experty.		
Míra, v jaké projekt ZSMR zohledňuje výsledky expertního posouzení zadávacích podmínek.		
Míra, v jaké projekt ZSMR je organizován přehledně tak, aby bylo možno jednoduše ovládat ZSMR a mít systém řízení bezpečnosti.		
Míra, v jaké projekt ZSMR respektuje velikosti kritičnosti spojené s prioritními pohromami (kombinace velikosti ohrožení, zranitelnosti a velikosti dopadů na aktiva), včetně lidských selhání a navrhuje opatření k zajištění bezpečnosti; přitom se opírá o posouzení, zda navržená opatření nemohou být zdrojem nových nebezpečí, a tam, kde nelze vypořádat (např. neznalost či příliš velké náklady) navrhuje opatření technická, v řídicích systémech či organizační.		
Míra, v jaké projekt ZSMR zvažuje ochranu veřejných aktiv i aktiv ZSMR.		
Míra, v jaké projekt ZSMR vychází z platné legislativy a norem. Jde o výběr materiálů, výběr výpočetních metod, návrh technických principů a postupů při stavbě, konstrukci a montáži i uvedení do provozu.		
Míra, v jaké projekt ZSMR používá v případech, které nejsou kodifikovány normami přístupy dobré praxe při stavbě, konstrukci a montáži.		
Míra, v jaké projekt ZSMR s ohledem na bezpečnost sleduje při výběru zařízení a jejich spojování požadavky na: trvanlivost; ovladatelnost zařízení a procesů; životnost; lidské zdroje; náklady; technické služby; a servis.		
Míra, v jaké projekt ZSMR s ohledem na bezpečnost používá: principy inherentní bezpečnosti; systémy pasivní bezpečnosti; systémy aktivní bezpečnosti; a procedurální postupy, které jsou osvědčené, anebo důkladně prověřené tak, aby neobsahovaly latentní zdroje nebezpečí za možných podmínek.		

Míra, v jaké projekt ZSMR s ohledem na bezpečnost má opatření, které vyvolá nouzové odstavení kritických zařízení a převedení do bezpečného stavu, např. systémy s nouzovým vypnutím nebo zastavením reakce.		
Míra, v jaké projekt ZSMR stanovuje kritické procesy výstavby a konstrukce a navrhuje opatření ke snížení jejich kritičnosti. Obsahuje technická i organizační opatření na zajištění dostatečné resilience.		
Míra, v jaké projekt ZSMR navrhuje ve shodě se zadávacími podmínkami požadavky na zařízení a systémy, u kterých je nutné vypořádat rizika s cílem zajistit: - spolehlivost, - zabezpečení, - bezpečnost.		
Míra, v jaké projekt ZSMR vychází ze správného hodnocení rizik zacíleného na bezpečnost celého ZSMR.		
Míra, v jaké projekt ZSMR vychází ze systémového pojetí ZSMR a jeho okolí, a proto při zajištění bezpečnosti všech aktiv zvažuje vazby a spřažení mezi aktivy, a to žádané i nežádané a z důvodu zvládnutí nepřijatelných propojení, které lze očekávat při výskytu jiných podmínek než normálních, má uspořádánu architekturu tak, aby umožnila v řízení aplikovat přístup ochrany do hloubky (Defence-In-Depth) [18].		
Míra, v jaké projekt ZSMR zvažuje kritická místa ZSMR a obsahuje správná opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, tj. k zajištění jejich spolehlivosti a zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy ke zvýšení bezpečnosti).		
Míra, v jaké projekt ZSMR zvažuje kritická místa technologie a výrobních procesů, a přijímá opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, tj. k jejich spolehlivosti a zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy, principy ke zvýšení bezpečnosti).		
Míra, v jaké projekt ZSMR zvažuje vysoce kritická zařízení (tlaková zařízení, natlakovaná potrubí – zvláště těch s vysoce nebezpečnými látkami) a k zajištění jejich bezpečnosti používá speciální opatření, speciální ochranné systémy (systémy pro zajištění bezpečnosti a systémy podporující bezpečnost) a navrhuje specifické limity a podmínky pro provoz.		
Míra, v jaké projekt ZSMR zvažuje všechna rizika spojená se závažnými pohromami a všem zranitelnostmi v území v systémovém pojetí (tj. i rizika spojená se vzájemnými propojeními žádoucími, a to trvalými i dočasnými, a i nežádoucími, která mohou nastat jen za určitých podmínek (např. při výskytu vnějších pohrom nebo chyb obsluhy, anebo útoku insidera), a obsahuje vhodná opatření technická a organizační, aby byly sníženy možné dopady.		
Míra, v jaké projekt ZSMR věnuje z důvodu zajištění bezpečnosti i výkonu speciální pozornost systému řízení. Systém řízení ve formě manuální, poloautomatické i automatické pomocí IT je hierarchický a založený na řízení rizik, která jsou možná za podmínek normálních, abnormálních a kritických – je více úrovněový a respektuje princip Defence-In-Depth [18]. Součástí jsou i návrhy opatření pro řízení nouzových a kritických situací.		
Míra, v jaké projekt ZSMR obsahuje technická opatření pro základní fyzickou a kybernetickou ochranu ZSMR.		
Míra, v jaké projekt ZSMR bere v úvahu vlastnická práva třetích osob; možné změny v zákonech či systému daní a situace na trhu (např. je nebezpečné opírat se o dodávky kritických položek jen o jednoho dodavatele) během zhotovení ZSMR, a pro tyto případy obsahuje rezervy na snížení případných takto vzniklých příčin budoucích ztrát a škod.		
Míra, v jaké finanční náklady na zhotovení ZSMR, uvedené v projektu jsou adekvátní.		
Míra, v jaké veřejná správa zajistila posouzení projektu ZSMR požadované platnou legislativou.		
Míra, v jaké projekt ZSMR zohlednil výsledky odborného posouzení projektu ZSMR experty.		
Míra, v jaké projekt ZSMR zohlednil výsledky připomínek veřejnosti k projektu ZSMR.		

Tabulka 3. Hodnotová stupnice pro určení míry rizika, které navrhované ZSMR znamená pro své okolí; navržena analogicky ke stupnicím uvedeným v práci [16]; p – roční pojištění, ABT – roční rozpočet území.

Oblast	Míra rizika	
	Klasifikace	Komentář
Sociální	0	Havárií či selháním ZSMR je postiženo do 50 lidí
	1	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 50-500 lidí
	2	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 500-5000 lidí
	3	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 5000–50 000 lidí
	4	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 50 000– 500 000 lidí
	5	Havárií či selháním ZSMR je postiženo nad 500 000 lidí
Technická a ekonomická	0	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody do 0.5 p
	1	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody rovné p
	2	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody větší než p a menší než 0.05 BT
	3	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody mezi 0.05 ABT–0.075 ABT
	4	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody mezi 0.75 ABT–0.1 ABT
	5	Havárie ZSMR způsobí škody větší než 0.1 ABT
Životní prostředí	0	Havárie či selhání ZSMR způsobí malé poškození životního prostředí
	1	Havárie ZSMR způsobí poškození životního prostředí, které vyrovná příroda během času
	2	Havárie či selhání ZSMR způsobí mírné poškození neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací
	3	Havárie či selhání ZSMR způsobí střední poškození neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací
	4	Havárie či selhání ZSMR způsobí nevratné poškození neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací
	5	Havárie či selhání ZSMR způsobí devastace krajiny neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací

Tabulka 4. Hodnotová stupnice pro určení míry rizika ZSMR; N = pětinasobku počtu kritérií v tabulce 1 tj. N = 160.

Míra rizika koexistence ZSMR a okolí	Hodnoty v % N
Extrémně vysoká – 5	Více než 95 %
Velmi vysoká – 4	70–95 %
Vysoká – 3	45–70 %
Střední - 2	25–45 %
Nízká – 1	5–25 %
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %

Hodnocení konkrétního případu dle tabulky 2 musí dělat tým specialistů z různých odborů nezávisle; v praxi se osvědčil tým [19,20] složený z:

- pracovníka veřejné správy odpovědného za územní plánování,
- pracovníka veřejné správy odpovědného za výstavbu a provoz technických děl,
- zástupce ZSMR,
- zástupce odborné instituce pro posuzování bezpečnosti technických děl – SÚJB a z technické inspekce,
- zástupce Integrovaného záchranného systému.

Výsledná hodnota u každého kritéria je medián, přičemž v případě velkého rozptylu hodnot u některého kritéria je třeba, aby pracovník veřejné správy odpovědný za územní plánování zajistil další šetření, na kterém každý hodnotitel sdělí zdůvodnění svého hodnocení v předmětném případě a na základě panelové diskuse nebo brainstormingu se určí výsledné hodnocení.

Na základě moderního přístupu, který jsme použili již v práci [6] a v souladu s pracemi [21-24] zvažujeme v daných souvislostech tolerovatelné riziko, které je vyjádřené principem ALARP (as low as reasonable possible) [3,4,16,25], tj. případ, kdy dané ZSMR má přínosy a zároveň jsou s ním spojené dopady (ztráty, škody a újmy na chráněných aktivech), které ZSMR i jeho okolí zvládnou pomocí *soustavného řízení rizik zacíleného na bezpečnost*. Hranici tolerance (tj. rozhraní mezi tolerovatelným a nepřijatelným rizikem) určujeme jako kvantitativní vlastnost [11], kterou používají např. OSN a Swiss Re [3], a to hranice nepřijatelnosti je desetina užité hodnoty technického díla.

Na základě uvedeného požadavku v souladu s pracemi [26-33] při použití integrovaného přístupu a dalších předpokladů, které jsou uvedeny výše, dostaneme podmínku pro nejvyšší možné roční ztráty ZSMR způsobené realizací rizik *RZTD* ve tvaru

$$RZTD < 0.1 \sum_{i=1}^n \frac{k_i HTD}{5 T}, \quad (1)$$

kde *HTD* je užitná hodnota ZSMR, k_i jsou výsledná hodnocení zdrojů rizik v tabulce 1, n je počet zdrojů rizik v tabulce 1 (tj. v daném případě $n = 32$) a T je životnost ZSMR. Jestliže podmínka daná rovnicí (1) není splněna, tak riziko není tolerovatelné, tj. není zajištěna koexistence a realizace ZSMR by neměla být dovolena, tj. měla by být vyžádána buď nová varianta, anebo další opatření vedoucí ke snížení rizik, a poté další posouzení návrhu. Při splnění požadavku daného rovnicí (1) lze pokračovat v hodnocení.

Při rozhodování o udělení stavebního povolení pro ZSMR z pohledu požadavku na zajištění koexistence je nutné, aby ZSMR nebylo ztrátové pro území ani při provozu. Proto další podmínku pro posouzení míry koexistence dostaneme při vyhodnocení přínosů ZSMR dle tabulky 5 s pomocí tabulek 6 a 7.

Tabulka 5. Kontrolní seznam pro posuzování přínosu ZSMR pro okolí. Počet kritérií $n = 10$.

Kritérium	Hodnocení	Pozn.
Realizované ZSMR zvýší vzdělanost populace v území.		
Realizované ZSMR zvýší možnost zaměstnání populace v území.		
Realizované ZSMR dílo zvýší úroveň služeb v území.		
Realizované ZSMR zvýší veřejné blaho v území.		
Realizované ZSMR přispěje k rozvoji základních infrastruktur v území.		
Realizované ZSMR zvýší prestiž území.		
Realizované ZSMR přispěje ke kulturnímu rozvoji území.		
Realizované ZSMR zlepší situaci v sociální oblasti v území (dle pomocné tabulky 5).		
Realizované ZSMR zlepší situaci v oblasti technické a ekonomické v území (dle pomocné tabulky 6).		
Realizované ZSMR zlepší situaci v oblasti ochrany životního prostředí a veřejného blaha v území (dle pomocné tabulky 6).		

Tabulka 6. Hodnotová stupnice pro určení míry přínosu, který navrhované ZSMR znamená pro své okolí; navržena analogicky ke stupnicím uvedeným v práci [16]; *ABT* – roční rozpočet území.

Oblast	Míra přínosu	
	Klasifikace	Komentář
Sociální	0	ZSMR prospěje méně než 50 lidem.
	1	ZSMR prospěje 50-500 lidem.
	2	ZSMR prospěje 500-5000 lidem.
	3	ZSMR prospěje 5000–50 000 lidem.
	4	ZSMR prospěje 50 000–500 000 lidem.
	5	ZSMR prospěje více než 500 000 lidem.
	0	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.005 ABT.

Technická a ekonomická	1	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.005-0.01 ABT.
	2	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.01-0.025 ABT.
	3	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.026-0.05 ABT.
	4	ZSMR přinese do rozpočtu území až 0.05-0.075 ABT.
	5	ZSMR přinese do rozpočtu území více než 0.075 ABT.
Životní prostředí a veřejné blaho	0	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou menší než 500 Kč ročně
	1	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 500–5000 Kč ročně
	2	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 5000–50 000 Kč ročně
	3	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 50 000–500 000 Kč ročně
	4	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 500 000–5 000 000 Kč ročně
	5	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou větší než 5 000 000 Kč ročně

Tabulka 7. Hodnotová stupnice pro určení míry přínosu navrhovaného ZSMR pro jeho okolí; N je číslo rovné pětinašobku počtu kritérií v tabulce 4, tj. N = 50.

Míra přínosu ZSMR pro okolí	Hodnoty v % N
Extrémně vysoká – 5	Více než 95 %
Velmi vysoká – 4	70–95 %
Vysoká – 3	45–70 %
Střední - 2	25–45 %
Nízká – 1	5–25 %
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %

Na základě zkušeností z praxe a poznatků i příkladů v práci [34] při použití integrovaného přístupu a předpokladu, že všechny přínosy uvedené v tabulce 4 mají stejnou pravděpodobnost výskytu, dostaneme vztah pro stanovení očekávaného ročního výnosu ZSMR **PRZTD** ve tvaru

$$PRZTD = 0.7 \sum_{i=1}^n \frac{k_i CPTD}{5T}, \quad (2)$$

ve kterém **CPTD** je celkový užitný výnos ZSMR po dobu životnosti, k_i jsou jednotlivá hodnocení v tabulce 4, n je počet zdrojů přínosů v tabulce 5 (tj. v daném případě $n = 10$) a T je životnost ZSMR. Očekávaný roční čistý výnos ZSMR **RPTD** pro území určíme dle vztahu

$$RPTD = PRZTD - A - RPNTD, \quad (3)$$

kde A je anuita a **RPNTD** jsou očekávané provozní náklady ZSMR. Podkladem pro rozhodnutí je výsledek rozdílu R mezi dovolenými maximálními ročními ztrátami ZSMR, způsobenými realizací, rizik a očekávanými čistými ročními výnosy, tj.

$$R = RZTD - RPTD. \quad (4)$$

Při posouzení jsou použity hranice přijatelnosti či nepřijatelnosti rizika, které používají např. OSN a Swiss Re [3], a to výše ročního pojistného za chráněná aktiva v území (**PRTD**) a desetina ročního rozpočtu území (**ABT**), který zajišťuje rozvoj v území. Podle tohoto pravidla v praxi porovnáme tři veličiny: rozdíl mezi ročními ztrátami ZSMR způsobené realizací rizik a očekávaným ročním čistým výnosem ZSMR (R), roční pojistné ZSMR (**PRTD**) a roční rozpočet území (**ABT**). Na základě výsledků skórování se určí kategorie, do které patří v daném případě riziko spojené se ZSMR:

$R < PRTD$, tak riziko ZSMR je pro území přijatelné,

$PRTD < R < 0.1 ABT$, tak riziko ZSMR je pro území podmíněně přijatelné (tolerovatelné),

$R > 0.1 ABT$, tak riziko ZSMR je pro území nepřijatelné.

V prvním případě (výnosy jsou větší než ztráty) výhody spojené se ZSMR převážily nevýhody, tj. očekávané ztráty, a lze udělit stavební povolení pro ZSMR s ohledem na koexistenci ZSMR a jeho okolí.

V případě druhém je nutno požadovat další preventivní opatření v řízení ZSMR vedoucí ke snížení rizika a zajistit opatření zmírňující, reaktivní a obnovovací [2,7,10] v rámci soustavného cíleného řízení rizika zacíleného na zajištění bezpečného ZSMR.

V posledním případě, tj. u nepřijatelného rizika, je třeba důkladná úvaha o závěru – v úvahu připadá buď vyhnutí se riziku, tj. odmítnutí projektu ZSMR, anebo vyžádání dalších preventivních a zmírňujících opatření vedoucích ke zvýšení bezpečnosti ZSMR (nutno vyžadovat aplikaci: vyšších znalostí; lepší technické vybavení; vyšší náklady na ochranné systémy; zajištění vyšší připravenosti lidských zdrojů apod.) [1,2,16] a poté provedení nového posouzení koexistence.

6. DSS PRO POSOUZENÍ KOEXISTENCE ZSMR S OKOLÍM V SOUVISLOSTÍ S KOLAUDACÍ ZSMR

Na základě stejných postupů jako v předchozím případě, je autory sestaven kontrolní seznam pro hodnocení rizik spojených s projektováním, zhotovením a spuštěním ZSMR, tabulka 8 s filozofií, čím vyšší riziko, tím nižší je bezpečnost ZSMR, což znamená i nízkou míru koexistence ZSMR s okolím.

Pro aplikaci v praxi jsou ke kontrolnímu seznamu přiřazeny dvě stupnice: jedna v tabulce 9 (stejně jako tabulka 3) pro posuzování vybraných kritérií při použití klasifikační stupnice (0-5) a konceptu „čím vyšší hodnota, tím je vyšší riziko [15], tj. je nižší koexistence ZSMR s okolím“; a druhá stupnice pro vyhodnocení celého kontrolního seznamu založeného na principu, který byl zaveden do norem ČSN v 80. letech minulého století, tabulka 10.

Tabulka 8. Kontrolní seznam pro posuzování rizika spojeného s koexistencí ZSMR a jeho okolí. Počet kritérií n = 90.

Kritérium	Hodnocení	Pozn.
Projektování		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR zpracovává právní subjekt, který má:		
- znalost: předpisů; rizik v lokalitě, do které je ZSMR umístováno; technického systému, který představuje ZSMR; modelů a teorií spojených s nehodami a selháními; metod analýzy, řízení a vypořádání rizik; způsobu řízení podniku (finance, lidské zdroje, organizace, technologie, inovace...),		
- znalosti a schopnosti pro: uplatňování výsledků metod analýzy a hodnocení rizik; provádění metodiky analýzy a hodnocení rizik přizpůsobené problému; řízení nouzové a krizové; analýzy situací / aktivit / nehod; přeměnu politiky do skutečné akce; přeměnu statistik nehod do akčních plánů; strategické plánování; hierarchizaci problémů; hledání správných informací a poučení; kritickou analýzu; navrhování správných řešení; psanou a mluvenou komunikaci; provádění syntézy a způsobilování formulace určené pro veřejnost,		
- etiku.		
Míra, v jaké zadávací podmínky ZSMR mají jasně vymezená aktiva a patří do nich i veřejná aktiva.		

Míra, v jaké zadávací podmínky <i>ZSMR</i> zvažují dopady pohrom dle přístupu All-Hazard-Approach [17], které jsou možné v území.		
Míra, v jaké zadávací podmínky <i>ZSMR</i> vychází ze správně stanovených ohrožení u všech pohrom, které jsou možné v daném území a mají škodlivý potenciál; např. u živelních pohromy jsou z důvodu řídkého a nepravidelného výskytu velkých jevů využita i historická data. U zvláště závažných pohrom se neomezuje jen na pravděpodobnostní přístupy a doplňuje je výsledky vhodných metod, které mají schopnost odhalit extrémní jevy.		
Míra, v jaké zadávací podmínky <i>ZSMR</i> zvažují místní a popř. i regionální zranitelnosti: <ul style="list-style-type: none"> - anomálie a nehomogenity geologické stavby, - velké množství obyvatel, - skutečnost, že v okolí jsou nemocnice, školy či další veřejné budovy. - skutečnost, že v okolí jsou zdroje domino efektů, tj. sklady či produktovody s nebezpečnými látkami, stanice pohonných hmot apod. - nedostatečně kapacitní zdroje energie, - nedostatečně kapacitní zdroje vody, - nedostatečná kapacita odvodu odpadních vod (kanalizace, - nedostatečná dopravní obslužnost, - chráněné přírodní rezervace. 		
Míra, v jaké zadávací podmínky <i>ZSMR</i> zvažují všechna rizika spojená se závažnými pohromami a všemi zranitelnostmi v území.		
Míra, v jaké zadávací podmínky <i>ZSMR</i> jasně vymezují zařízení a systémy, u kterých je nutné vypořádat rizika s cílem zajistit: <ul style="list-style-type: none"> - spolehlivost, - zabezpečení, - bezpečnost. Podle stanoveného cíle stanovují limity a podmínky pro provoz zařízení a systémů a jejich zálohy v dostatečném počtu.		
Míra, v jaké zadávací podmínky <i>ZSMR</i> jsou posouzeny kvalifikovanými experty.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zohledňuje výsledky expertního posouzení zadávacích podmínek.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> je organizován přehledně tak, aby bylo možno jednoduše ovládat <i>ZSMR</i> a mít systém řízení bezpečnosti.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> respektuje velikosti kritičnosti spojené s prioritními pohromami (kombinace velikosti ohrožení, zranitelnosti a velikosti dopadů na aktiva), včetně lidských selhání a navrhuje opatření k zajištění bezpečnosti; přitom se opírá o posouzení, zda navržená opatření nemohou být zdrojem nových nebezpečí, a tam, kde nelze vypořádat (např. neznalost či příliš velké náklady) navrhuje opatření technická, v řídicích systémech či organizační.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zvažuje ochranu veřejných aktiv i aktiv <i>ZSMR</i> .		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> vychází z platné legislativy a norem. Jde o výběr materiálů, výběr výpočetních metod, návrh technických principů a postupů při stavbě, konstrukci a montáži i uvedení do provozu.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> používá v případech, které nejsou kodifikovány normami přístupy dobré praxe při stavbě, konstrukci a montáži.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> s ohledem na bezpečnost sleduje při výběru zařízení a jejich spojování požadavky na: trvanlivost; ovladatelnost zařízení a procesů; životnost; lidské zdroje; náklady; technické služby; a servis.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> s ohledem na bezpečnost používá: principy inherentní bezpečnosti; systémy pasivní bezpečnosti; systémy aktivní bezpečnosti; a procedurální postupy, které jsou osvědčené, anebo důkladně prověřené tak, aby neobsahovaly latentní zdroje nebezpečí za možných podmínek.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> s ohledem na bezpečnost má opatření, které vyvolá nouzové odstavení kritických zařízení a převedení do bezpečného stavu, např. systémy s nouzovým vypnutím nebo zastavením reakce.		

Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> stanovuje kritické procesy výstavby a konstrukce a navrhuje opatření ke snížení jejich kritičnosti. Obsahuje technická i organizační opatření na zajištění dostatečné resilience.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> navrhuje ve shodě se zadávacími podmínkami požadavky na zařízení a systémy, u kterých je nutné vypořádat rizika s cílem zajistit: - spolehlivost, - zabezpečení, - bezpečnost.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> vychází ze správného hodnocení rizik zacíleného na bezpečnost celého <i>ZSMR</i> .		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> vychází ze systémového pojetí <i>ZSMR</i> a jeho okolí, a proto při zajištění bezpečnosti všech aktiv zvažuje vazby a spřažení mezi aktivy, a to žádané i nežádané a z důvodu zvládnutí nepřijatelných propojení, které lze očekávat při výskytu jiných podmínek než normálních, má uspořádánu architekturu tak, aby umožnila v řízení aplikovat přístup ochrany do hloubky (Defence-In-Depth) [18].		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zvažuje kritická místa stavby a obsahuje správná opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, tj. k zajištění jejich spolehlivosti a zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy ke zvýšení bezpečnosti).		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zvažuje kritická místa technologie a výrobních procesů, a přijímá opatření na základě vyhodnocení rizik k jejich bezpečnosti, tj. k jejich spolehlivosti a zachování provozuschopnosti za abnormálních a kritických podmínek (bariéry, zálohy, principy ke zvýšení bezpečnosti).		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zvažuje vysoce kritická zařízení (tlaková zařízení, natlakovaná potrubí – zvláště těch s vysoce nebezpečnými látkami) a k zajištění jejich bezpečnosti používá speciální opatření, speciální ochranné systémy (systémy pro zajištění bezpečnosti a systémy podporující bezpečnost) a navrhuje specifické limity a podmínky pro provoz.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zvažuje všechna rizika spojená se závažnými pohromami a všem zranitelnostmi v území v systémovém pojetí (tj. i rizika spojená se vzájemnými propojeními žádoucími, a to trvalými i dočasnými, a i nežádoucími, která mohou nastat jen za určitých podmínek (např. při výskytu vnějších pohrom nebo chyb obsluhy, anebo útoku insidera), a obsahuje vhodná opatření technická a organizační, aby byly sníženy možné dopady.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> věnuje z důvodu zajištění bezpečnosti i výkonu speciální pozornost systému řízení. Systém řízení ve formě manuální, poloautomatické i automatické pomoci IT je hierarchický a založený na řízení rizik, která jsou možná za podmínek normálních, abnormálních a kritických – je více úrovněový a respektuje princip Defence-In-Depth [18]. Součástí jsou i návrhy opatření pro řízení nouzových a kritických situací.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> obsahuje technická opatření pro základní fyzickou a kybernetickou ochranu <i>ZSMR</i> .		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> díla bere v úvahu vlastnická práva třetích osob; možné změny v zákonech či systému daní a situace na trhu (např. je nebezpečné opírat se o dodávky kritických položek jen o jednoho dodavatele) během zhotovení <i>ZSMR</i> , a pro tyto případy obsahuje rezervy na snížení případných takto vzniklých příčin budoucích ztrát a škod.		
Míra, v jaké finanční náklady na zhotovení <i>ZSMR</i> , uvedené v projektu jsou adekvátní.		
Míra, v jaké veřejná správa zajistila posouzení projektu <i>ZSMR</i> požadované platnou legislativou.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zohlednil výsledky odborného posouzení projektu <i>ZSMR</i> experty.		
Míra, v jaké projekt <i>ZSMR</i> zohlednil výsledky připomínek veřejnosti k projektu <i>ZSMR</i> .		
Stavba		

Míra, zda stavba ZSMR byla zahájena po dostatečné přípravě – byla k dispozici dokumentace, materiál, technické vybavení, dostatečně kvalitní personál.		
Míra, v jaké harmonogram stavby ZSMR byl úplný, přehledný a dostatečně podrobný.		
Míra, v jaké při stavebních pracích v ZSMR se dodržují normy stanovující materiál, pracovní postupy, ochranu zaměstnanců i kontraktorů.		
Míra, v jaké zhotovitel ZSMR pravidelně při stavební činnosti sleduje financování a v případě nedostatků (např. skokový nárůst cen důležitých položek) či podstatných změn v právních předpisech či daních nebo úrokových sazeb přijímá účinná opatření na snížení případných takto vzniklých příčin budoucích ztrát a škod; a s rezervami stanovenými v projektu nakládá hospodárně.		
Míra, v jaké při stavebních pracích na ZSMR se dodržují bezpečnostní postupy		
Míra, v jaké při stavebních pracích na kritických objektech ZSMR se používá jen kvalifikovaný personál.		
Míra, v jaké stavební dozor zhotovitele a investora vykonávají pravidelné kontroly materiálu, technického provedení staveb, dodržování BOZP.		
Míra, v jaké orgány veřejné správy provádí pravidelný dohled nad výstavbou objektů z pohledu BOZP, ochrany životního prostředí a popř. využití veřejných peněz.		
Míra, v jaké jsou vypořádány připomínky veřejné správy (včetně dozorových inspekci) k nedostatkům při stavbě.		
Konstrukce a montáž		
Míra, zda konstrukce a montáže v ZSMR byly zahájeny po dostatečné přípravě – je k dispozici dokumentace (např. přesné rozmístění použitých technických prvků), materiál, technické vybavení, dostatečně kvalitní personál.		
Míra, v jaké harmonogram konstrukce a montáže v ZSMR byl úplný, přehledný a dostatečně podrobný.		
Míra, v jaké při konstrukčních a montážních pracích v ZSMR se dodržují normy stanovující materiál, pracovní postupy, ochranu zaměstnanců i kontraktorů.		
Míra, v jaké zhotovitel ZSMR a pravidelně při montáži zařízení sleduje financování a v případě nedostatků (např. skokový nárůst cen důležitých položek) či podstatných změn v právních předpisech či daních nebo úrokových sazeb přijímá účinná opatření na snížení případných takto vzniklých příčin budoucích ztrát a škod; s rezervami nakládá hospodárně.		
Míra, v jaké při konstrukčních a montážních pracích v ZSMR se dodržují bezpečnostní postupy.		
Míra, v jaké při konstrukčních a montážních pracích na kritických objektech a komponentách ZSMR (tlaková zařízení, zásobníky nebezpečných látek, produktovody) se používá jen kvalifikovaný personál.		
Míra, v jaké s ohledem na bezpečnost ZSMR se speciální pozornost věnuje montáži zařízení, která mají vyvolat nouzové odstavení a převedení do bezpečného stavu, např. systémy s nouzovým vypnutím nebo zastavením reakce.		
Míra, v jaké dozor zhotovitele a investora vykonává pravidelné kontroly materiálu, technického provedení, dodržování BOZP.		
Míra, v jaké byly provedeny kvalitní změny v použitém materiálu, technickém zařízení v důsledku nedostatku na trhu, zvýšení ceny apod.		
Míra, v jaké je provedeno posouzení technické vhodnosti použitých změn v případě, že jde o kritická zařízení.		
Míra, v jaké orgány veřejné správy provádí pravidelný dohled nad montáží kritických zařízení, z pohledu BOZP, ochrany životního prostředí a popř. využití veřejných peněz.		
Míra, v jaké jsou vypořádány připomínky veřejné správy k nedostatkům při konstrukci a montáži.		
Testování		

Míra, zda testování ZSMR bylo zahájeno po dostatečné přípravě – je k dispozici dokumentace, která vymezuje např. metody nedestruktivního testování, stupnice kritičnosti pro posuzování výsledků metod, výpočetní postupy, technické vybavení, dostatečně kvalifikovaný personál.		
Míra, v jaké harmonogram testování ZSMR je úplný, přehledný a dostatečně podrobný.		
Míra, v jaké při testování ZSMR se dodržují normy stanovující materiál, pracovní postupy, ochranu zaměstnanců i kontraktorů.		
Míra, v jaké speciální pozornost je věnována testům kritických prvků, kritických zařízení, kritických komponent (např. tlaková zařízení), kritických sítí (energie, voda, produktovody s nebezpečnými látkami, IT), systémům pro bezpečnost, systémům pro podporu bezpečnosti a ochranným systémům (např. zařízení a systémy pro nouzové odstavení, sprchové systémy, systémy pro dodávky energie pro vlastní spotřebu – nutnost ovládnutí, nouzové dodávky chladiva).		
Míra, v jaké při testování ZSMR se dodržují bezpečnostní postupy.		
Míra, v jaké při testování kritických zařízení ZSMR (tlaková zařízení, zásobníky nebezpečných látek, produktovody) se používá jen kvalifikovaný personál.		
Míra, v jaké dozor zhotovitele a investora vykonává pravidelné kontroly technického provedení testů, správnosti provedených výpočtů, dodržování BOZP.		
Míra, v jaké kvalitě jsou provedeny změny na základě výsledků testů.		
Míra, v jaké kvalitě je návrh nových opatření a posouzení jejich technické vhodnosti v případě, že jde o kritická zařízení.		
Míra, v jaké kvalitě je proveden test účinnosti fyzické a kybernetické ochrany ZSMR.		
Míra, v jaké orgány veřejné správy provádí pravidelný dohled nad testováním, z pohledu BOZP, ochrany životního prostředí a popř. využití veřejných peněz.		
Míra, v jaké kvalitě jsou vypořádány připomínky veřejné správy k nedostatkům při testování.		
Zkušební provoz		
Míra, zda zkušební provoz ZSMR je zahájen po dostatečné přípravě – je k dispozici dokumentace, technické vybavení, dostatečně kvalifikovaný personál.		
Míra, v jaké harmonogram zkušebního provozu ZSMR je úplný, přehledný a dostatečně podrobný.		
Míra, v jaké při zkušebním provozu ZSMR se dodržují normy stanovující pracovní postupy, ochranu zaměstnanců i kontraktorů.		
Míra, v jaké s ohledem na bezpečnost ZSMR je speciální pozornost věnována zařízením s bezpečnostní funkcí (jsou odpojeny nebo přemostěny a je ověřena způsobilost organizačních opatření pro zvládnutí situace).		
Míra, v jaké s ohledem na bezpečnost ZSMR je ověřena funkčnost zařízení, která detekují poruchy důležitých zařízení či systémů, úroveň hluku, úroveň teploty, požár, únik nebezpečných látek, velké vibrace zařízení, vnější pohromy či narušení.		
Míra, v jaké speciální pozornost je věnována provozu kritických prvků, kritických zařízení, kritických komponent (např. tlaková zařízení včetně spojů všeho druhu), kritických sítí (energie, voda, produktovody s nebezpečnými látkami, IT), systémům pro bezpečnost, systémům pro podporu bezpečnosti a ochranným systémům.		
Míra, v jaké při zkušebním provozu ZSMR se dodržují bezpečnostní postupy.		
Míra, v jaké při zkušebním provozu kritických zařízení ZSMR (tlaková zařízení, zásobníky nebezpečných látek, produktovody) se používá jen kvalifikovaný personál.		

Míra, v jaké dozor zhotovitele a investora vykonává kontrolu technického provedení zkušebního provozu, správnosti provedených opatření, dodržování BOZP.		
Míra, v jaké kvalitě jsou provedeny změny na základě výsledků zkušebního provozu.		
Míra, v jaké kvalitě je udělán návrh nových opatření a posouzení jejich technické vhodnosti v případě, že jde o kritická zařízení.		
Míra, v jaké je provedeno ověření účinnosti fyzické a kybernetické ochrany ZSMR.		
Míra, v jaké orgány veřejné správy provádí dohled nad zkušebním provozem z pohledu správné funkce kritických zařízení, BOZP, ochrany životního prostředí a popř. využití veřejných peněz.		
Míra, v jaké jsou vypořádány připomínky veřejné správy k nedostatkům při testování.		
Uvedení do trvalého provozu		
Míra, v jaké bylo spouštění trvalého provozu ZSMR zahájeno po dostatečné přípravě – je k dispozici dokumentace (zacílená na celkovou bezpečnost ZSMR během životnosti), technické vybavení, dostatečně kvalifikovaný personál.		
Míra, v jaké kvalitě je dokumentace ZSMR pro uvedení do trvalého provozu z pohledu bezpečnosti obsahuje: - odpovědi na následující otázky: co se může porouchat, co může nefungovat (identifikace a analýza nebezpečí); jak vážné mohou být následky (hodnocení rizika); jaká opatření byla přijata, aby k tomu nedošlo (řízení rizika); co je třeba provést, když to nastane (opatření pro odezvu na havárie a selhání), - v případě ZSMR doklad o bezpečnosti je výsledkem rozsáhlých teoretických analýz a vyhodnocení testů. Průkazy bezpečnosti obsahují: odkazy na předchozí použití; odkazy na ověřené postupy; údaje o souladu se standardy, certifikace; výpočty; výsledky testování; výsledky simulací; výsledky analytických metod (např. HAZOP, FMECA, FTA atd.); výsledky expertních přezkoumání.		
Míra, v jaké harmonogram spouštění trvalého provozu ZSMR je úplný, přehledný a dostatečně podrobný.		
Míra, v jaké při spouštění trvalého provozu ZSMR se dodržují normy stanovující pracovní postupy, ochranu zaměstnanců i kontraktorů.		
Míra, v jaké speciální pozornost je věnována zahájení provozu kritických prvků, kritických zařízení, kritických komponent (např. tlaková zařízení), kritických sítí (energie, voda, produktovody s nebezpečnými látkami, IT), systémům pro bezpečnost, systémům pro podporu bezpečnosti a ochranným systémům.		
Míra, v jaké při spouštění trvalého provozu ZSMR se dodržují bezpečnostní postupy.		
Míra, v jaké při spouštění trvalého provozu kritických zařízení ZSMR (tlaková zařízení, zásobníky nebezpečných látek, produktovody) se používá jen kvalifikovaný personál.		
Míra, v jaké dozor zhotovitele a investora vykonává kontrolu technického provedení spouštění trvalého provozu, správnosti provedených opatření, dodržování BOZP.		
Míra, v jaké při spouštění trvalého provozu jsou do provozu uvedeny i prostředky a systémy fyzické a kybernetické ochrany ZSMR.		
Míra, v jaké orgány veřejné správy provádí dohled nad uvedením ZSMR do trvalého provozu z pohledu správné funkce kritických zařízení, BOZP, ochrany životního prostředí a popř. využití veřejných peněz.		
Míra, v jaké jsou vypořádány připomínky veřejné správy k nedostatkům při testování.		

Tabulka 9. Hodnotová stupnice pro určení míry rizika, které ZSMR znamená pro své okolí; navržena analogicky ke stupnicím uvedeným v práci [16]; p – roční pojištění, ABT – roční rozpočet území.

Oblast	Míra rizika	
	Klasifikace	Komentář
Sociální	0	Havárií či selháním ZSMR je postiženo do 50 lidí
	1	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 50-500 lidí
	2	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 500-5000 lidí
	3	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 5000–50 000 lidí
	4	Havárií či selháním ZSMR je postiženo 50 000– 500 000 lidí
	5	Havárií či selháním ZSMR je postiženo nad 500 000 lidí
Technická a ekonomická	0	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody do 0.5 p
	1	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody rovné p
	2	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody větší než p a menší než 0.05 ABT
	3	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody mezi 0.05 ABT–0.075 ABT
	4	Havárie či selhání ZSMR způsobí škody mezi 0.75 ABT–0.1 ABT
	5	Havárie ZSMR způsobí škody větší než 0.1 ABT
Životní prostředí	0	Havárie či selhání ZSMR způsobí malé poškození životního prostředí
	1	Havárie ZSMR způsobí poškození životního prostředí, které vyrovná příroda během času
	2	Havárie či selhání ZSMR způsobí mírné poškození neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací
	3	Havárie či selhání ZSMR způsobí střední poškození neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací
	4	Havárie či selhání ZSMR způsobí nevratné poškození neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací
	5	Havárie či selhání ZSMR způsobí devastace krajiny neobnovitelných zdrojů přírody a přírodních rezervací

Tabulka 10. Hodnotová stupnice pro určení míry rizika ZSMR a jeho okolí; N = pětinašobku počtu kritérií v tabulce 8, tj. N = 450.

Míra rizika ZSMR	Hodnoty v % N
Extrémně vysoká – 5	Více než 95 %
Velmi vysoká – 4	70–95 %
Vysoká – 3	45–70 %
Střední - 2	25–45 %
Nízká – 1	5–25 %
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %

Hodnocení konkrétního případu dle tabulky 8 musí dělat tým specialistů z různých odborů nezávisle; v praxi se osvědčil tým [19,20] složený z:

- pracovníka veřejné správy odpovědného za územní plánování,
- pracovníka veřejné správy odpovědného za výstavbu a provoz technických děl,
- zástupce zhotovitele a popř. budoucího provozovatele ZSMR,
- zástupce odborné instituce pro posuzování bezpečnosti technických děl – SÚJB a technické inspekce,
- zástupce Integrovaného záchranného systému.

Výsledná hodnota u každého kritéria je medián, přičemž v případě velkého rozptylu hodnot u některého kritéria je třeba, aby pracovník veřejné správy odpovědný za územní plánování zajistil další šetření, na kterém každý hodnotitel sdělí zdůvodnění svého hodnocení v předmětném případě a na základě panelové diskuse nebo brainstormingu se určí výsledné hodnocení.

Na základě moderního přístupu, který jsme použili již v práci [5] a v souladu s pracemi [21-24] zvažujeme v daných souvislostech tolerovatelné riziko vyjádřené principem ALARP (as low as reasonable possible) [3,4,16,25], tj. případ, kdy dané ZSMR má přínosy a zároveň jsou s ním spojené dopady (ztráty, škody a újmy na chráněných aktivech), které ZSMR i jeho okolí zvládnou pomocí *soustavného řízení rizik zacíleného na bezpečnost*. Hranici tolerance (tj. rozhraní mezi tolerovatelným a nepřijatelným rizikem) určujeme jako kvantitativní vlastnost [11], kterou používají např. OSN a Swiss Re [3], a to hranice nepřijatelnosti je desetina užité hodnoty ZSMR.

Na základě uvedeného požadavku v souladu s pracemi [22-29] při použití integrovaného přístupu a dalších předpokladů, které jsou uvedeny výše, dostaneme podmínku pro nejvyšší možné roční ztráty ZSMR způsobené realizací rizik *RZTD* ve tvaru

$$RZTD < 0.1 \sum_{i=1}^n \frac{k_i HTD}{5 T}, \quad (5)$$

kde *HTD* je užitná hodnota ZSMR, k_i jsou výsledná hodnocení zdrojů rizik v tabulce 8, n je počet zdrojů rizik v tabulce 8 (tj. v daném případě $n = 90$) a T je životnost ZSMR. Jestliže podmínka daná rovnicí (5) není splněna, tak riziko není tolerovatelné, tj. není zajištěna koexistence a realizace ZSMR by neměla být dovolena, tj. měla by být vyžádána buď nová varianta, anebo další opatření vedoucí ke snížení rizik, a poté další posouzení návrhu. Při splnění požadavku daného rovnicí (5) lze pokračovat v hodnocení.

Při rozhodování o kolaudačním rozhodnutí o ZSMR z pohledu požadavku na zajištění koexistence je nutné, aby ZSMR nebyl ztrátový pro území ani při provozu. Proto další podmínku pro posouzení míry koexistence dostaneme při vyhodnocení přínosů ZSMR dle tabulky 11 (stejná s tabulkou 5) s pomocí tabulek 12 (stejná s tabulkou 6) a 13.

Tabulka 11. Kontrolní seznam pro posuzování přínosu ZSMR pro okolí. Počet kritérií $n = 10$.

Kritérium	Hodnocení	Pozn.
Realizované ZSMR zvýší vzdělanost populace v území.		
Realizované ZSMR zvýší možnost zaměstnání populace v území.		
Realizované ZSMR zvýší úroveň služeb v území.		
Realizované ZSMR zvýší veřejné blaho v území.		
Realizované ZSMR přispěje k rozvoji základních infrastruktur v území.		
Realizované ZSMR zvýší prestiž území.		
Realizované ZSMR přispěje ke kulturnímu rozvoji území.		
Realizované ZSMR zlepší situaci v sociální oblasti v území (dle pomocné tabulky 12).		
Realizované ZSMR zlepší situaci v oblasti technické a ekonomické v území (dle pomocné tabulky 12).		
Realizované ZSMR zlepší situaci v oblasti ochrany životního prostředí a veřejného blaha v území (dle pomocné tabulky 12).		

Tabulka 12. Hodnotová stupnice pro určení míry přínosu, kterou ZSMR znamená pro své okolí; navržena analogicky ke stupnicím uvedeným v práci [16]; *ABT* – roční rozpočet území.

Oblast	Míra přínosu	
	Klasifikace	Komentář
Sociální	0	ZSMR prospěje méně než 50 lidem.
	1	ZSMR prospěje 50-500 lidem.
	2	ZSMR prospěje 500-5000 lidem.
	3	ZSMR prospěje 5000–50 000 lidem.
	4	ZSMR prospěje 50 000–500 000 lidem.
	5	ZSMR prospěje více než 500 000 lidem.

Technická a ekonomická	0	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.005 ABT.
	1	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.005-0.01 ABT.
	2	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.01-0.025 ABT.
	3	ZSMR přinese do rozpočtu území 0.026-0.05 ABT.
	4	ZSMR přinese do rozpočtu území až 0.05-0.075 ABT.
	5	ZSMR přinese do rozpočtu území více než 0.075 ABT.
Životní prostředí a veřejné blaho	0	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou menší než 500 Kč ročně
	1	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 500–5000 Kč ročně
	2	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 5000–50 000 Kč ročně
	3	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 50 000–500 000 Kč ročně
	4	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou 500 000–5 000 000 Kč ročně
	5	ZSMR přispěje na ochranu životního prostředí a zvýšení veřejného blaha částkou větší než 5 000 000 Kč ročně

Tabulka 13. Hodnotová stupnice pro určení míry přínosu ZSMR pro jeho okolí; N je číslo rovné pětinasobku počtu kritérií v tabulce 11, tj. N = 50.

Míra přínosu ZSMR pro okolí	Hodnoty v % N
Extrémně vysoká – 5	Více než 95 %
Velmi vysoká – 4	70–95 %
Vysoká – 3	45–70 %
Střední - 2	25–45 %
Nízká – 1	5–25 %
Zanedbatelná – 0	Méně než 5 %

Na základě zkušeností z praxe a poznatků i příkladů v práci [34] při použití integrovaného přístupu a předpokladu, že všechny přínosy uvedené v tabulce 12 mají stejnou pravděpodobnost výskytu, dostaneme vztah pro stanovení očekávaného ročního výnosu ZSMR **PRZTD** ve tvaru

$$PRZTD = 0.7 \sum_{i=1}^n \frac{k_i CPTD}{5T}, \quad (6)$$

ve kterém **CPTD** je celkový užitný výnos ZSMR po dobu životnosti, k_i jsou jednotlivá hodnocení v tabulce 11, n je počet zdrojů přínosů v tabulce 12 (tj. v daném případě $n = 10$) a T je životnost ZSMR. Očekávaný roční čistý výnos ZSMR **RPTD** pro území určíme dle vztahu

$$RPTD = PRZTD - A - RPNTD, \quad (7)$$

kde A je anuita a **RPNTD** jsou očekávané provozní náklady ZSMR. Podkladem pro rozhodnutí je výsledek rozdílu R mezi dovolenými maximálními ročními ztrátami ZSMR, způsobenými realizací, rizik a očekávanými čistými ročními výnosy, tj.

$$R = RZTD - RPTD. \quad (8)$$

Při posouzení jsou použity hranice přijatelnosti či nepřijatelnosti rizika, které používají např. OSN a Swiss Re [3], a to výše ročního pojistného za chráněná aktiva v území (**PRTD**) a desetina ročního rozpočtu území (**ABT**), který zajišťuje rozvoj v území. Podle tohoto pravidla v praxi porovnáme tři veličiny: rozdíl mezi ročními ztrátami ZSMR způsobené realizací rizik a očekávaným ročním čistým výnosem ZSMR (R), roční pojistné ZSMR (**PRTD**) a roční rozpočet území (**ABT**). Na základě výsledků skórování se určí kategorie, do které patří v daném případě riziko spojené se ZSMR:

$R < PRTD$, tak riziko *ZSMR* je pro území přijatelné,

$PRTD < R < 0.1 ABT$, tak riziko *ZSMR* je pro území podmíněně přijatelné (tolerovatelné),

$R > 0.1 ABT$, tak riziko *ZSMR* je pro území nepřijatelné.

V prvním případě (výnosy jsou větší než ztráty) výhody spojené se *ZSMR* převážily nevýhody, tj. očekávané ztráty, a lze *ZSMR* zkolaudovat s ohledem na koexistenci *ZSMR* a jeho okolí.

V případě druhém je nutno požadovat další preventivní opatření v řízení *ZSMR* vedoucí ke snížení rizika a zajistit opatření zmírňující, reaktivní a obnovovací [2,16] v rámci soustavného cíleného řízení rizika zacíleného na zajištění bezpečného *ZSMR*.

V posledním případě, tj. u nepřijatelného rizika, je třeba důkladná úvaha o závěru – v úvahu připadá buď vyhnout se riziku, tj. odmítnutí kolaudace *ZSMR*, anebo vyžádání dalších preventivních a zmírňujících opatření vedoucích ke zvýšení bezpečnosti *ZSMR* (nutno vyžadovat aplikaci: vyšších znalostí; lepší technické vybavení; vyšší náklady na ochranné systémy; zajištění vyšší připravenosti lidských zdrojů apod.) [1,2,16] a poté provedení nového posouzení koexistence.

7. ZÁVĚR

Předložená práce se opírá o českou legislativu a rozlišuje dvě fáze spojené s veřejným posuzováním technických děl, a to stavební povolení a kolaudační rozhodnutí. V obou případech dbá na bezpečnost *ZSMR* v okamžiku posuzování a také v budoucnosti, tj. na zajištění jeho dlouhodobé koexistence s okolím. Protože *ZSMR* je složité technické dílo, ve kterém je řada komponent, jejichž chování za jistých podmínek je konfliktní, tak pro posuzování celkového rizika ve dvou legislativou sledovaných etapách předmětného zařízení vytváří multikriteriální nástroje, tj. systémy pro podporu rozhodování o riziku a ukazuje způsob hodnocení přijatelnosti celkového rizika, který odpovídá realitě. Hodnocení přijatelnosti je zásadní, protože je skutečností, že každé technické dílo ovlivní při realizaci své okolí a proto v zájmu rozvoje lidstva je, aby vlivy byly dlouhodobě přijatelné.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. e-ISBN 78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208 p.
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza a řízení rizik*. ISBN 978-80-01-04841-2. Praha: ČVUT 2011, 405 p.
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D. Propojení norem a výsledků řízení rizik ve prospěch bezpečnosti. In: *Řízení rizik procesů a bezpečnost složitých technických děl 2021*. ISBN 978-80-01-06906-6. Praha: ČVUT 2021, pp. 7-19.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., ŘÍHA, J., BERAN, V., PROCHÁZKA, Z. *Řízení rizik procesů spojených se specifikací a umístěním technického díla do území*. ISBN 978-80-01-06467-2. Praha: ČVUT 2018, 134 p., <http://hdl.handle.net/10467/78522>
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., BERAN, V., ŠINDLEROVÁ, V. *Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu*. ISBN 978-80-01-06609. Praha: ČVUT 2019, 207 p. <http://hdl.handle.net/10467/8446634>
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRA-BKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. <http://hdl.handle.net/10467/85867> doi:10.14311/BK.9788001066751

- [9] GEYSEN, W. The Acceptance of Systemic Thinking in Various Fields of Technology and Consequences on Respective Safety Philosophies. In: *Safety of Modern Systems. Congress Documentaion Saarbruecken 2001*. ISBN 3-8249-0659-7. Cologne: TÜV- Verlag GmbH, 2001, pp. 19-27.
- [10] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. Optimum Risk Engineering Tools Depend on Technical Facility Complexity. *International Journal of Computers*, ISSN 1998-4308.14 (2020), pp. 26-33. DOI: 10.46300/9108.2020.14.4
- [11] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. ISBN 978-80-01-04842-9. Praha: ČVUT 2011, 369 p.
- [12] THON, R. *Cybersecurity – the human factor*. www.nsm.strat.no
- [13] PODOFILLINI, L., SUDRET, B., STOJADINOVIC, B., ZIO, E., KRÖGER, W. (eds). *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems: ESREL 2015*. ISBN 978-1-138-02879-1. London: CRC Press, 4560 p.
- [14] DELONGU, B. *Risk Analysis and Governance in EU Policy Making and Regulation*. ISBN 978-3-319-30822-1. Springer 2016, 288 p.
- [15] KEENEY, R. L., RAIFFA, H. *Decision with Multiple Objectives*. Cambridge: Cambridge University Press 1976, 1993, 569 p.
- [16] PROCHÁZKOVÁ, D. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. ČVUT, Praha 2013, 223 p.
- [17] EU. *FOCUS Project*. Brussels: EU 2012, <http://www.focusproject.eu/documents/14976/-5d763378-1198-4dc9-86ff-c46959712f8a>
- [18] INSAG. Defence in Depth in Nuclear Safety. *INSAG-10*. ISBN 92-0-103295-1. Vienna: IAEA 1996.
- [19] PROCHÁZKOVÁ, D. Nástroj pro sestavení podkladů pro řízení bezpečnosti. In: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2011*. ISBN 978-80-248-2424-6. Ostrava: VŠB 2011, pp. 157-169.
- [20] PROCHÁZKOVÁ, D. *Archiv pohrom, havárií, selhání a jejich analýz*. Praha – dokumenty a výsledky sebrané od r. 1972.
- [21] ISO/IEC. GUIDE 51:2014E. *Safety Aspects – Guidelines for Their Inclusion in Standards*. Geneva: ISO 2014, 15 p.
- [22] BOWLES, D. S. *L.1- How Safe Is Safe Enough? Acceptable and Tolerable Risk*. Utah: IDSRM 2008.
- [23] ALE, B. Tolerable or Acceptable. A Comparison of Risk Regulation in the United Kingdom and in the Netherlands. *Risk Analysis*, 25 (2005),2, pp. 231-242.
- [24] BOULDER, F., SLAVIN, D., RAGNAR, E. *The Tolerability of Risk: A New Framework for Risk Management*. ISBN 978-1-84407-398-6. London: Taylor & Francis 2007, 160 p.
- [25] EU. *Land Use Planning Guidelines in the Context of Article 12 of the SEVESO II DIRECTIVE 96/82/EC as Amended by DIRECTIVE 105/2003/EC*. Brussels: Joint Research Centre 2006.
- [26] GAYLORD, E., GAYLORD, C. *Structural Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill Book Co 1979.
- [27] TATUM, C., B. Innovation on Construction Project.: A Process View. *Project management Journal*, 18 (1987), 5, pp. 57-67.
- [28] BERMAN, O., KRASS, D., MENEZES, M. B. C. Locating Facilities in the Presence of Disruption and Incomplete Information. *Decision Sciences*. 40 (2009), 4, pp. 845-868.
- [29] BEN-GAL I., KATZ R. AND BUKCHIN J. Robust Eco-Design: A New Application for Quality Engineering. *IIE Transactions*, 40 (2015), 10, pp. 907-918.
- [30] CHAPMAN, J. Design for Durability. *Design Issues*, 25 (2009), 4, pp. 29-35.
- [31] FEMA. Risk Management Series: Design Guide For Improving Critical Facility. New York: FEMA 2007, 152 p.
- [32] PORTNY, S.. R. *Project Management for Dummies*. ISBN 978-0-470-24789-1 Indianapolis: Wiley Publishing 2007, 366 p.
- [33] PRICE, B. Active Directory: optimální postupy a řešení problémů. ISBN 80-251-0602-0. Brno: CP Books 2005. 381 p.
- [34] BRUCE, J. F. *Investment Performance Measurement*. ISBN 0-471-26849-9. New York: Wiley 2003, 748 p.

Poděkování: Autoři děkují projektu TAČR č. TK02030125- Energy Well – projektové řešení demonstrační jednotky malého modulárního reaktoru chlazeného fluoridovými solemi.

PŘÍČINY SESUVU PŮDY NA DÁLNICI D8 A PŘÍČINY ZVLNĚNÍ VOZOVKY NA DÁLNICI D47/D1

CAUSES OF SLOPE LANDSLIDE ON THE D8 HIGHWAY AND CAUSES OF RIPPLES ON THE D47/D1 HIGHWAY

Lenka Střelbová

*České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 166 29 Praha 6, Česká republika;
lenka.strelbova@fsv.cvut.cz*

Abstrakt: Článek se zabývá riziky spojenými se základovými podmínkami staveb technických objektů, konkrétně v souvislosti s dopravní infrastrukturou. Článek řeší příčiny sesuvu svahu na dálnici D8, příčiny zvlnění dálnice D47/D1 a vyhodnocuje dopady selhání základových podmínek u dálnic.

Klíčová slova: Základní požadavky na stavby; hodnocení rizik; spolehlivost; dálnice.

Abstract: The article deals with the risks associated with the basic conditions of construction of technical objects, specifically in connection with the transport infrastructure. Furthermore, this article deals with the causes of landslides on the D8 highway, the causes of ripples on the D47/D1 highway and evaluates the impacts of failure of foundation conditions on highways.

Key words: Basic requirements on construction works; risk assessment; reliability; highway.

1. ÚVOD

Dopravní infrastruktura je jednou z hlavních částí kritické infrastruktury, proto je hlavním cílem zajistit koexistenci technického díla s okolím, tj. s veřejnými aktivy [1]. Silniční doprava zajišťuje obslužnost daného území. V každém území se vyskytují nějaké pohromy, jejich velikost se však mění v čase, ale i v prostoru. Předmětné škodlivé jevy od jisté velikosti poškozují technická díla samotná, ale mohou narušit i jejich blízké okolí. Proto je třeba tyto rizika cíleně řídit tak, aby se nerealizovala. Toto je však jen lidské přání, a tak tyto rizika musíme nejprve pochopit a na základě norem a zkušeností je snížit, popřípadě eliminovat [2].

Pro zajištění celkového bezpečí lidí, životního prostředí, ale i státu je nutné před výstavbou technického díla vytvořit takové zadávací podmínky, při kterých je malá pravděpodobnost vzniku škody při provozu technického díla. V praxi se nejprve zhodnotí vlastnosti území, kam se má technické dílo umístit, tak, aby bylo zabezpečené vůči všem vnějším pohromám. Následně se navrhne samotné technické dílo tak, aby neohrozilo své okolí, ale především sebe, a to ani při svých kritických podmínkách [3].

2. POŽADAVKY NA KRITICKOU INFRASTRUKTURU A VÝSTAVBU DÁLNIC V LEGISLATIVĚ

V České republice je na kritickou infrastrukturu v legislativě pamatováno, zejména v krizovém zákoně č. 240/2000 Sb. a nařízení vlády č. 462/2000 Sb. k provedení § 27 odst. 8 a § 28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Kritickou infrastrukturou se dle zákona č. 240/2000 Sb. §2 písmene g) rozumí prvek kritické infrastruktury nebo systém prvků kritické infrastruktury, jehož narušení funkce by mělo závažný dopad na bezpečnost státu, zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva, zdraví osob nebo ekonomiku státu.

Prvkem kritické infrastruktury je dle §2 písmene i) zejména stavba, zařízení, prostředek nebo veřejná infrastruktura, určené podle průřezových a odvětvových kritérií; je-li prvek kritické infrastruktury součástí evropské kritické infrastruktury, považuje se za prvek evropské kritické infrastruktury. Mezi prvky kritické infrastruktury patří energetika, vodní hospodářství, potravinářství a zemědělství, zdravotnictví, doprava, komunikační a informační systémy, finanční trh a měna, nouzové služby a veřejná správa [4].

Do kritické infrastruktury v ČR patří zejména stavba, zařízení, prostředek nebo veřejná infrastruktura, určené podle průřezových a odvětvových kritérií. Mezi prvky dopravní infrastruktury patří například tunely a mosty, které jsou na dálnicích a silnicích první třídy [4].

Kritéria jsou určena v příloze k nařízení vlády č. 432/2010 Sb., o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury. V oddílu V. Doprava je v pododdílu A. Silniční doprava je určeno kritérium pro pozemní komunikace, jež jsou zařazeny do kategorie dálnice a silnice I. třídy, pokud pro ni neexistuje objízdná trasa [5].

Výstavba kritických prvků dopravní infrastruktury se provádí podle stavebního zákona (zákon č. 183/2006 Sb.). Specifické požadavky, které se zaměřují na výstavbu dálnic jsou součástí zákona č. 227/2019 Sb., kterým se mění zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony a v jeho prováděcí vyhlášce č. 208/2018 Sb., kterou se mění vyhláška č. 104/1997Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Požadavky, které se týkají projektové dokumentace pro provádění staveb pozemních komunikací, tj. dálnic, silnic, místních komunikací a veřejně přístupných účelových komunikací jsou uvedeny v Příloze 9 ve vyhlášce č. 251/2018 Sb., kterou se mění vyhláška č. 146/2008 Sb., o rozsahu a obsahu projektové dokumentace dopravních staveb.

3. RIZIKA SLEDOVANÁ U TECHNICKÝCH DĚL

Riziko je pravděpodobná velikost nežádoucích dopadů (škody, ztráty, újmy) na chráněná aktiva, kterou způsobí pohroma o normativně určené velikosti, jež je normovaná na jednotku plochy a jednotku času. Jde o míru nepřijatelných dopadů způsobených pohromou o velikosti rovné hodnotě ohrožení [1].

Riziko je spojeno se složitými podmínkami a mnoha působícími faktory, a to zejména s nejistými přírodními pohromami, nejistotami, jež obsahují výsledky vědy a používané technologie. Faktory především působí negativně na zdraví a kvalitu života lidí, dále pak způsobují strach a stres. Ačkoliv mnoho zdrojů rizik nelze odstranit, tak pro bezpečí lidí a majetku stačí, aby bylo riziko přijatelné. Nicméně tato úroveň přijatelnosti rizika je ve skutečnosti subjektivní. Rizika, kde je pravděpodobnost výskytu větší, jsou považována za přijatelnější, než rizika s nižší pravděpodobností. To samé platí u rizik, kterým se vystavujeme dobrovolně, například u bojových sportů, kde si u těchto činností míru rizika jako takového nepřipouštíme [1,6].

Je obecně známo, že ve skutečnosti existuje mnoho rizik, protože existuje velké množství jejich zdrojů. Tyto rizika stále přibývají v důsledku rostoucí zranitelnosti veřejných aktiv. Vzhledem k tomu, že společnost nemá rizika pod kontrolou, ani nemá zdroje či prostředky, aby přibývajícím rizikům zabránila, tak musí cíleně rizika řídit. Lidským přání je řídit rizika tak, aby se nevytvářela. Toho lze docílit jen tehdy, pokud je na základě poznání pochopíme. V první řadě

jde o zhodnocení vlastností území, ve kterém se technické dílo nachází. V další fázi jde o to, aby se řešené dílo na základě zadávacích podmínek navrhlo, realizovalo, ale i provozovalo takovým způsobem, aby neohrozilo sebe ani své okolí [1].

Metody používané u technických děl s cílem řídit rizika ve prospěch bezpečnosti závisí na fázi samotného díla [1], a to: umístování; projektování; výstavba; provoz; a odstavení z provozu / jiné využívání zastaveného území. Rizika sledovaná u technických děl rozlišujeme na rizika dílčí, integrovaná a integrální. Všechna tato rizika jsou dané směrnicemi, právními předpisy, normami a standardy [1].

Dílčí rizika patří mezi ty nejpoužívanější, jelikož jsou nejméně náročná na určení a řadí se mezi ně rizika spojená s jedním aktivem. Tyto rizika se dále dělí na stavebně-technologická a projekční rizika, kreditní rizika, tržní rizika, vnější rizika, provozní rizika a rizika spojená s řízením a rozhodováním. Do první skupiny patří stavebně-technologická a projekční rizika, jež zahrnují rizika spojená zejména s projektovou dokumentací technického díla, stavbou jako takovou a znečištěním okolí technického díla. Další skupinou jsou kreditní rizika. Tato rizika jsou především spojená s likviditou technického díla a nesplněním závazků technického díla, následně pak se ztrátou podpory díla ze strany veřejné správy. Tržní rizika jsou závislá na trhu, tedy na poptávce, konkurenci a v neposlední řadě na měnových či inflačních rizicích. Vnější rizika zahrnují zejména rizika spojená s živelnými či jinými pohromami a politickou mocí. Mezi politickou moc se řadí např. selhání vlády a mimo jiné i mezinárodní situace a povinnosti České republiky v Evropské unii a NATO. Tyto rizika zahrnují také legislativu, a to především v oblasti daní. Do další skupiny jsou zařazeny rizika provozní, ty jsou spojená s vlastním technickým zařízením a vybavením, kvalitou použitých materiálů, chováním lidí a údržbou díla samotného. Poslední skupina zahrnuje rizika spojená s řízením a rozhodováním technického díla. Zde jsou především rizika smluvní a spojená s řízením a rozhodováním. Mezi smluvní rizika patří rizika spojená se změnou smlouvy, korupcí a porušením obecně závazných předpisů. Dále do této skupiny patří i rizika zahrnující reputaci, kulturu bezpečnosti, strategické rozhodování a prevenci ztrát.

Integrované riziko se používá například při bezpečnosti a ochraně zdraví při práci (BOZP) a představuje součet z dílčích rizik. Je často využíváno pojišťovnami. *Integrální riziko* zahrnuje propojení mezi aktivy a komponentami technického díla. Toto riziko je nejpřesnější, jelikož bere v potaz jak pohromu, tak místo výskytu. Konkrétně závisí na pravděpodobnosti výskytu škody, periodu opakování pohromy, zranitelnost aktiv a navržených opatření, velikost ohrožení a čas měření od vzniku škodlivého jevu, až po čas, kdy vznikají ztráty.

V praxi se řeší analýza, hodnocení a řízení rizik pomocí různých metod a nástrojů. Ačkoliv je v dnešní době těchto metod velké množství, tak je zapotřebí, aby se využívali tam, kde se tyto metody hodí používat např. v konkrétním prostředí. Jinak je to u metody What, If, „co se stane, když..“, kdy je tato metoda založena na diskusi o úvahách možných událostí, které odhadují špatné jevy a pohromy. Rizika se mohou buď pomocí preventivních opatření snížit, pojistit, popřípadě se na ně připraví rezervy na obnovu. V současné praxi se u technických děl řídí rizika tak, že se zvažují rizika jednotlivých pohrom odděleně. Podle současného poznání se řízení rizik ve prospěch bezpečnosti v území zvažují zdroje všech rizik, tj. všechny možné pohromy v daném území dohromady [1].

Možné scénáře selhání staveb technických objektů v důsledku nerespektování rizik spojenými se složitými základovými podmínkami staveb jsou uvedeny v tabulce 1, kde je uveden návrh opatření, jakým lze těmto scénářům předejít. Tato tabulka se zaměřuje na selhání zadávacích podmínek dálnice, které mohou selhat z mnoha příčin jak v přípravě projektu (umístování a projektování), tak i při samotné výstavbě [1,6].

Tabulka 1. Selhání základových podmínek dálnic [7-15]; PD – projektová dokumentace.

Příprava projektu - projektová dokumentace	Scénář	Charakteristika	Opatření
	Živelné pohromy	povodeň, zemětřesení, hurikán, sesuvy	- zvážení velikostí možných pohrom, brát ohled na minulost v místě realizace, např. mapa seismických zón, mapa srážek... [7-9]
	Geologie	špatná únosnost podloží	- výměna podloží - změna trasy [9,10]
	Geotechnika	špatná únosnost podzemí	- zkoušky únosnosti zemin, zvážení geotechnické zranitelnosti v podloží [7]
	Hydrologie	hladina podzemní vody	- hydrologický průzkum - vhodné odvodnění (drenáž) [8]
	Lidské chyby	neúplnost dokumentace, projektové chyby	- dodržení rozsahu a obsahu PD vhodné skladby a kombinace zatížení, nepodcenění velkých teplotních rozdílů a resonancí v konstrukci [10-12]
Realizace projektu - výstavba	Živelné pohromy	povodeň, zemětřesení, hurikán, sesuvy	- brát ohled na minulost v místě realizace, např. mapa seismických zón, mapa srážek, mapa zátopových území [7,8,10]
	Lidské chyby	podcenění vibrací při výstavbě	- volba hodnějších strojů [13,14]
		neodpovídající kvalita materiálu	- kontrola kvality dodávky materiálu, kontrola chyb ve spojích komponentů a ukotvení [12,15]
		nedodržení harmonogramu výstavby a PD	- kvalifikovaný personál a dozor na stavbě [12,15]
		chybné založení	- geotechnický průzkum i v okolí řešeného objektu [7]
	Podmínky prostředí	velké rozdíly teplot během krátké doby	- dodržování technologických postupů [13]

Nejhorší scénáře selhání jsou však takové, které vzniknou až v průběhu času, tedy v té době, kdy je technický objekt využíván. V tomto případě to má nejhorší dopady na životy a zdraví lidí, veřejné blaho, bezpečí lidí, majetek a životní prostředí.

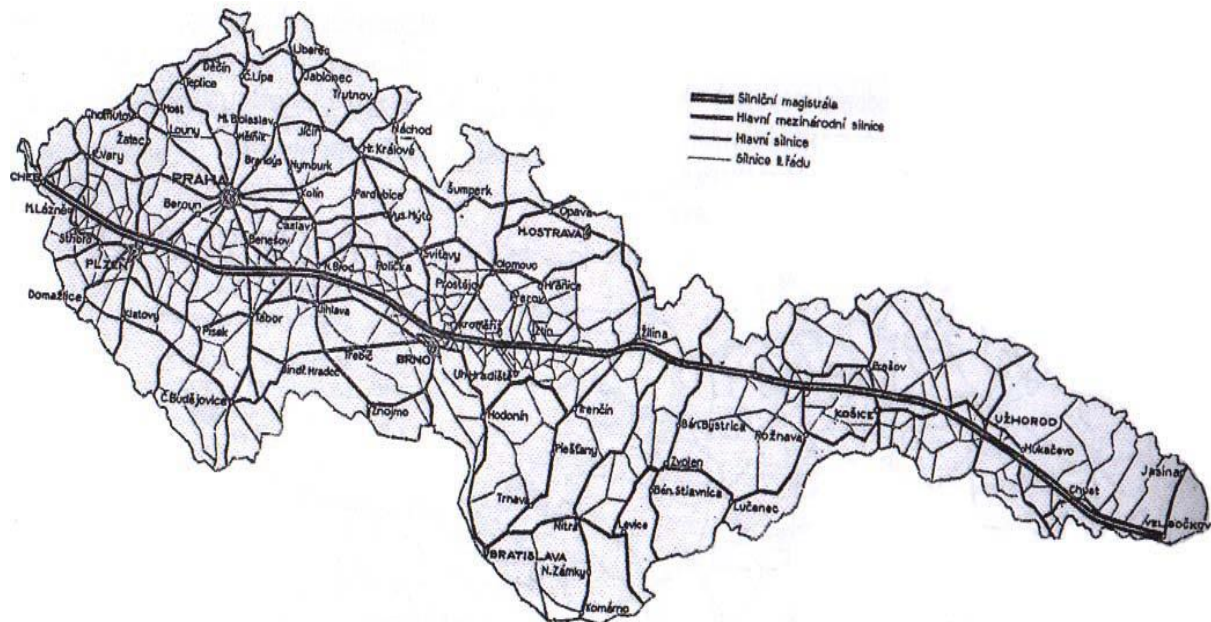
4. HISTORIE DÁLNIC V ČR

V České republice začala výstavba dálnic již před druhou světovou válkou, což naši zemi řadí do prvních států na světě vůbec [16]. První myšlenky postavit silnici napříč celou republikou byly již v roce 1935, tehdy šlo o projekt „Národní silnice Plzeň-Košice“ jež měla vést přes Prahu i Brno [6]. Další návrh předložil brněnský region, kde měla komunikace vést z Chebu přes Košice až do Chrustu, jenž se nachází na dnešní Zakarpatské Ukrajině [16]. Nicméně ani jeden z návrhů neprošel, a tak se ani s výstavbou nezačalo.

Lépe si vedl návrh podnikatele J. A. Bati, jež navrhl páteřní komunikaci napříč Československem „Cheb – Velký Bočkov“, jenž se nyní nachází na hranicích Ukrajiny s Rumunskem [16].

Návrh páteřní komunikace napříč Československem je znázorněn na obrázku 1, kde je tato magistrála zakreslena dvojitou tlustou čarou. Komunikace je vedena z Chebu, kolem Plzně, Brna, Žiliny, Košic, Užhorodu až do Velkého Bočkova.

Tento nápad vybudovat dálnici dostal Baťa během své obchodní cesty kolem světa v roce 1937, kdy se nechal inspirovat italskou autostrádou Řím-Neapol. Během týdne si nechal projekt na vlastní náklady vypracovat a ten byl následně schválen [17].



Obr. 1. Návrh páteřní komunikace Československem J.A. Bati [18].

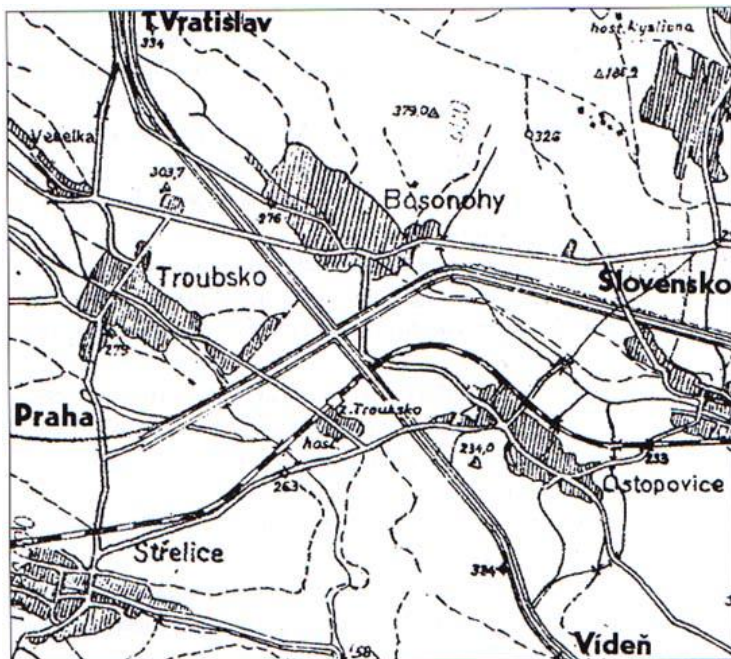
Po Mnichovské dohodě v roce 1938 byl Zemským úřadem v Praze během 12 dnů vypracován nový plán na výstavbu silniční sítě. Vznikl tak nový plán, jež obsahoval magistrálu Praha – Jihlava a okruh kolem Prahy [6]. Téhož roku je tento návrh magistrály rozšířen o úsek Jihlava – Brno-Zlín-Slovenská hranice. Začátkem roku 1939 byla tato magistrála tzv. česko-moravská dálnice schválena a hned se začalo s realizací. První výkop byl proveden nedaleko Průhonice [19].

Zároveň se začíná se stavbou německé autostrády z dnešní Vídně do Vratislav. Na následující straně si lze na obrázku 2 všimnout, že je tato autostráda vedena kolem Brna, kde by se měla křížit s naší magistrálou. Také se současně připravují další dvě dálnice Praha-Lovosice a Praha-Plzeň [16].

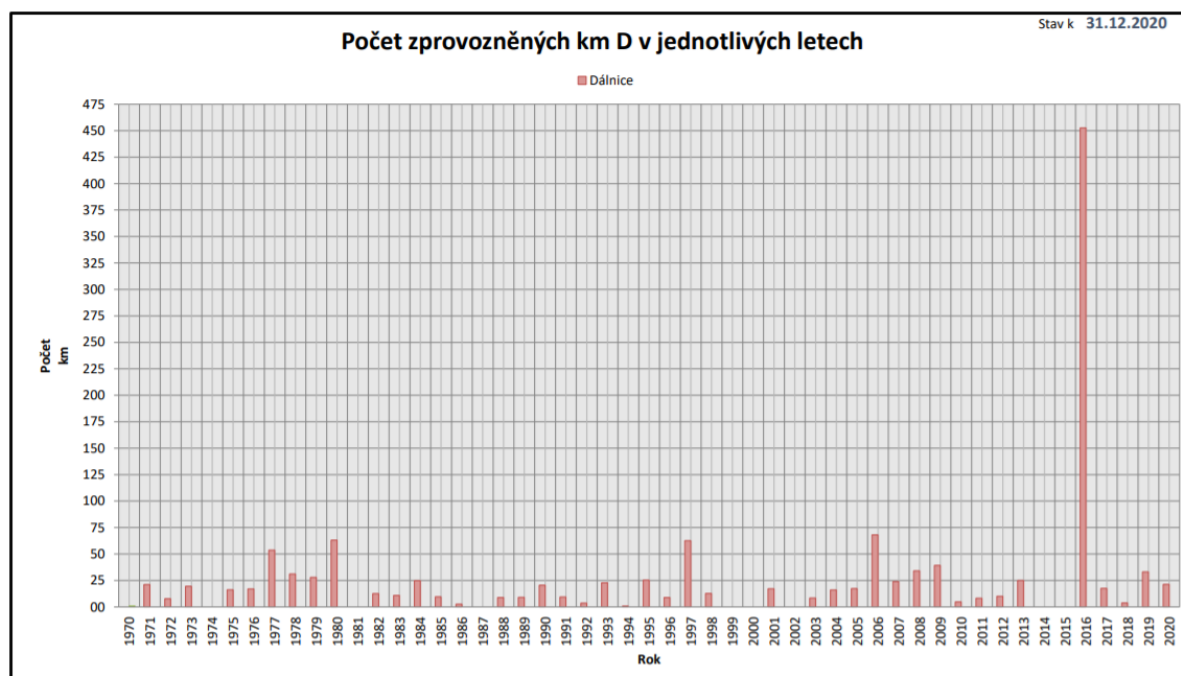
V následujících letech probíhají stavební práce na česko-moravské dálnici (dnešní D1) čím dál tím víc omezeně, až do roku 1942, kdy byla výstavba definitivně zastavena. Důvodem bylo vydání zákazu výstavby dálnic v celé Velkoněmecké Říši, kam spadal i Protektorát Čechy a Morava z důvodů přesunutí pracovních sil do válečné výroby [21]. V roce 1945 se na našem území nacházejí tři nedokončené dálnice v celkové délce 188 km. Naše přední pozice ve výstavbě dálnic, jež jsme si získali v třicátých letech, byla navždy ztracena [16]. V roce 1963 byla opět výstavba dálnic na našem území obnovena, dokonce ve větším rozsahu než na konci třicátých let. V roce 1967 byla zahájena dostavba dálnice v úseku Praha-Brno, jež byla uvedena do provozu v roce 1980, což bylo o 40 let později oproti původnímu plánu [21].

Česká dálniční síť je aktuálně tvořena celkem z 19 dálnic o délce 1 303 km, nicméně jsou dokončené pouze dálnice D2, D5, D8, D10 a D46. Sedmáct dálnic je zatím jen v částečném provozu [19,22]. Celkem je v současnosti naplánováno 2 000 kilometrů dálnic. Dle statistiky,

kteřá je znázorněna na obrázku 3, si lze povšimnout, že nejvíce kilometrů dálnic bylo zprovozněno v roce 2016, a to více než 450 km. Tyto data jsou v grafu vyneseny již od roku 1970 až do konce roku 2020. Jako druhý „největší“ nárůst zprovozněných kilometrů dálnic byl v roce 2006, kdy bylo otevřeno kolem 70 km [22].

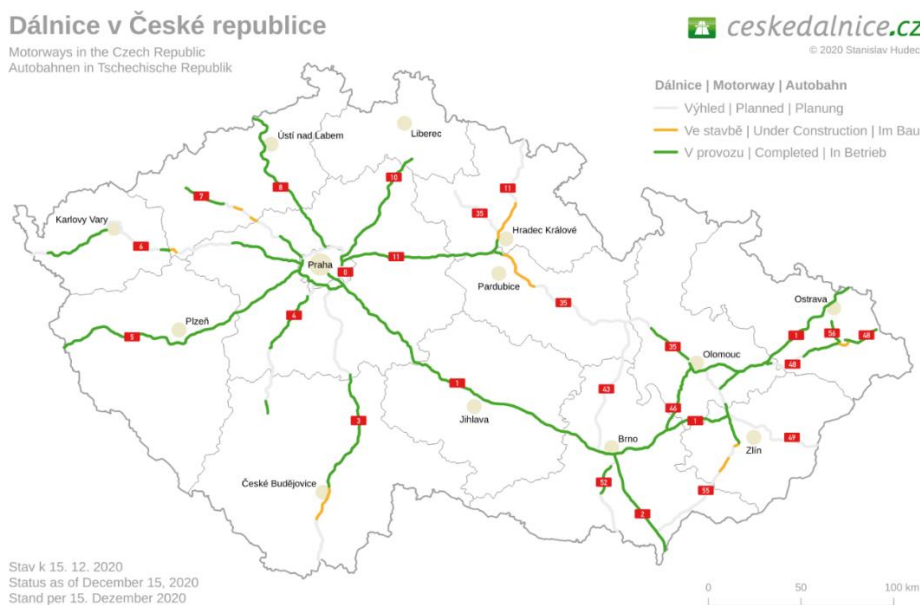


Obr. 2. Plán křížení německé autostrády s naší magistralou u Brna [20].



Obr. 3. Počet zprovozněných km dálnic v jednotlivých letech (1970-2020) [22].

Na obrázku 4 jsou zakresleny veškeré dálnice na území České republiky, které jsou už v provozu (zeleně), ve výstavbě (oranžově) nebo jsou plánované (světle šedivá).



Obr. 4. Stav dálniční sítě v České republice k 15.12.2020 [23].

4. POŽADAVKY NA STAVENIŠTĚ A JEHO OKOLÍ

V Příloze č. 1 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích jsou mimo jiné uvedené požadavky na venkovní pracoviště na staveništi. Zhotovitel neprodleně zajistí provedení nezbytné změny technologických postupů tak, aby byla zajištěna bezpečnost práce a ochrana zdraví osob, pokud by v průběhu prací došlo ke změně povětrnostní situace nebo geologických, hydrogeologických, popřípadě provozních podmínek, jež by mohly nepříznivě ovlivnit bezpečnost práce. Mezi hlavní příčiny přerušení prací patří nepříznivé povětrnostní vlivy, nevyhovující technický stav konstrukce nebo stroje, živelné události nebo vliv jiných nepředvídatelných okolností. Důvody pro přerušení práce posuzuje a o přerušení činností rozhoduje fyzická osoba pověřená zhotovitelem. Zhotovitel bez zbytečných odkladů seznámí příslušné osoby se změnou technologických postupů [13].

Zhotovitel ihned přeruší práci, pokud by její pokračování vedlo k ohrožení životů nebo zdraví fyzických osob na staveništi či v jeho okolí, popřípadě k ohrožení majetku nebo životního prostředí. Při přerušení této práce zajistí nezbytné opatření k ochraně bezpečnosti a zdraví osob a vyhotoví zápis o provedených opatření [13].

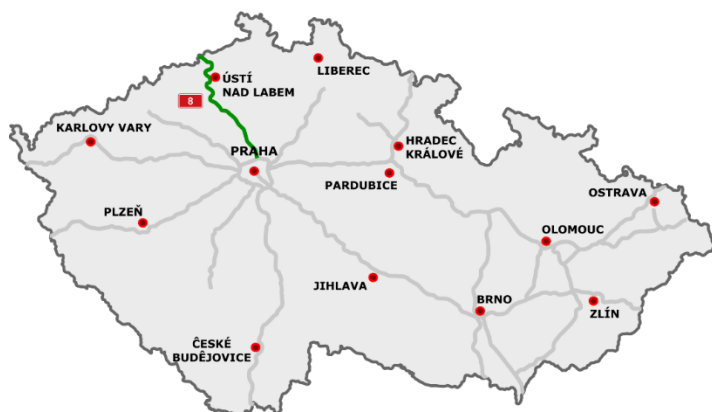
V zákoně č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek je v § 36 uvedeno, že zadávací podmínky nesmí být stanoveny tak, aby určitým dodavatelům bezdůvodně zaručovali výhodu či nevýhodu formou překážek v hospodářské soutěži. Zadavatel sdělí všem účastníkům zadávací podmínky buď formou zadávacího řízení při jednání nebo je uvede v zadávací dokumentaci [15]. Zadávací podmínky zadavatel poskytne v podrobnostech nezbytných pro účast dodavatele v zadávacím řízení. Nicméně zadavatel nesmí přenášet odpovědnost za správnost a úplnost zadávacích podmínek na zhotovitele [24].

Vyhláška č. 146/2008 Sb., o rozsahu a obsahu projektové dokumentace dopravních staveb jako jsou letecké stavby, stavby drah, silnic, dálnic, místních komunikací a veřejně přístupných účelových komunikací [11]. Konkrétně se u dálnic jedná o Přílohu č. 5 této vyhlášky, kde je rozsah

dokumentace pro ohlášení stavby nebo pro vydání stavebního povolení. Příloha č. 6 se naopak zabývá rozsahem a obsahem projektové dokumentace pro provádění stavby [11].

5. PŘÍČINY SESUVU NA DÁLNICI D8-VÝSLEDKY STUDIA

Dálnice D8 je dálnice, jež spojuje Prahu s hraničním přechodem do Německa, kde následně navazuje na dálnici vedoucí do Drážďan. Trasa dálnice D8 je znázorněna na obrázku 5 zelenou barvou. Z obrázku 6 je patrné, že komunikace v podstatě kopíruje trasu tzv. *Srbské stezky*, jež původně spojovala Prahu se Saskem a srbskou Lužicí. Tato stezka zde byla již od raného středověku, kdy získala především vojenský význam [25,26].



Obr. 5. Vyznačení trasy dálnice D8 [21].

5.1. Parametry dálnice

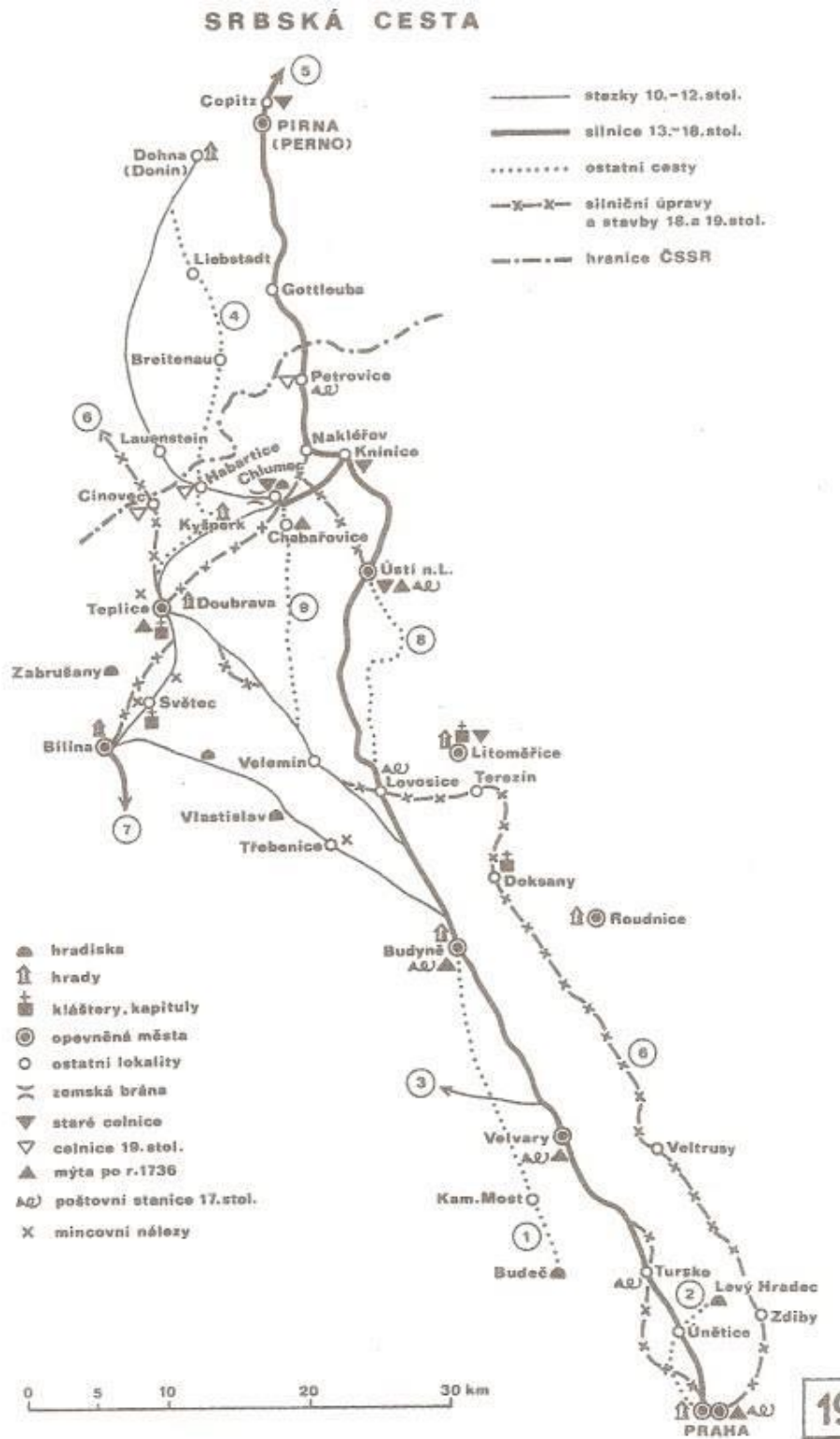
Dálnice o celkové délce více než 94 km, jež spojuje Prahu, Střední a Severní Čechy. Jako jedna ze dvou českých dálnic prochází chráněnou krajinnou oblastí (CHKO České středohoří), proto byla její dostavba komplikovaná. Trasa začíná v Praze a dále vede přes Lovosice, Ústí nad Labem až na hraniční přechod s Německem Krásný Les/Breitenau, kde navazuje na německou dálnici A17 do Drážďan. Dálnice je součástí IV. Panevropského dopravního koridoru, jež začíná v Německu a končí v Rumunsku/Turecku/Řecku a evropské silnice E55 [21,27].

5.2. Schvalování dálnice a změny trasy

O trasu dálnice se již od počátku vedly spory, jelikož vedla napříč chráněnou krajinnou oblastí Českého středohoří, z tohoto důvodu byla nutná dokumentace vyhodnocení vlivů na životní prostředí (EIA), jež byla schválena v roce 1996. Nicméně ta nestačila a byla nutná výjimka ze zákona, kterou udělovalo Ministerstvo životního prostředí ČR. Tato výjimka byla udělena až v roce 2001. O rok později bylo teprve vydáno územní rozhodnutí. Vzhledem k tomu, že byla stavba dálnice rozdělena na 7 dílčích úseků, tak byla vystavena velkému množství sporů a byla tak schvalována dlouho [21].

Původní varianta trasy dálnice, jež byla navrhována Ředitelstvím silnic a dálnic ČR (ŘSD), vedla přes 2. a 3. zónu CHKO, do geologicky cenných profilů bývalého čedičového lomu Pracovnice a do nadregionálního biokoridoru řeky Labe. Tuto řešenou oblast překračuje tunelem Pracovnice (270 m), mostem a tunelem Radejčín (620 m) [21]. Tato trasa se však nelíbila ekologům, kteří by nejraději chtěli, aby se dálnice nestavěla přes území CHKO vůbec. Navrhovali tak, aby se výstavba dálnice D8 do Lovosic zastavila a využila se dálnice D7 z Prahy do Postoloprty, kde by se trasa odklonila na nově vybudovanou dálnici do Mostu, u něž by se napojila na již vybudovanou silnici I/13 do Bystřan u Teplic. Následně by se napojila na silnici I/63, jež by volně navazovala u Řehlovic na již vybudovaný úsek dálnice D8 (Řehlovice-Trmice). Tento

tranzit by sice vytvořil obchvat celé oblasti České středohoří, nicméně by to nevyřešilo problém, kdy by motoristé využívali rychlejší cestu přes dostavěné úseky dálnice D8 do Lovosic a starou silnici I/8 přes CHKO [21].



Obr. 6. Srbská stezka [26].

Druhým návrhovým řešením by byl dlouhý třinácti kilometrový tunel, jež by vedl celý úsek Lovosice – Řehlovice skrz oblast CHKO. Tato varianta byla oproti původnímu řešení mnohem dražší a časově náročnější, ačkoliv by byla nejšetrnější ke krajině a nejlepší volbou pro údržbu v zimním období [21].

Posledním návrhem byl jediný 3,35 km dlouhý tunel Kubačka, jež by vedl v místě původního návrhu tunelů Prackovice a Radejčín. Problém byl však takový, že tento návrh přišel pozdě, až v roce 2005, kdy již končily přípravy tohoto úseku dle původního plánu. Další nevýhodou by byla vyšší cena realizace, provozu tunelu a časově by se zpozdila doba výstavby. Hlavním problémem by však byla nutnost změnit územní plán Ústeckého kraje, což kraj následně zamítl a schválil původní variantu ŘSD [21,28,29].

5.3. Historie výstavby

S výstavbou dálnice ve sledované oblasti bylo uvažováno již na přelomu 30. a 40. let minulého století. Nicméně až mezi lety 1968 a 1971 se projednávalo vzájemné propojení dálnic mezi ČSSR a NDR, kde dálnice D8 figurovala [21,30]. První úsek 0806 dálnice (Řehlovice – Trmice) měřil pouze 4 kilometry a byl otevřen v roce 1990. V letech 1993 a 1996 byly otevřeny úseky Zdiby – Úžice (0801) a Úžice – Nová Ves (0802). O dva roky později byl otevřen další úsek Doksany – Lovosice (0804). V roce 2001 vzniklo 48 km dlouhé celistvé spojení dálnice v úseku Praha – Lovosice, jelikož byl dokončen úsek Nová Ves – Doksany (0803). V roce 2006 byla dokončena část dálnice (0807) o délce 23 km, a to mezi Trmicemi a Německem, jež navazovala na již hotový úsek z roku 1990. Od začátku roku 2016 je součástí této dálnice dva kilometry dlouhý úsek od hranice Prahy – Zdiby [21,30].

Na konci roku 2016, tedy 17. prosince 2016 byla slavnostně dokončena celá dálnice D8, tedy poslední úsek Lovosice – Řehlovice (0805). Vzhledem k tomu, že poslední úsek vede přes CHKO České středohoří, tak se vedly spory o trasu v této oblasti [21,30].

5.3.1. Výstavba dálnice D8-úsek 0805 a sesuv svahu

Stavba 0805, která navazuje v prostoru Lovosic na již vybudovanou stavbu 0804, byla zahájena v roce 2007, vzhledem k probíhajícím soudním sporům, jež byly vedeny na základě žalob, podaných několika ekologickými sdruženími se nepodařilo dodržet termín dokončení stavby, jenž měl být v roce 2010 [21,31].

K posunutí data dokončení významně přispěl sesuv svahu po povodních v červnu 2013, poté byl proveden geologický průzkum sesunutého svahu [21,31]. Právě sesuv svahu ukázal, že zadávací podmínky D8 v sesuvném území nezhodily důkladně místní geologickou stavbu, které se již dříve věnovalo několik inženýrskogeologických průzkumů (IGP). Například již v roce 1972 provedli Ing. J. Pašek a Ing. Janek předběžné inženýrskogeologické průzkumy (IGP), kde se zmiňují, že se jedná o sesuvném území. Dále je v jejich práci uvedeno upozornění na rizika spojená se stavební činností a mapy možných svahových deformací [32-34].

V řešeném území se nachází převážně jílovce, jejichž mocnost sahá až do 350 m, které v případě zvětrávání změknu. Pokud se nasatí vodou jsou plastické a mimořádně náchylné ke vzniku svahových deformací. Následně vzniknou smykové plochy, které se pravděpodobně vyvinuly v různých hloubkách s maximální odhadovanou hloubkou na více než 10 m. Řešený sesuv se z části shoduje s mapou z roku 1972, která tento sesuv předpokládala [16,32].

Odstraňování závalu začalo 19. listopadu 2014. První se začalo s odtěžováním zeminy sesunutého svahu, která skončila 7. dubna 2015, kdy bylo odtěženo cca 90 000 m³ zeminy. Další etapa

(II. etapa) se týkala samotné sanace svahu, jež začala na podzim roku 2015. V polovině roku 2016 začaly odklízecí práce hlavní trasy dálnice.

Na celém úseku 0805 se provádí konstrukční vrstvy, dosypávky krajnic středního dělicího pásu a osazování svodidel. V úseku mezi tunely a křižovatkou Řehlovice současně probíhá výstavba dálničních mostů a zemní práce na trase. V zářezu Řehlovice byla odtěžena zemina a zakotveny pilotové stěny. V oblasti sesuvu km 56,3-56,6 dálnice byly provedeny statické prvky a jejich kotvení. Po odtěžení sesuvu svahu bylo nutné provést kompletní obnovu dálnice, jež se vlivem sesuvu posunula cca o 40 metrů [21,31].

V noci ze 6. na 7. června 2013 se sesunul svah v blízkosti obce Dobkovičky, jež zasypal téměř dokončenou dálnici D8. Na obrázku 7 je ze snímku vidět rozsah způsobené škody. Při přípravě stavby dálnice byly špatně zavedené zadávací podmínky, jelikož byly podceněny geologické, hydrologické a geotechnické podmínky v horninovém prostředí [35].



Obr. 7. Sesuv svahu na D8 [36].

Z použitých zdrojů [21,31,35-37] vyplývá:

- k sesuvu svahu na jihovýchodním úbočí kopce Kubačka v blízkosti obce Dobkovičky došlo v noci ze 6. na 7. června 2013
- svah zasypal téměř dokončenou dálnici D8 v km 56,3-56,6
- objem sesunuté zeminy byl zhruba 400 000 m³
- sesuv svahu s sebou vzal několik stovek metrů železnice (obr. 8), a také utrhł svah pod lomem Dobkovičky, který se nachází v těsné blízkosti dálnice D8 (obr. 9).



Obr. 8. Pohled na železniční trať 097 z Lovosic do Teplíc v Čechách [36].



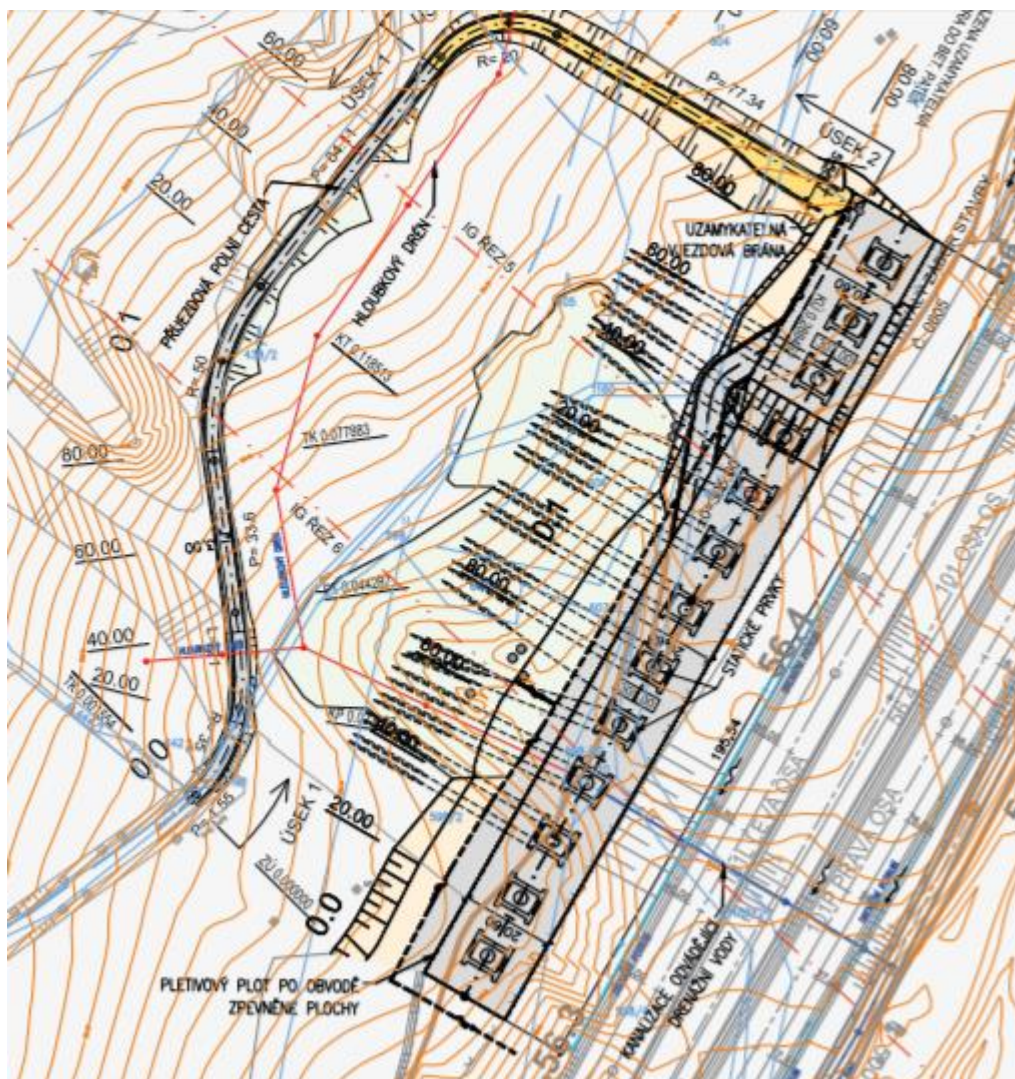
Obr. 9. Pohled na sesunutý svah s lomem Dobkovičky [36].

5.3.3. Kotvení sesunutého svahu

Na základě zvolené varianty technické studie proveditelnosti II. etapy sanace sesuvu na D8 byla realizováno kotvení statických prvků provedených technologií podzemních stěn v prostoru nad dálničním tělesem, dále pak odvodnění území nad tělesem komunikace pomocí hloubkového drénu a odvedení drenážních vod do stávající vodoteče do Labe. Pro tuto etapu bylo nutností

odtěžení celého prostoru tělesa dálnice zasaženého sesuvem až na úroveň smykové plochy sesuvu. Ta byla uvažována v hloubce 10 metrů pod úroveň terénu [38].

Dále bylo vytvořeno 13 statických prvků vetknutých na hloubku 15 m do podloží pod smykovou plochu. Prvky jsou navrženy o tloušťce 1 m, rozteči 14,6 m a celkové délce 25 m. Studny mají vnější rozměr 8,8 x 8,4 m a vnitřní 6,8 x 4,6 m. Kotvení bylo na základě stabilitních a statických přepočtů ponecháno již jen u prvků č. 3-11 a došlo ke zkrácení prvků č. 1, 2, 12 a 13 na délku 23 m [38]. Na obrázku 10 je vidět situace řešení stability řešeného svahu pomocí hloubkového drénu, třinácti studen, které jsou zajištěny předpjatými kotvami.



Obr. 10. Situace řešení stability svahu [38].

Statické prvky jsou tuhá tělesa uzavřeného průřezu charakteru studny, kdy je v půdorysu profil každého prvku tvořen dvěma lamelami tvaru I a dvěma přímými lamelami. Právě přímé lamely jsou umístěny v rovině pásnic I-lamel, tím způsobují vyšší tuhost prvku. Tyto prvky jsou navrženy jako tzv. otevřený systém, a tak je umožněna téměř okamžitá reakce v případě zjištění varovného stavu v rámci monitoringu. Z prostoru studně je možné v případě potřeby provést dodatečné kotvení či odvodňovací vrty. Prvky jsou odvodněné ve dně a opatřené šterkovým zásypem [38].

Pro zajištění stability byly použité trvalé 4 předpjaté kotvy na jeden I prvek, tzn. celkem 8 kotev na jednu studnu. Na obrázku 11 je ze snímku vidět, jak takové vrtání probíhá. Každá tato kotva je pramencová předpjatá 1570/1770 s únosností 1300 kN s injektovaným kořenem. Délka kotev činí 45 m, resp. 50 m, délka injektovaného kořene je 20 m, 20 °, resp. 30 °. U vybraných kotev je instalován dynamometr pro měření napětí v pramencích [38].



Obr. 11. Vrtání pramencových kotev u studen [38].

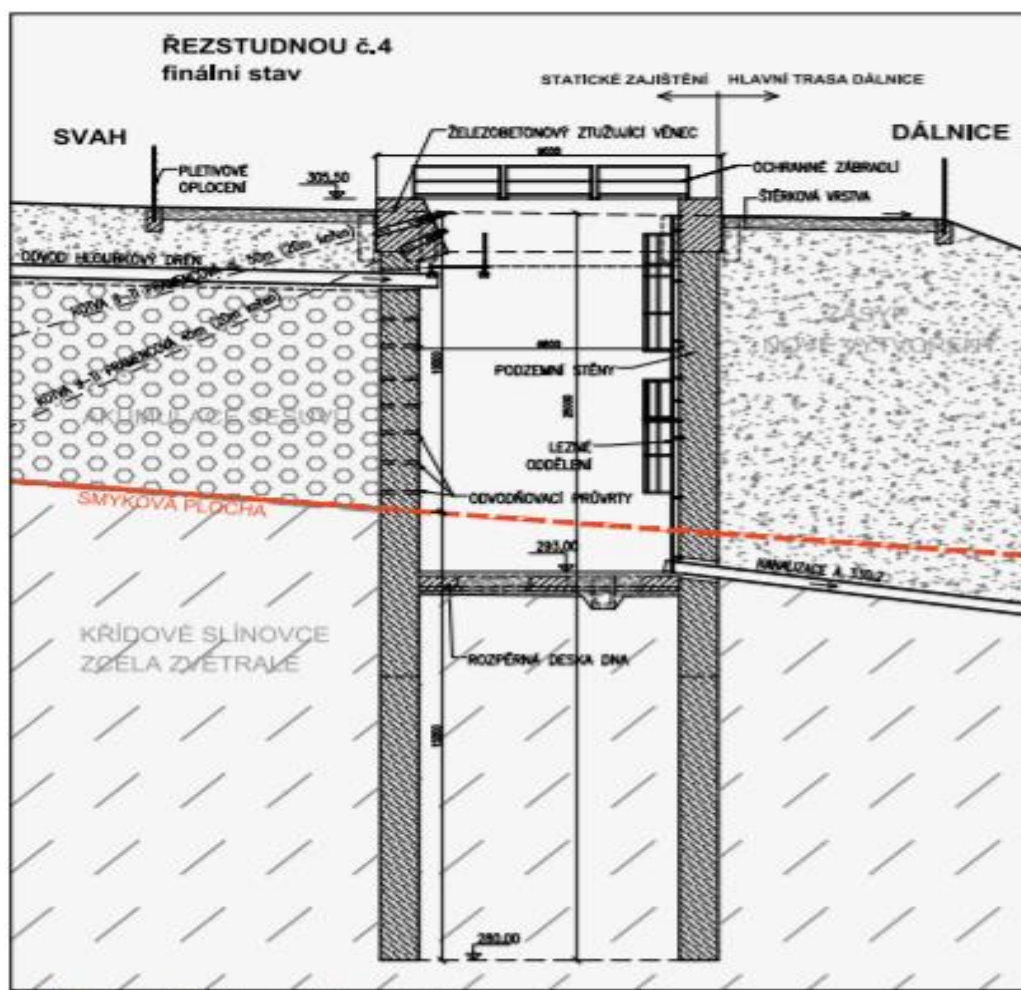
Vzhledem k tomu, že se ve svahu vyskytuje velké množství podzemních vod, bylo tak zapotřebí, aby se voda odvedla ze svahu a tím se snížilo riziko dalšího vzniku sesuvu. Proto byl zrealizován hloubkový drén (obr. 12), jež je tvořen dvěma větvemi kanalizace profilu DN 400. Páteřní větev je napojena do statického prvku č. 4, přes který odtéká voda do kanalizace. Zjištěné přítoky podzemních vod byly zjištěny v rámci monitoringu i v suchém období [38].

Kotvení je ovšem velkou hroznou pro budoucnost, jelikož není tak hluboké, jak by mělo být. Dále se neví, co vyvolají vibrace způsobené s provozem na příslušném úseku D8 s tělesem komunikace. Proto je v úseku Prackovické estakády zajištěn komplexní geotechnický monitoring dálnice, ale i jejího okolí pomocí náklonoměrů, inklinometrických vrtů, hydrogeologických vrtů, měřidel pórových tlaků a automatické měření pevných geodetických bodů, který by měl odhalit problémy v dostatečném předstihu tak, aby se mohly včas provést nápravná opatření. Sto měřících bodů zajišťuje a archivuje data z monitoringu, jež jsou pravidelně prezentována pro podklady Rady geotechnického monitoringu [39].

Ve fázi dodatečného kotvení nad Prackovicemi byla realizována vysokotlaká injektáž betonu u pilíře horní i dolní estakády. Dříve již bylo postaveno 120 pilot ve zhruba 200 metrů dlouhé stěně pod násypem mostu, které by měly zajistit nestabilní svah. Tyto piloty sahají do hloubky 16 metrů [40].

Monitoring ukazoval na nestabilitu estakády již v říjnu 2016, kdy se propadla podpěra mostu. Tím musela být rozebrána část dokončené dálnice a odtěžen násyp o objemu desítky tisíc tun. Součástí oprav byla i šestnáctimetrová odvodňovací stěna a padesátimetrové kotvy [41].

Podrobná data o stavbě jsou v tabulce 2.



Obr. 12. Řez studnou č. 4 [38].

Tabulka 2. Podrobné údaje o stavbě.

Název stavby:	D8-0805 Lovosice – Řehlovice
Místo stavby:	Ústecký kraj
Druh stavby:	novostavba, liniová
Hlavní trasa:	
Délka:	16,413 km
Kategorie:	D 27,5/120
Plocha vozovek:	339 600 m ²
Tunely – celkem:	2 (890 m)
Mosty – celkem:	29 (z toho 19 na dálnici)
Stanovisko EIA:	11/1996
Schválení investičního záměru:	07/2002
Vydání územního rozhodnutí:	03/2002
Vydání stavebního povolení:	06/2007
Vyhlášení výběrového řízení:	06/2007

Zahájení výstavby:	10/2007
Uvedení do provozu:	12/2016 [23]

5.4. Vyhodnocení sesuvu na D8

Tabulka 3 obsahuje vyhodnocení dopadů sesuvu na veřejná aktiva metodou What, If [6,42].

Tabulka 3. Výsledky What, If analýzy. Dopady sesuvu svahu na dálnici D8 dle dat výše uvedených.

Aktivum	Možné dopady pohromy na aktivum
Životy a zdraví lidí	Ztráty na životech, anebo poškození zdraví u lidí, kteří jsou na dálnici, ve vlaku, v blízkém okolí dálnice, na svahu.
Bezpečí lidí	Narušení u lidí na dálnici, v blízkém okolí dálnice, ve vlaku, na svahu. Vznik paniky.
Majetek	Poškození dálnice, majetku v blízkém okolí, kamenolomu a vlakové trati.
Veřejné blaho	Panika lidí v okolí. Narušení dopravního spojení nejen na dálnici, ale i na drážní trase. Ekonomické ztráty nejen na veřejném majetku, ale i na snížení komfortu dopravy – dopravní zácpy na místních komunikacích, zvětšení doby přepravy.
Životní prostředí	Znečištění půdy, podzemní vody, poškození fauny a flóry v místě a blízkém okolí sesuvu.
Infrastruktury a technologie	
Dodávky energií	Narušení trakčního vedení.
Dodávky vody	Znečištění podzemní vody. Prerušování dodávek vody při poruše vodovodního potrubí.
Kanalizace	Narušení kanalizačního potrubí.
Přepravní síť	Narušení dopravního spojení (železniční doprava a silniční doprava). Znehodnocení komunikace a trati.
Komunikační a informační sítě	Narušení informačních sítí Správy železnic a Ředitelství silnic a dálnic ČR.
Bankovní a finanční sektor	Vyšší náklady pojišťoven na úhrady škod. Vyšší náklady na odstranění sesuvu a zajištění svahu.
Nouzové služby	Vytížení IZS. Zvládnutí obnovy trati a dálnice.
Základní služby v území (průmysl, zemědělství, zásobování, zdravotnictví, likvidace odpadů, sociální služby, pohřební služby)	Prerušování zásobování, provozu v kamenolomu, vysoké náklady na likvidaci škod po sesuvu svahu.
Státní správa a samospráva	Zvýšené nároky na obnovení funkčnosti služeb v okolí, zvládnutí paniky.

Při přípravě stavby dálnice bylo úplně zapomenuto na skutečnost, že trasa vede územím, kde hrozí sesuvy.

Dálnice se nachází v těsné blízkosti lomu Dobkovičky, ale ten se dle leteckých snímků map zásadně nezvětšoval. Trasa dálnice protíná chráněné ložiskové území blízkého lomu, a tak se v minulosti vedly spory o tom, zda za sesuv (obr. 13) nemůže těžba v lomu. Toto bylo později vyloučeno [35 v čase videa 02:05-02:32].

Při přípravných pracích v 90. letech minulého století byl proveden průzkum pomocí vrtů v zájmové oblasti pouze v trase projektované dálnice D8, nikoliv v ploše jejího okolí. Znázorněno na obrázku 14 [35].

Již dříve byly vymezené potenciální nestabilní části svahu kopce Kubačka. Vrtů v místě sesuvu byly hloubené pouze do hloubky 12 metrů, a to ještě v době, kdy byl původní terén. Ten

byl ještě o 6 metrů horninového masivu odstraněno při realizaci zářezu. Po realizaci zářezu byla stabilita svahu narušena [35 v čase videa 02:33-03:13].



Obr. 7. Fotografie sesuvu svahu [43].



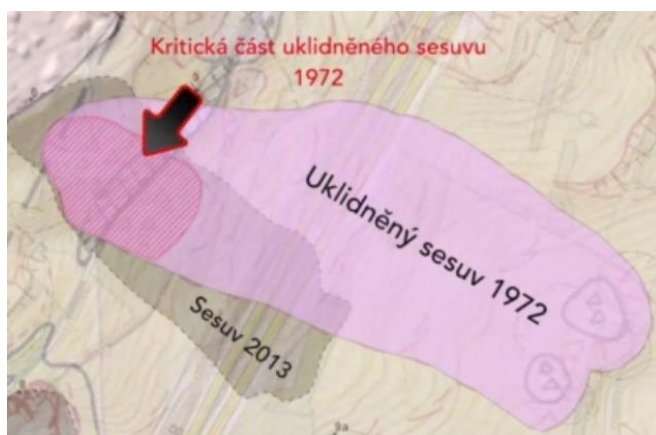
Obr. 8. Znáornění průzkumných vrtů [35 v čase videa 02:41].

Okolí dálnice je tvořeno vulkanickými a podložními křídovými horninami. Oblast je známá tím, že zde probíhaly sesuvy půdy již od začátku čtvrtohor. Například v letech 1882, 1898, 1900 a 1939 byl sesunut vrch ve vzdálenosti 14 km od Dobkoviček [35 v čase videa 03:15-04:10]. Okraj čedičového příkrovu ležícího na jílech je rozlámán na jednotlivé bloky, ty se postupně zabořují do měkkého podloží a posouvají se gravitačně po svahu dolů. Zároveň postupně zvětrávají a rozpadají se [35 v čase videa 04:11-04:30]. V archivu České geologické služby [44] je území dokumentované jako potenciálně sesuvné.

Geomorfologická mapa [44] byla sestavena v rámci inženýrsko-geologického průzkumu v roce 1972 pro tuto dálnici dokumentuje oblast horninového prostředí včetně sesuvu. Tento sesuv,

jenž je vyznačen na obrázku 15, odpovídá svou polohou sesuvu, který se stal v roce 2013 [33,35 v čase videa 04:31-05:55].

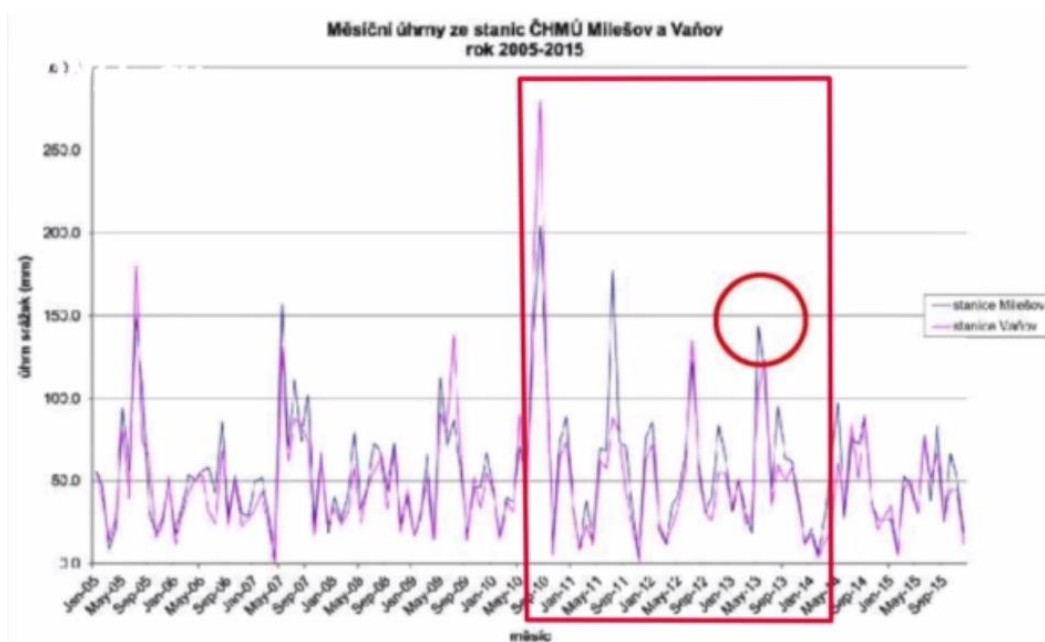
První malé sesuvy v místech zářezu dálnice a deformace ve svahu k lomu byly již v roce 2009 a doprovázely je projevy podzemních vod [35 v čase videa 06:20-06:35]. Hladina podzemní vody však nebyla v době průzkumu zdokumentována.



Obr. 9. Sesuv svahu v rámci průzkumu a reálný sesuv [35 v čase videa 05:14].

Ve stavebním deníku [35 v čase videa 06:35-06:45] byly již od 10. dubna 2013 zaznamenány deformace pláně a následně i trhliny. Tyto tahové trhliny začaly 11. dubna v místě zářezu dálnice, dále pod železniční tratí 5. června. Tato trhlina se shoduje s dokumentovanou trhlinou v místě sesuvu. Trhlina v místě lomu byla poslední poznamenaná, a to až 6. června. Poté až následoval sesuv [35 v čase videa 06:45-07:05].

V tříletém období, jež předcházelo sesuvu svahu byly srážky nad dlouhodobým průměrem. Tato skutečnost je vyobrazena na obrázku 16, kde jsou vidět úhrny srážek (mm) za jednotlivé měsíce od roku 2005 do roku 2015 [31 v čase videa 08:35-08:45]. To mělo za následek nasycení horninového prostředí vodou.



Obr. 10. Úhrn srážek ve sledovaném období 2005-2015 [35 v čase videa 08:40-08:49].

Následovala plná saturace nasycení jemnozrnné horniny v místě smykové oblasti sesuvu. Spouštěčem sesuvu byly sice vydatné srážky před sesuvem, ale podmínky nasycení horninového masivu s dopady na stabilitní poměry území vznikaly již dlouhodobě v tříletém období [35].

Dopady sesuvu se vyvíjely i v čase po sesuvu [35,36]. Postupně došlo k následujícím jevům:

1. Zemina strhla i část skládky štěrku na okraji lomu Dobkovičky.
2. Sesuv způsobil poničení železniční trati 097 z Lovosic do Teplic v Čechách.
3. Nebyly žádné ztráty na životech, ani nedošlo k žádnému zranění lidí.
4. Po sesuvu začaly obyvatelům okolních obcí praskat stěny domů. V důsledku změn celé hydrogeologické situace po sesuvu svahu, začaly prameny vody vyvěrat na povrch v místech, kde v minulosti nebyly, a tak začaly poškozovat domy. Bylo tak poškozeno 21 domů.
5. Zároveň začal vysychat rybník v obci Prackovice, jež také způsobily změny v hydrologické situaci.

Ačkoliv k závalu dálnice došlo již na začátku června 2013, tak byla zemina odvážena až v listopadu 2014. Nicméně práce na odvozu zeminy probíhaly ještě začátkem roku 2015, viz obrázek 17. Zeminu zhotovitel odvážel na sedm kilometrů vzdálenou deponii u Řehlovic [36].



Obr. 11. Odstraňování zeminy po sesuvu [36].

Kvůli nestabilnímu podloží byl svah zpevněn piloty a vysokotlakou injektáží betonu, ale ani při tomto řešení není stoprocentně vyloučen další sesuv [37]. Dálnice není v současné době (únor 2021) zkolaudovaná, je jen v předčasném užívání [45].

6. PŘÍČINY ZVLNĚNÍ DÁLNIČNÍ SÍTĚ D47/D1-VÝSLEDKY STUDIA

Projekt dálnice D47 je projekt dnes již bývalé dálnice, jež byla původně uvažována jako spojnice Brna s hraničním přechodem do Polska. Na rozdíl od ostatních českých dálnic vznikl návrh dálnice až v roce 1963. Tento projekt byl přesto během plánování několikrát změněn, zkrácen, až nakonec byly jednotlivé úseky přesouvány do projektu dálnice D1. V roce 2006 byl tento projekt dálnice přesunut úplně a tím tento projekt dálnice D47 zanikl úplně. Sloučením těchto dvou projektů se celkově dálnice D1 prodloužila o 80,152 km [46,47].

6.1. Historie projektu dálnice D47

Dálnice D47 měla dle původních plánů začínat na 196. km dálnice D1 u Brna, kde se od D1 napojuje dálnice D2. Následně měla vést převážně cca 25 km stejnou trasou jako dálnice D1 až za Rousínov, kde se měla rozdějit na dvě samostatné větve D1 a D47 a spojit tak severní Moravu v ose Kojetín – Přerov – Lipník n. B. – Hranice – Ostrava se zbylou částí republiky. Dálnice D1 měla pokračovat směrem na Uherské Hradiště – Uherský Brod – Trenčín – Žilinu – Poprad – Prešov – Košice a pokračovat nejen na sousední Slovensko, ale měla vést až na hranice s Ukrajinou. Tento úsek Rousínov – Vyškov byl plánován jako původní projekt D47 [46-48].

První úsek D47 se začal realizovat v dubnu 1979, jednalo se o úsek dlouhý 6,775 km. Vzhledem k tomu, že se jednalo o společný úsek dálnic D1 a D47, tak byl pouze označován jako úsek D1. O pět let později následovalo další společné prodloužení těchto dvou dálnic, a to v úseku 0131 Brno-východ – Holubice. Tímto vznikla dálnice D47 o celkové délce 14,36 km. Na konci téhož roku začala realizace dalšího společného úseku Holubice – Tučapy, tento úsek o délce více než 9 km byl již značen jako dálnice D47. Následovala výstavba křižovatky, jež měla tento společný úsek dálnic D1 a D47 rozdějit na dvě samostatné větve. Celková délka dálnice D47 byla 23,4 km z toho činil asi 1 km samostatný úsek D47. Další navazující úsek Tučapy-Vyškov se začal realizovat v květnu 1989 a byl uveden do provozu o tři roky později [46]. Na obrázku 18 je fotografie z 30. července 1992, kdy došlo k dokončení úseku Tučapy – Vyškov včetně napojení na rychlostní silnici R46.



Obr. 18. Původní fotografie-dokončení úseku Tučapy-Vyškov [49].

Po roce 1989 však došlo k úplnému přehodnocení priorit u budování dálniční sítě. Dálniční spojení Slovenska přes Uherské Hradiště se zdálo jako neefektivní, zároveň bylo třeba propojit zlínskou aglomeraci, to způsobilo, že byla přeložena trasa dálnice D1 směrem na Kroměříž a Hulín s napojením na rychlostní silnici R55 [47].

Po rozdělení federace na Česko a Slovensko se v roce 1993 rozhodla vláda ČR o zkrácení trasy dálnice, tedy o začátku trasy dálnice D47, kde měla původně začínat u Brna a nově tedy začíná u Hulína [46]. Tímto krokem byla opět dálnice D47 na nule jak v počtu vybudovaných a zároveň i zprovozněných kilometrů. Tato změna způsobila také úpravu křižovatky u Hulína, jelikož zde měla na dálnici D1 navazovat už jen rychlostní silnice R49 do Zlína. Na sever dálnice D 47 do Ostravy a směr na jih rychlostní silnice R55 na Uherské Hradiště. Tím v roce 2007 začala realizace úseku dálnice D1 z Kroměříže do Hulína a vznikla tak velká dálniční křižovatka (obr. 19), tzv. *Moravská křižovatka*. Křižovatka byla uvedena do provozu 3. prosince 2010 nicméně se ještě v minulosti několikrát měnila, a to včetně jejího tvaru a parametrů [49].



Obr. 19. Moravská křižovatka – stavba [49].

Na konci devadesátých let byl opět vládou ČR u dálnice změněn začátek trasy, a to na křižovatku R35 a D1 u Lipníka nad Bečvou [47]. Dálnice D47 se z původních naplánovaných cca 170 km zkrátila na necelou polovinu, a to 80,152 km [46].

Záměrem vlády bylo předat část dálnice D47 z Lipníku nad Bečvou do Ostravy soukromé izraelské společnosti, měl to být jeden z prvních projektů PPP, tedy partnerství veřejného a soukromého sektoru [50]. Vzhledem k tomu, že měla být část dálnice D47 soukromá, bylo by dle vlády matoucí, kdyby druhá část dálnice z Hulína do Lipníku nad Bečvou zůstala státní, a tak vymyslela, že by se státní část dálnice D47 přejmenovala na D1. Tím by vznikla nová trasa D1, jež by vedla od Hulína kolem Přerova, až do Lipníku n/B. V Lipníku by navazovala na soukromou dálnici, jež by pokračovala dále k Ostravě. Jelikož dálnice D1 neměla v Hulíně končit, ale měla se stočit prudce na sever, došlo tak k nové úpravě křižovatky. Hlavní směry dálnice musely být přeprojektovány, a tím dálnice D1 opět pohltila část trasy, jež byla určena pro dálnici D47 [49].

20. května 2001 byla podepsaná mezivládní dohoda České republiky s Polskem o napojení dálnice D47 na polskou dálnici A1, která vede od státní hranice Česko – Polsko ve směru Rybník – Gliwice – Częstochowa – Piotrków Trybunalski – Łódź – Toruň až do Gdaňsku [46].

O rok později proběhlo slavnostní položení základního kamene „nové“ dálnice D47, kterého se zúčastnili i někteří členové vlády ČR, včetně tehdejšího premiéra [46,50]. Před volbami 2002 svěřila vláda, společně s ministrem dopravy, výstavbu a provoz dálnice izraelskému konsorciu Housing and Construction za 125 miliard korun, a to bez výběrového řízení. Dokončení stavby mělo být v roce 2009. Avšak nový ministr dopravy Milan Šimonovský tuto zakázku, jež provázelo podezření z korupce zrušil a následně byli vybráni noví dodavatelé [50]. Ovšem samotná výstavba prvního úseku Ostrava, Rudná-Hrušov začala díky politickým problémům až v říjnu 2003. Během dalších 14 měsíců následovala realizace dalších úseků dálnice, tím se rozestavěly úseky v celkové délce 41,456 km dálnice D47 [46].

Vzhledem k tomu, že pokusy o „zprivatizování“ dálnice D47 neskončilo dle očekávání a zároveň dálnice D1 vedla až k Lipníku nad Bečvou, tak v roce 2005 došlo k rozhodnutí, aby i poslední zbytek úseku dálnice D47 byl přecíslován na dálnici D1. V tom okamžiku se sice úsek dálnice z Lipníku n/B dál stavěl jako dálnice D47, ale do provozu se uváděla jako dálnice D1. V roce 2009 se dálnice D47 definitivně stala součástí dálnice D1, jež má celkovou délku 376,7 km. I když výstavba dálnice D47 trvala přes 30 let, tak ji pod tímto názvem v mapách nikdy nenalezneme [46,48,79,51].

6.2. Dopravní význam projektu dálnice D47

Stávající silniční doprava byla v regionech severní Moravy a Slezska ve směru jihozápad-severovýchod vedena převážně po silnicích první třídy (I/47, I/48 a I/58). Tyto silnice však dlouhodobě vykazovaly značné přetížení a zároveň nebyly přizpůsobené na tranzitní dopravu. Z těchto důvodů, ale i z důvodů přilákání významných investorů je dálnice důležitým prvkem [47].

Dálnice tak připojila Ostravu na stávající dálniční síť České republiky, čímž se výrazně odlehčila doprava na místních komunikacích, zkrátily se vzdálenosti při cestách, ale i čas a prostředky spojené se silniční dopravou. Dále se vytvořil předpoklad pro vstup významných investorů do regionů, oživil ekonomický rozvoj a tím se také snížila míra nezaměstnanosti v ostravsko-karvinské aglomeraci [47].

Mezinárodní význam dálnice D47 je takový, že je součástí větve VI.B multimodálního koridoru Transevropské sítě TEN (Trans Europe Net), jež prochází územím České republiky a je vedena směrem sever-jih v trase Katovice-Bohumín-Ostrava-Brno-Vídeň (obrázek 20). V Brně také dálnice navazuje na IV. multimodální koridor TEN, jež vede na trase Norimberk-Drážďany-Praha-Brno-Břeclav-Bratislava-Sofie-Istanbul (spojení na Jadran a Balkán). Nejbližší paralelní severo-jihní spoj prochází až v Norimberku ve Spolkové republice Německo, čímž se zvyšuje mezinárodní význam této dálnice D47 [47]. Dálnice D47 byla nakonec členěna do 8 úseků, tabulka 4.

Tabulka 4. Členění dálnice D47 na jednotlivé stavby [47].

Stavba	Úsek	Délka [km]	Kategorie
4704	Lipník nad Bečvou – Běloutín	15,387	D 34,0/120
4705	Běloutín – Hladké Životice	18,097	D 27,5/120
4706	Hladké Životice – Bílovec	11,682	D 27,5/120
4707	Bílovec – Ostrava, Rudná	11,677	D 28,0/120
4708	Ostrava, Rudná – Hrušov	8,540	D 28,0/120
47091/1	Hrušov – Bohumín, 1.stavba	4,460	D 28,0/120
47091/2	Hrušov – Bohumín, 2.stavba	4,200	D 28,0/120
47092	Bohumín-státní hranice ČR s Polskem (obr.7)	6,113	D 27,5/120
D47	Celkem	80,156	



Obr. 20. Fotografie úseku dálnice mezi Bohumínem a hranicí do Polska [47].

Trasa dálnice prochází poměrně úzkým územím, jež je ohraničeno z jedné strany Oderskými vrchy a ze strany druhé řekou Bečvou, dále pak řekou Odrou a chráněnou krajinnou oblastí (CHKO Poodří) [47]. Z geologického hlediska jde o velmi složité území, jelikož se v první polovině trasy jedná především o kvartérní sedimenty s neogenními jíly v hlubších polohách [46,47]. Inženýrsko-geologické poměry jsou vzhledem k území s nepravidelným výskytem podzemní vody značně komplikované [18]. Dále je průchod přes Ostravu přes poddolované území s doznívajícími poklesy s velkým nebezpečím výronu důlních plynů také spleť [47]. Trasa dále vede přes území tzv. *Moravské brány*, kde se nachází velmi významný koridor dopravních cest (silnice I/47, 2. tranzitní železniční koridor a v plánech zde potenciálně vede i průplav Dunaj-Odra) a koridor významných neregionálních inženýrských sítí. Všechny tyto koridory jsou v souběhu a jejich vykřížení s dálnicí je technicky velice náročné [47].

Vzhledem k tomu, že trasa dálnice vede velmi složitým geografickým územím, kdy překonává mnoho vodotečí, údolí, cest a dva ekodukty, tak na ní napočítáme 145 mostních objektů, jejichž délka je cca 16,5 km. Což znamená, že mosty na této dálnici tvoří přes 20 % z celkové délky trasy [47]. Na trase dálnice D47 se také nachází dva tunely (Hrabůvka a Klimkovice). Tyto tunely jsou jedinými, které se vyskytují na celé budoucí dálnici D1 [46,47,51].

Tunel Hrabůvka se nachází na úseku 4704, jedná se o hloubený přesýpaný tunel, tzv. ekodukt, který převádí silnici 3.třídy, plynovod a Drahotušský potok [46,47] a slouží pro migraci zvěře (obr. 21).

Tunel Klimkovice (obr. 22) se nachází na úseku 4707, jedná se o částečně hloubený, v převážné části ražený tzv. Novou rakouskou tunelovací metodou [46,47].

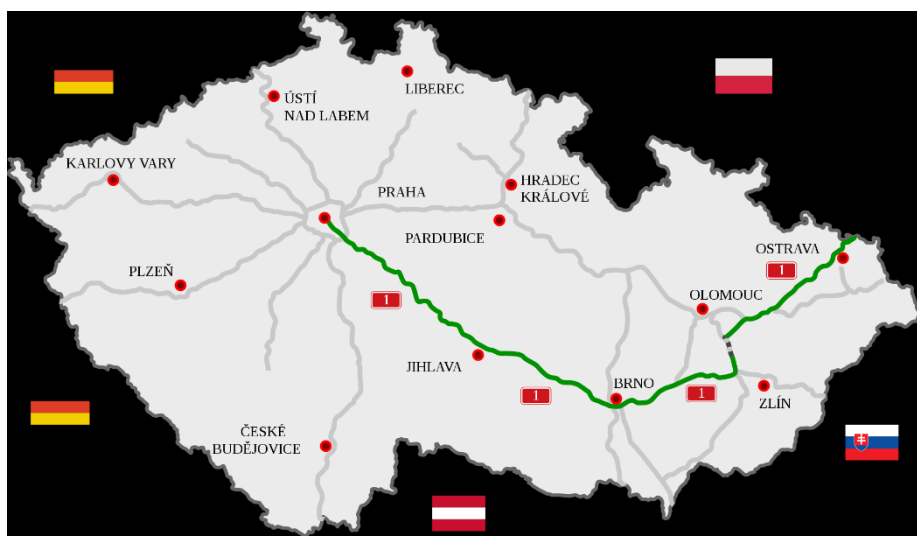
Dálnice D1 je nejdelší a zároveň nejstarší dálnici v České republice, jež spojuje největší města Prahu, Brno a Ostravu s hraničním přechodem do Polska, kde následně navazuje na dálnici A1 vedoucí do Gdaňsku. Trasa dálnice D1 je znázorněna na obrázku 23 zelenou barvou. Tato dálnice je naší nejfrekventovanější dálnicí, na nejvíce dopravně zatíženém úseku projede kolem 100 000 automobilů denně [48,51,54].



Obr. 21. Tunel Hrabůvka [52].



Obr. 22. Tunel Klimkovice [53].



Obr. 23. Vyznačení trasy dálnice D1 [55]

6.3. Spory o příčině zvlnění vozovky ohledně dálnice D47

Na webu Lidových novin byla zveřejněna následující časová osa ohledně sporů o vady po výstavbě dálnice D47 [50]:

- *prosinec 2007* - Otevření první části D47 v úseku Ostrava – Bohumín. Realizovalo konsorcium v čele se stavební firmou ODS – Dopravní stavby Ostrava (ODS-DSO), jež byla v roce 2009 převzata společností Eurovia CS.
- *červenec 2008* – Zvlnění povrchu dálnice na třech místech v úseku Ostrava – Bohumín. Mluvčí ODS-DSO se vyjádřil, že se do náspu pravděpodobně dostal materiál, jež tam nepatří.
- *červenec 2009* – Začaly opravy zdeformované D47, dle odborníků bylo zvlnění zapříčiněno rozpínáním materiálu, jež stavební firma použila.
- *červenec 2011* – Eurovia CS podala žalobu ve výši 30 milionů Kč na firmu Harsco Metal CZ, jež je nástupnickou firmou původního dodavatele strusky, která byla použita.
- *listopad 2011* – Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) si vyžádalo kontrolní vrty, ty odhalily, že se v podloží dálnice místo určeného materiálu nachází směs stavebního odpadu s materiálem, jež bobtná.
- *22. listopadu 2011* – Podle ŘSD nedodržela Eurovia CS při stavbě schválený postup a bobtnavý podklad byl použit i tam, kde měly být použity stálé materiály. Eurovia CS odmítla pochybení při stavbě dálnice D47.
- *19. prosince 2011* – Soud rozhodl, že Harsco Metal CZ má zaplatit téměř 30 milionů Kč Eurovii, s tím Harsco Metal CZ nesouhlasila a podala odpor.
- *27. prosince 2011* – Podalo ŘSD trestní oznámení na neznámého pachatele, jelikož měla státu vzniknout škoda až 262 milionů Kč při použití méně kvalitní strusky.
- *ledna 2012* – Lidové noviny uvedly, že bylo podáno trestní oznámení na neznámého pachatele kvůli nekvalitní strusce Ministerstvem dopravy.
- *13. ledna 2012* – Eurovia CS oznámila, že jsou podle ní tři mosty na dálnici v pořádku. ŘSD však na těchto mostech již v prosinci 2011 snížilo maximální rychlost na 60 km/h z údajně špatného stavu.
- *22. ledna 2012* – ŘSD na cca 9 km dlouhém úseku dálnice reklamovalo celkem 901 vad. Většina z nich se týkala mostních objektů, zbylé vady se týkaly mimoúrovňové křižovatky a samotné dálnice. Dle firmy Eurovia CS si většinu vad způsobilo ŘSD samo.

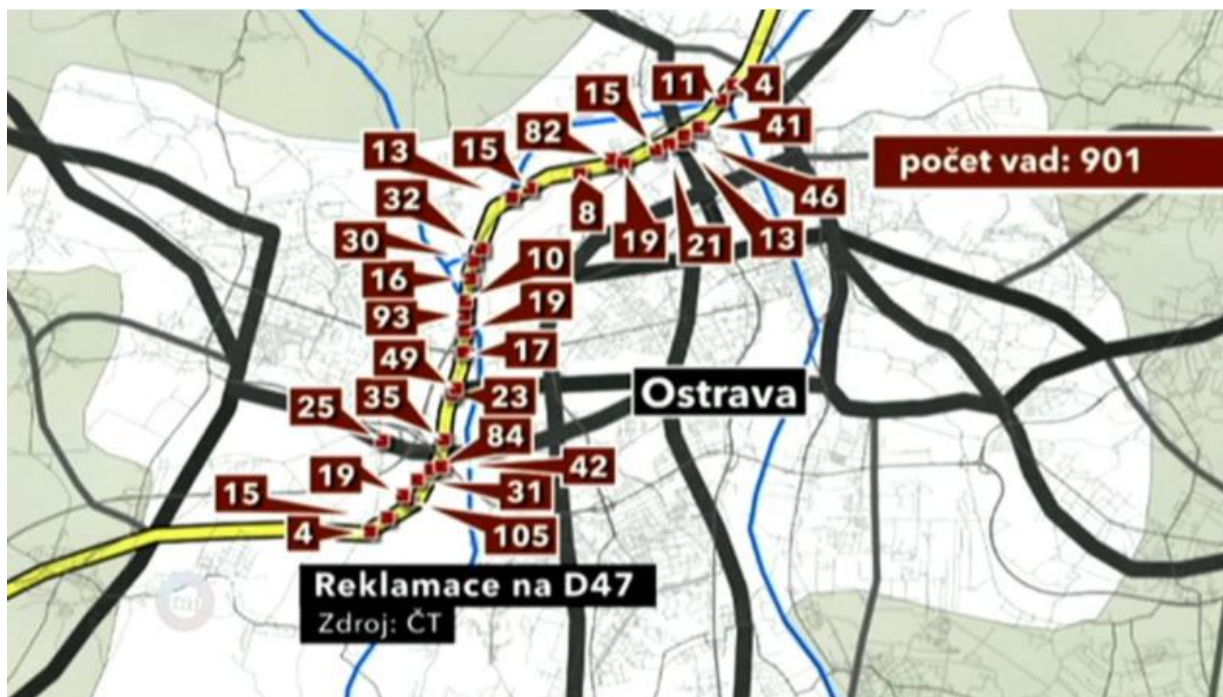
- *února 2012* – ŘSD vrátilo k opravě zvlněný úsek D47 firmě Eurovia CS, ta dle něj použila špatný podkladový materiál. Dále ŘSD rozšířilo trestní oznámení podané v souvislosti s dodávkou strusky.
- *dubna 2012* – ŘSD oznámilo, že získalo znalecký posudek, podle něhož stát celou dobu platil za něco jiného, než byla dodaná ocelárenská struska.
- *9. dubna 2012* – Eurovia CS podala k soudu žalobu na ŘSD, požaduje omluvu a náhradu za poškození pověsti ve výši 100 milionů Kč.
- *16. července 2012* – Podle Eurovia CS potvrdil Rozhodčí soud při Hospodářské a Agrární komoře ČR její právní názor o tom, že byla stavba předána a převzata v souladu se smlouvou o dílo.
- *9. listopadu 2012* – Ředitelka úseku kontroly kvality staveb ŘSD Pošvářová řekla, že nosná konstrukce mostů reziví a pilíře mostů na D47 sedají. Nedostatky odhalil audit německých expertů.
- *16. července 2013* – ŘSD reklamuje další úseky D47, největším problémem je tunel Klimkovice, jež stavěl Metrostav. Do tunelu na řadě míst zatéká a trhlinami prosakuje voda.
- *20. srpna 2013* – Policie nebude nikoho stíhat za zvlnění D47, trestní oznámení, jež podalo ŘSD odložila. ŘSD se následně obrátilo se stížností na Generální inspekci bezpečnostních sborů, jež se s ní zabývat nebude.
- *října 2013* – Stát vyhrál první arbitráž kvůli vadám na dálnici, dle rozhodčího soudu si stavební firmy Eurovia, Skanska a PORR neoprávněně účtovaly miliony korun [27].
- *24. října 2013* – Ministr dopravy Žák řekl, že na dálnici chybí přímo pod asfaltovým povrchem kamenná drť, jež má stabilizovat stavbu. Část z dálnice, která je v zprovozněná se tak bude zřejmě bourat. Eurovia uvedla, že může jít o předvolební boj a chce důkazy ministrova tvrzení.
- *června 2021* – Soud dal za pravdu po devíti letech ŘSD. Závady na dálnici mezi Antošovicemi a Bohumínem musí zhotovitel opravit. Jedná se o první ze tří reklamovaných úseků.

Dá se očekávat, že i u zbývajících dvou reklamovaných úseků u Ostravy, které jsou ještě v horším stavu, bude soud rozhodovat stejně [57]. Tento úsek mají firmy dle soudu opravit do 18 měsíců [58].

Úsek, o kterém rozhodl soud, je dlouhý 6 km, avšak vady se projeví na cca 20 procentech z jeho délky. Jedná se především o zvlněnou vozovku, vady na mostech a na zvlněném povrchu na odpočívce Antošovice. Další zvlněné úseky od Antošovic až po Ostravu, Rudnou jsou dlouhé 13 km. Tady jsou vady dle Hlavatého z ŘSD mnohem rozsáhlejší [58].

V roce 2014 se také objevily trhliny na mostech na přivaděči k D1 (dříve D47) v Ostravě, Přívoze. Podle vyjádření Eurovia CS se ŘSD o mosty špatně staralo, a navíc při jejich výstavbě požadovalo použití nevhodného materiálu, tzv. studeného odvalu. ŘSD se obhazuje tím, že stavební společnosti nedodržely požadovanou technologii pro výstavbu [58]. Tyto mosty mají problémy s ložisky a s posunem přechodu mezi vozovkou a mostní konstrukcí [59]. Celkem se jedná o 901 vad, které se vyskytují na řešené dálnici - obr. 24.

Spor o vady na dálnici trvá už od roku 2011, tehdy se na nové dálnici zvlnil povrch a ŘSD na poškozených úsecích u Ostravy nechalo provést první kontrolní vrty. Silničáři tvrdili, že zhotovitel (tehdy firma Dopravní stavby Ostrava, kterou odkoupila Eurovia CS) nedodržel domluvený postup výstavby a většina vad tak vznikla použitím nekvalitního podkladového materiálu. Eurovia potvrdila, že vady souvisí se špatným materiálem, nicméně reklamace odmítá, jelikož jeho použití požadovalo ŘSD [60].



Obr. 24. Vady na dálnici D47 [60].

První opravy dálnice začaly už 7 měsíců po jejím slavnostním otevření. Úsek je v provozu od prosince 2007. V roce 2012 podalo trestní oznámení na neznámého pachatele a na zhruba devítikilometrovém úseku mezi Běloučkou a Ostravou reklamovalo 901 vad (obr. 11). Případ byl odložen jako předchozí pokusy. Vyšetřovatel však uznal, že stavební firma fakturovala za něco jiného, než ve skutečnosti dodala a že dálnice nebyla postavena dle smlouvy [60-62].

Podle tehdejší mluvčí ŘSD Niny Ledvinové byl objeven nevhodný materiál v násypu, dle detailní expertizy obsahu a původu nalezeného odpadu – gumových pneumatik [61,62]. Tomáš Jarolím, který byl místopředsedou Věcí veřejných se k případu vyjádřil tak, že při posledních kontrolních výkopech prý byla nalezena vrstva uložených pneumatik již v hloubce 1,2 m pod terénem. Dále uvedl v tiskové zprávě: „Jen v jednom výkopu o rozměrech čtyři krát tři metry bylo odkopáno šest pneumatik,“ a jiná sonda jasně ukázala využití různorodého odpadu v násypové vrstvě komunikace, a to v rozporu se zadávacími podmínkami a projektovou dokumentací [61].

Podle Eurovia se dělaly sondy v místech dočasných záborů, která leží mimo hlavní těleso dálnice a dané kusy pneumatiky prý leží tak hluboko pod úrovní, kde Eurovia v rámci projektu nezasahovala [61]. Dále společnost Eurovia podala 17. února 2012 žalobu k Rozhodčímu soudu, jelikož chce ŘSD vrátit k opravě zvlněný úsek s tím, že stavba nebyla řádně dokončena a předána [61,62].

6.4. Výsledky šetření příčin vad a vyhodnocení škod

Z výše uvedených šetření vyplývá, že při realizaci stavby dálnice nebyly dodrženy technologické postupy, a především nebyl použit vhodný materiál pro výstavbu dálnice. Sondy prokázaly, že dálnice nestojí jen na odvalu z těžební činnosti, jak bylo původně požadováno projektanty, ale přímo na „sметиšti“. Jelikož se v místě tělesa dálnice našly například kusy dřeva, pneumatiky či vana [63]. Právě to s největší pravděpodobností způsobilo vlnění dálnice.

Dle ŘSD byly hlavní příčinou vad vozovky skryté vady podloží vozovky, které spočívají v nedodržení mocnosti a správného materiálového složení jednotlivých vrstev násypu stavby a v použití nedovolených materiálů v násypech, a to hlavně tzv. ocelářské strusce, u které dochází k velkým objemovým změnám [64]. Dle slov tehdejšího šéfa ŘSD Reného Poruby „přičemž tyto změny budou podle vyjádření odborníků pokračovat“[64].

V zadávací dokumentaci bylo dle ŘSD uvedeno, o jaký druh materiálu se bude jednat, a to včetně upřesnění lokality, odkud má vysokopecní struska pocházet. Jednalo se o strusku z odvalu Hrabová, uhelná hlušinová sypanina z odvalu Dolu Paskov a použit měl být také studený odval NH [64]. Avšak v průběhu stavby se ukázalo, že této strusky není dostatek, a tak byla stavební firmou nahrazena ocelářskou. Dle Eurovie tuto změnu schválilo ŘSD. ŘSD naopak tvrdilo, že žádný takový dokument, jenž by se náhradou materiálu týkal nikdy nevidělo [64].

Stavební firma Eurovia přiznala, že použitý materiál není v pořádku, a tak v roce 2011 zažalovala dodavatele tohoto materiálu (ocelářské strusky) firmu Harsco Metals CZ. Tato společnost se zavázala, že bude materiál odpovídat projektové dokumentaci svými technickými vlastnostmi [38]. Tato struska však neodpovídala nejen svými vlastnostmi projektové dokumentaci, ale také technickým kvalitativním podmínkám staveb (TKP) a zvláštním technickým kvalitativním podmínkám staveb (ZTKP), jelikož vykazuje objemovou nestálost, jež je příčinou reklamovaných nerovností na předmětném úseku dálnice. Stavební firma se tak odvolávala na znalecký posudek, v němž se píše: „že zdrojem sledovaných objemových změn na dálnici jsou procesy hydratace a karbonatace heterogenní, netříděné ocelářské strusky, která je smíšená s hutním materiálem, a tato struska způsobuje objemovou nestálost“[64].

Spor o viníkovi byl vyřešen až po skoro deseti letech Rozhodčím soudem při Hospodářské a Agrární komoře v červnu 2021. Ten rozhodl, že řešený úsek vozovky musí stavební firma opravit na vlastní náklady [65]. Sdružení zhotovitelů tak má do 18 měsíců provést odstranění vad a to i včetně jejich příčin. Oprava má být provedena tak, aby se vozovka v budoucnu již nezvlnila [65]. Přesto, že společnost Eurovia CS dálnici na severní Moravě zbřídila, tak dál staví pro stát jako by se nic nestalo. V den, kdy se uvedlo ve známost, že prohrála spor s ŘSD o zvlněnou dálnici D47, tak byl zahájen projekt dálnice D4. Představitelé stavební společnosti se po poklepání kladívkem na základní kamen vyjadřovali novinářům o výhodnosti stavby pro veřejnost. O vyjádřené lítosti či omluvě ze strany firmy nebylo nikde ani slovo [65].

Škody na veřejných aktivech vyhodnocené metodou What, If [6,42] jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5. Výsledky What, If analýzy. Dopady zvlnění dálnice veřejná aktiva dle dat výše uvedených.

Aktivum	Možné dopady pohromy na aktivum
Životy a zdraví lidí	Ztráty na životech, anebo poškození zdraví u lidí, kteří jsou na dálnici a v blízkém okolí dálnice.
Bezpečí lidí	Narušení u lidí na dálnici, v blízkém okolí dálnice.
Majetek	Poškození dálnice, majetku (zejména silniční dopravy) a majetku v blízkém okolí a vlakové trati.
Veřejné blaho	Narušení dopravního spojení na dálnici. Ekonomické ztráty nejen na veřejném majetku, ale i na snížení komfortu dopravy – dopravní zácpy na okolních místních komunikacích, zvětšení doby přepravy.
Životní prostředí	Znečištění půdy, podzemní vody, poškození fauny a flóry v místě a blízkém okolí.
Infrastruktury a technologie	
Dodávky energií	Narušení trakčního vedení.
Dodávky vody	Znečištění podzemní vody. Prerušování dodávek vody při poruše vodovodního potrubí.

Kanalizace	Narušení kanalizačního potrubí.
Přepravní síť	Narušení silničního spojení. Znehodnocení komunikace.
Komunikační a informační sítě	Narušení informačních sítí Ředitelství silnic a dálnic ČR.
Bankovní a finanční sektor	Vyšší náklady pojišťoven na úhrady škod. Vyšší náklady na odstranění zvlnění dálnice.
Nouzové služby	Vyřízení IZS. Zvládnutí obnovy dálnice a okolí.
Základní služby v území (průmysl, zemědělství, zásobování, zdravotnictví, likvidace odpadů, sociální služby, pohřební služby)	Přerušování zásobování okolí i zahraničí, vysoké náklady na likvidaci škod zvlnění dálnice.
Státní správa a samospráva	Zvýšené nároky na obnovení funkčnosti služeb v okolí, zvládnutí paniky.

Je třeba konstatovat, že zvlnění vozovky, tj. podobné problémy se vyskytly i u jiných dálnic. Již v roce 2010 se začaly objevovat první potíže s nekvalitní výstavbou u dálnice D11 v úseku u Hradce Králové. V tomto případě vedla dálnice bažinatým územím, v němž stavební průzkum neodhalil vysokou hladinu spodní vody. Pokud by byla trasa vedena o kus vedle, problém by prý údajně nevznikl. O náklady na opravu tohoto úseku se nakonec podělila jak realizační firma Skanska, tak i ŘSD. Rekonstrukce tehdy stála cca 100 milionů korun [60]. Naopak se v roce 2014 u mostu mezi Veselím nad Lužnicí a Tábořem na dálnici D3 vyskytly problémy s prosakováním vody, které by v zimě mohly ohrozit bezpečnost provozu [59,60].

7. ZÁVĚR

Článek se dále zaměřuje na rizika sledovaná u technických děl, a to konkrétně riziky spojených se základovými podmínkami dálnic. Nejprve shrnuje stručně legislativu, v níž jsou požadavky na kritickou infrastrukturu a výstavbu dálnic v České republice. Poté se zabývá historií dálnic na našem území obecně.

V první části shrnuje průběh selhání základových podmínek u dálnice D8, jejíž trasa vede z Prahy přes Lovosice, Ústí nad Labem až na hraniční přechod s Německem Krásný Les/Breitenau, kde navazuje na německou dálnici A17 do Drážďan. V příspěvku je na základě studií postupně zdokumentován vývoj sesuvu svahu u obce Dobkovičky. Ačkoliv se stavba dálnice D8 potýkala s různými nástrahami, tak se jí podařilo uvést do provozu, a to i přes to, že prochází Chráněnou krajinnou oblastí Českého středohoří s velmi složitými geologickými podmínkami, které jsou pořád velmi podceňovány. Z tabulky 3, jež se zaměřuje na dopady sesuvu svahu na dálnici je zřejmé, že má sesuv na dálnici velké dopady na bezpečí lidí, kteří se nachází v daný okamžik na dálnici a v jejím blízkém okolí. Dalším extrémním dopadem se jeví velké ztráty nejen na majetku, ale také narušením infrastruktury a technologií spojených s komunikační a přepravní sítí.

V druhé části jsou sledovány problémy zvlněné vozovky na dálnici D47, která je součástí dnešní dálnice D1. Z tabulky je zřejmé, že má nerovnost na dálnici velké dopady nejen na poškození majetku, narušení infrastruktury a technologií spojených s komunikační a přepravní sítí, ale i dopady na životy a zdraví lidí, kteří se nachází na dálnici a v jejím blízkém okolí. Zvlnění má bezpochyby velký vliv na přerušování zásobování nejen v okolí, ale zejména i v zahraničí. Dalšími velkými dopady zvlnění dálnice jsou na veřejné blaho, nejen ekonomické na veřejném majetku, ale i snížení komfortu dopravy, jelikož vzniknou dopravní zácpy na okolních místních komunikacích a výrazně se zvýší doba přepravy.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN 978-80-01-06180-0, e-ISBN:78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN: 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208 p.
- [4] ČR. *Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)*.
- [5] ČR. *Nářízení vlády č. 432/2010 Sb., o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury*.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza a řízení rizik*. ISBN: 978-80-01-04841-2. Praha: ČVUT 2011, 405 p.
- [7] ASB PORTAL. *Řízení rizik inženýrských staveb*. <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrskestavby/doprava/řízení-rizik-inzenyrskych-staveb>
- [8] ATE CR. *Hydrologický průzkum*. <https://www.ate-cr.cz/hydrogeologicky-pruzkum>
- [9] SVĚT GEOLOGIE. *Geologické mapování*. <http://www.geology.cz/svet-geologie/poznej-geologii/geologicka-temata/geologicke-mapovani>
- [10] SILNICE+MOSTY. *Chyby při posuzování únosnosti a navrhování úpravy podloží vozovek*. <https://www.silnice-mosty.cz/594-chyby-pri-posuzovani-unosnosti-a-navrhovani-upravy-podlozi-vozovek/>
- [11] ČR. *Vyhláška č. 146/2008 Sb., o rozsahu a obsahu projektové dokumentace dopravních staveb*.
- [12] ČR. *Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*.
- [13] ČR. *Nářízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích*.
- [14] ČR. *Nářízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*.
- [15] ČR. *Zákon České národní rady č. 360/1992 Sb., o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě*.
- [16] ČESKÉ DÁLNIČNICE. *Historie dálnic*. <http://www.ceskedalnice.cz/odborne-info/historie-dalnic/>
- [17] HOSPODÁŘSKÉ NOVINY. *Chci projekt dálnice, která povede přes celou zemi. Do týdne. Na Baťovy plány v nové knize vzpomíná jeho tajemník*. <https://archiv.ihned.cz/c1-66689510-chci-projekt-dalnice-ktera-povede-pres-celou-zemi-do-tydne-na-batovy-plany-v-nove-knize-vzpomina-jeho-tajemnik>
- [18] ČESKÉ DÁLNIČNICE. *Návrh Páteřní komunikace Československem J. A. Bati*. <http://www.ceskedalnice.cz/image/historie/h01b.jpg>
- [19] WIKI. *Dálnice v Česku*. https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C3%A1lnice_v_%C4%8Cesku
- [20] ČESKÉ DÁLNIČNICE. *Plán křížení německé autostrády s naší magistrálou u Brna*. <http://www.ceskedalnice.cz/image/historie/h04b.jpg>
- [21] WIKI. *Dálnice D8*. Wikipedie. https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C3%A1lnice_D8
- [22] ČESKÉ DÁLNIČNICE. *Tabulka s daty zprovoznění jednotlivých úseků mezi lety 1971 a 2019*. <http://www.ceskedalnice.cz/odborne-info/>
- [23] ČESKÉ DÁLNIČNICE. *Stav dálniční sítě v České republice k 15.12.2020*. <http://www.ceskedalnice.cz/image/mapa-velka.png>
- [24] ČR. *Zákon č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek*.
- [25] WIKI. *Srbská stezka*. Wikipedie. https://cs.wikipedia.org/wiki/Srbsk%C3%A1_stezka
- [26] MUZEUM KRALUPY. *Pravěké cesty na Kralupsku a Velvarsku ve světle archeologických*. http://muzeum-kralupy.cz/wp-content/uploads/2019/02/Obr.1-Srbska-cesta-podle-I.Vavry_.jpg
- [27] WIKI. *Pan-European Corridor IV*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Pan-European_Corridor_IV
- [28] BBC CZECH. *Ani další jednání o dálnici D8 nedospěla k dohodě*. http://www.bbc.co.uk/czech/domestic-news/story/2004/12_printable/041220_cz_highway_1810.shtml
- [29] DĚTI ZEMĚ. *Dnes v Ústí nad Labem třetí jednání o dálnici D8*. <http://detizeme.cz/zprava.shtml?x=213955>
- [30] ČESKÉ DÁLNIČNICE. *Dálnice D8*. <http://www.ceskedalnice.cz/dalnice/d8/>
- [31] MD ČR. *Informační leták Dálnice D8 Lovosice – Řehlovice stavba 0805*. https://www.mdcz.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Dalnice-D8-je-pro-zprovozneni-bezpecna,-informaci/infoletak_d8-lovosice-rehlovice_1470844920027.pdf.aspx
- [32] PAŠEK, J., JANEK, J. *Inženýrskogeologický průzkum dálnice D8 v úseku Chotiměř—Radejčín, km, 1972, 62.2-67.8, I. Etapa*. Praha: MS Geologický ústav ČSAV.
- [33] PAŠEK, J., et al. *Engineering Geological Survey of D8 Motorway in part Chotiměř—Radejčín, km 62.2–67.8, II. stage*. Final Report of Geological Institute of Czechoslovak Academy of Sciences Praha and (in Czech) Inženýrskogeologický průzkum dálnice D8 v úseku Chotiměř—Radejčín, km, 1972, 62.2-67.8.
- [34] KLIMEŠ, J. *Slope deformations map along highway D8 between the villages of Dobkovičky and Prackovice nad Labem*. *Geoscience Research Reports*, 51 (2018), 2, 201–205.
- [35] IDNES. *Video: Sesuv na dálnici D8 u obce Dobkovičky*. https://vod.idnes.cz/1907/12/VF19071_120035_flv_middle_jaha.mp4

- [36] AKTUÁLNĚ.CZ. *Fotografie sesuvu svahu na D8*. <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/dalnice-do-drazdan-hotova-koncem-pristihho-roku-leda-nahodou/r~d57cdba2b1f611e49fc3002590604f2e/r~84dc1462b1ef11e4a10c0025900fea04/>
- [37] IDNES. *Sesuv na dálnici D8 se může při deštích opakovat, zjistili geologové*. https://www.idnes.cz/usti/zpravy/vysledky-geologickeho-pruzkumu-na-dalnici-d8.A140523_140055_usti-zpravy_alh
- [38] GRÜNWARD, L. Statické prvky zhotovené technologií podzemních stěn – jedno ze stabilizačních opatření sanace sesuvu na stavbě 0805 dálnice D8 nad obcí Litochovice. *Zakládání*. ISSN 1212-1711. XXIX (2017),1, pp. 11-19.
- [39] GS GEOTECHNIKA. *Geotechnický monitoring Prackovické estakády na dálnici D8*. <https://www.geotechnika.cz/cs/co-delame/reference/110-geotechnicky-monitoring-prackovicke-estakady-na-dalnici-d8>
- [40] IDNES. *Měření ukazují, že svah pod novou D8 v Českém středohoří je klidný*. https://www.idnes.cz/usti/zpravy/mereni-dalnice-d8-ceske-stredohori-prackovicka-estakada-klidny-svah.A180306_387387_usti-zpravy_vac2
- [41] DENÍK. *Svah u mostů dálnice D8 se nehýbe, uklidňují silničáři*. https://ustecky.denik.cz/zpravy_region/rsd-dal-pracuje-na-stabilizaci-d8-u-prackovic-piloty-jsou-hotove-20170406.html
- [42] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. [dspace.cvut.cz. http://hdl.handle.net/10467/85867](http://hdl.handle.net/10467/85867), doi:10.14311/BK.9788001066751
- [43] IDNES. *Fotografie sesuvu svahu*. https://img.ihned.cz/attachment.php/790/66675790/OU96RLoVyxq84aBI1hDreSEkfj370zb5/jarvis_56c741c0498ebce31c227ff7.jpg
- [44] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Digitální mapový archiv*. Praha: Česká geologická služba 2021. http://www.geology.cz/app/archiv/mproz.php?iddok=45986&tt_=d
- [45] ZDOPRAVY.CZ. *Účet za D8 se už vyšplhal na 11,6 miliardy korun a ještě poroste*. <https://zdopravy.cz/ucet-za-d8-uz-se-vysplhal-na-116-miliardy-korun-a-jeste-poroste-72344/>
- [46] WIKI. *Projekt dálnice D47*. Wikipedia. https://cs.wikipedia.org/wiki/Projekt_d%C3%A1lnice_D47
- [47] ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR. *Projekt D47: Dálnice D1: km 296,5-376,7 Lipník n. Bečvou – státní hranice Česko/Polsko*. Informační publikace. Praha: Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2013, 28 p.
- [48] ČESKÉ DÁLNIČNÍCE. *Dálnice D1*. <http://www.ceskedalnice.cz/dalnice/d1/>
- [49] ODERSKÝ ZPRAVODAJ. *Vznik a zánik dálnice D 47*. Příloha, Vlastivědné listy. http://m.odry.cz/assets/File.ashx?id_org=10908&id_dokumenty=437248, pp. 491-498.
- [50] LIDOVKY.CZ. *Smutný příběh D47: Od Zemanova izraelského debaklu po rezivějící mosty*. https://www.lidovky.cz/byznys/smutny-pribeh-d47-od-zemanova-izraelskeho-debaklu-po-rezivejici-mosty.A131024_105557_in-doprava_mev
- [51] WIKI. *Dálnice D1*. Wikipedie. https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C3%A1lnice_D1
- [52] MAPY.CZ. *Fotografie Ekodukt Hrabůvka (Tunel)*. https://d34-a.sdn.cz/d_34/c_B_C/LdBZrk.jpeg?fl=res,2200,2200,1
- [53] DOPRAVNIIINFO.CZ. *Fotografie tunel Klimkovic na D1*. <http://portal.dopravniinfo.cz/public/files/gallery/21/dsc-4339a.jpg>
- [54] DÁLNIČNÍ DOPRAVA. *Informace o dálnici D1*. <https://d1.dd.cz/informace-o-dalnici>
- [55] WIKIMEDIA.ORG. *Aktuální mapa dálnice D1*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3b/Motorway_D1-CZ_map.svg/1920px-Motorway_D1-CZ_map.svg.png
- [56] LIDOVKY.CZ. *Stát vyhrál arbitráž. Firmy si při stavbě D47 účtovaly miliony navíc*. https://www.lidovky.cz/byznys/stat-vyhral-arbitraz-firmy-si-pri-stavbe-d47-uctovaly-miliony-navic.A131008_214118_firmy-trhy_jzl
- [57] POLAR. *Zvlnění dálnice D47 mezi Antošovicemi a Bohumínem zavinil zhotovitel. Rozhodl tak soud a nařídil mu opravu*. <https://polar.cz/zpravy/moravskoslezsky-kraj/cely-ms-kraj/11000025907/zvlneni-dalnici-d47-mezi-antosovicemi-a-bohuminem-zavinil-zhotovitel-rozhodl-tak-soud-a-naridil-mu-opravu>
- [58] ČESKÁ TELEVIZE. *Stavební firmy musí do 18 měsíců opravit zvlněný úsek D1 na Ostravsku. Rozhodl o tom soud*. <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/3323232-stavebni-firmy-musi-do-18-mesicu-opravit-zvlneny-usek-d1-na-ostravsku-rozhodl-o-tom>
- [59] ČESKÁ TELEVIZE. *Stát nepřevzal dálniční stavbu, jedná se o most na D3*. <https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/1023420-stat-neprevzal-dalnici-stavbu-jedna-se-o-most-na-d3>
- [60] ČESKÁ TELEVIZE. *901 závad ostravské dálnice D47. O odpovědnosti má rozhodnout vláda*. <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/2131713-901-zavad-ostravske-dalnice-d47-o-odpovednosti-ma-rozhodnout-vlada>
- [61] ČASOPIS SILNICE ŽELEZNICE. *Sonda ŘSD objevila při kontrole dálnice D47 pneumatiky v násypu*. <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/sonda-rsd-objevila-pri-kontrola-dalnice-d47-pneumatiky-v-nasypu/>

- [62] HOSPODÁŘSKÉ NOVINY. *Sonda zjistila, že násyp dálnice D47 byl z pneumatik. Eurovia to odmítá.* <https://domaci.ihned.cz/c1-54904390-sonda-zjistila-ze-nasyp-dalnice-d47-byl-z-pneumatik-eurovia-to-odmita>
- [63] IDNES.CZ. *Vlnitou dálnici u Ostravy čeká velká rekonstrukce. Půjde do miliard.* https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/zfusovanou-d47-ceka-oprava-jde-o-miliardy.A160119_2219401_ekonomika_rts
- [64] ČESKÁ POZICE LIDOVKY.CZ. *Zvlnění D47 zaměstnává soudy a policii. A nově i GIBS.* https://ceskaposice.lidovky.cz/tema/zvlneni-d47-zamestnava-soudy-a-policii-a-nove-i-gibs.A130822_173007_pozice_135387
- [65] LIDOVKY.CZ. *LÉKO: Dlouholetý spor o zvlněnou dálnici je vítězstvím státu, ale s hořkou příchutí.* https://www.lidovky.cz/nazory/leko-dlouholety-spor-o-zvlnenou-dalnici-je-vitezstvim-statu-ale-s-horkou-prichuti.A210611_184227_ln_nazory_lihem

Poděkování: Autorka děkuje za konzultace doc. RNDr. Daně Procházkové, DrSc. při zpracování článku.

RIZIKA PAROGENERÁTORU V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ A ÚDRŽBA PAROGENERÁTORU PROVÁDĚNÁ PODLE MONITORINGU RIZIK

RISKS OF A STEAM GENERATOR IN THE NUCLEAR POWER PLANT AND UPKEEP OF THE STEAM GENERATOR CARRIED OUT ACCORDING TO RISK MONITORING

Karel Vidlák

ČEZ a.s., Jaderná elektrárna Temelín, 373 05, Temelín, Česká republika, karel.vidlak@cez.cz

Abstrakt: Článek se zabývá riziky spojenými s provozem a údržbou parogenerátoru. Řeší identifikace příčin a dopadů poruchy parogenerátoru na provoz jaderné elektrárny Temelín.

Klíčová slova: Jaderná elektrárna; parogenerátor; program provozních kontrol; hodnocení rizik.

Abstract: The article deals with the risks associated with the operation and maintenance of a steam generator. It solves the identification of the causes and impacts of a steam generator failure on the operation of the Temelín nuclear power plant.

Key words: Nuclear power plant; steam generator; program of operational inspections; risk assessment.

1. CHAREKTERISTIKA LOKALITY

Jaderná elektrárna (*pro zkrácení je často používáno JE*) Temelín se nachází ve strategicky významném území Jižních Čech. První osídlení se začala objevovat již v hluboké minulosti. Ekonomický význam oblasti dokládá vznik obchodních stezek, které vedou z jihu Evropy do vnitrozemí a spojují tak hustě osídlené lokality. Region je vnímán převážně jako zemědělský s bohatým rybníkářstvím a lesnictvím. Průmyslová výroba se zde začala objevovat začátkem 20. století a změnila region na zemědělskou a průmyslovou oblast [1].

Jihočeský kraj leží v nadmořské výšce (400–600) m. To má za následek poněkud drsnější klimatické podmínky. Roční teplotní průměr regionu je 8 °C s převládajícím severozápadním prouděním vzduchu [1]. Nenachází se zde významné zdroje energetických surovin. Významným zdrojem jsou zde rozsáhlé jehličnaté lesy. V regionu se těží písek a štěrkopísek, cihlářská hlína, rašelina a v některých lokalitách vápenec, rula, žula a grafit [1]. Hustota osídlení k roku je cca 63 obyvatel na 1 km². Největší počet obyvatel má město České Budějovice, žije v něm cca 94 tisíc obyvatel. Další velká města jsou Tábor, Písek, Strakonice a Jindřichův Hradec. V těchto městech žije zhruba třetina obyvatel Jižních Čech [1].

Jaderná elektrárna Temelín je umístěná v katastru území obcí Břeží u Týna nad Vltavou, Knín, Kočín, Křtěnov, Lhota pod Horami, Litoradlice, Sedlec u Temelína, Temelínec, Zvěrkovice u Týna nad Vltavou v okrese České Budějovice, cca 6 km od Týna Nad Vltavou [1].

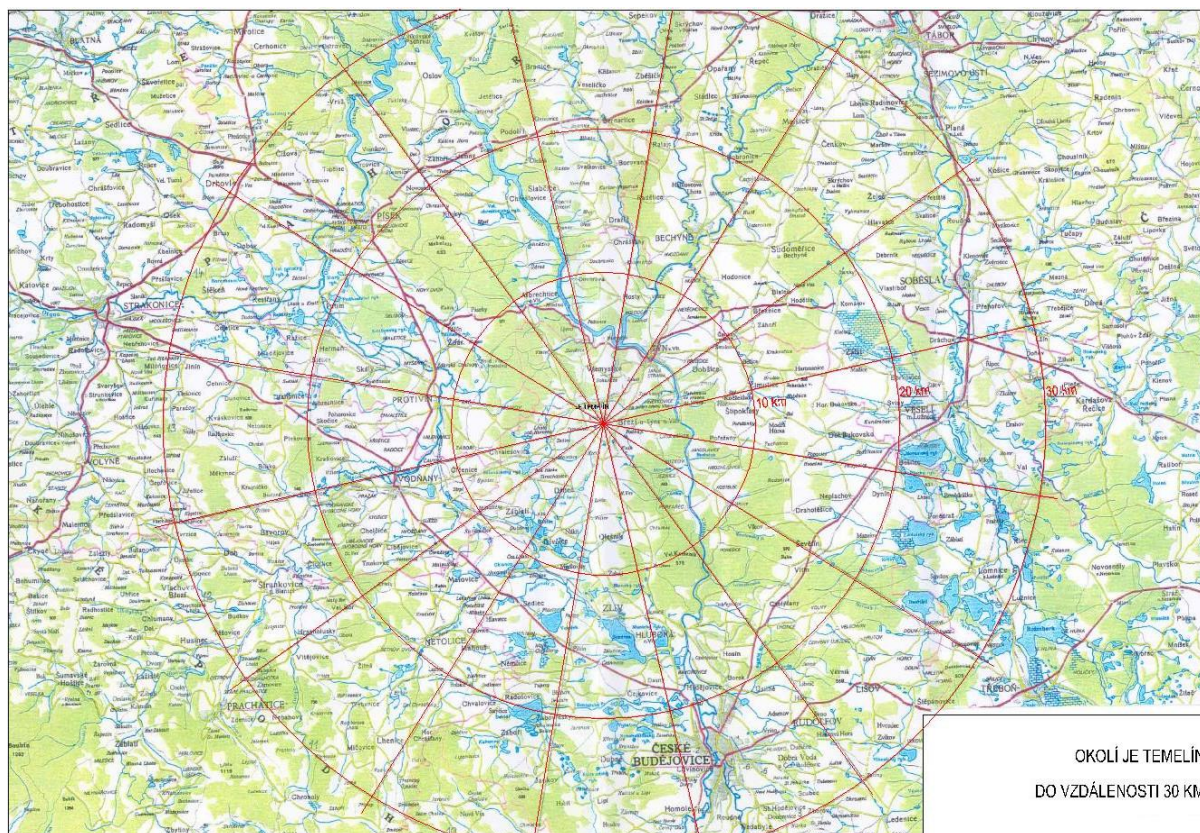
Lokalita jaderné elektrárny Temelín je umístěna v severní části Jihočeského kraje v okrese České Budějovice, poblíž obce Temelín, jak je patrné z obrázku 1. Tato oblast patří ke Středočeské pahorkatině, Jihočeské vysočině, s mírně zvlněným reliéfem terénu. Nadmořská výška území prostoru elektrárny Temelín se pohybuje v rozmezí (485 až 510) m n.m. Do vzdálenosti 10 km od lokality se nevyskytují žádné výrazné výškové body. Převažuje zde zemědělská půda s drobnými lesními porosty a soustavou menších rybníků. Větší lesní komplexy se nacházejí severně od obce Temelín a ve směru jihovýchodním. Krajina je využívána převážně

zemědělsky a lesnický, sídla jsou vesnického charakteru [1]. Z hydrologického hlediska je jaderná elektrárna Temelín umístěná v povodí Vltavy [1].

Jaderná elektrárna Temelín je vzdálena (45–50) km od státní hranice s Rakouskem a SRN. Nachází se v území nazvané Vltavotýnsko s městem Týn nad Vltavou, které leží severovýchodně od elektrárny a je zároveň nejbližší středisko obvodního významu. Krajské město České Budějovice leží ve vzdálenosti cca 22 km jižně od elektrárny. Nejbližší střediska místního významu je obec Dříteň vzdálená 4 km, obec Zliv vzdálená 12 km a Hluboká nad Vltavou ve vzdálenosti 14 km. V bezprostředním okolí elektrárny se nachází nestřediskové obce Temelín, Kočín, Litoradlice a Zvěrkovice. Z důvodu ochranného pásma Jaderné elektrárny byly vysídleny obce Břeží, Křtěnov, Temelínek, Knín a Podhájí [1].

Vlastní stavba jaderné elektrárny Temelín se nachází jihovýchodně od obce Temelín a představuje antropogenní prvek, který významně ovlivňuje tvářnost okolní krajiny [1].

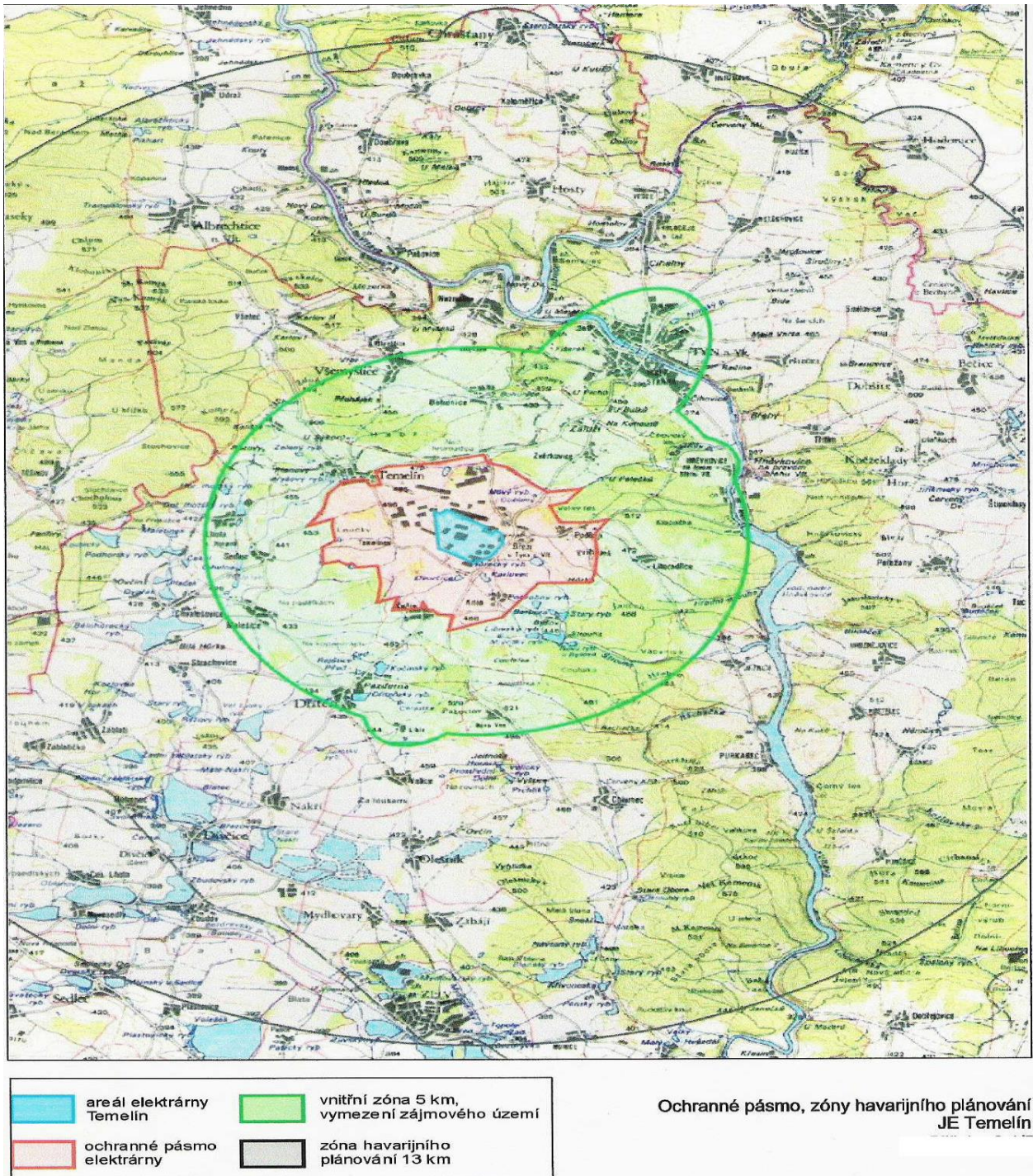
Silniční dopravní infrastrukturu tvoří silnice č. II/105 v úseku České Budějovice a Týn nad Vltavou. Silnice prochází podél jihovýchodní hranice elektrárny a tvoří hlavní silniční osu této oblasti [1]. Železniční trať celostátního významu České Budějovice – Protivín je rozhodující tratí. Vlastní napojení elektrárny je provedeno vlečkovou kolejí z obce Temelín, nacházející se na železniční trati č. 192 Čičenice – Týn nad Vltavou. Po této vlečkové trati je uskutečňován veškerý železniční transport související s elektrárnou Temelín [1]. V této lokalitě se nenachází žádné letiště, ani nad ní nevedou žádné civilní letové cesty. Lokalita je chráněná zakázaným prostorem ve tvaru válce o poloměru 2 km a výšce 1,5 km. Vojenské provozní směrnice obsahují zvláštní opatření vzhledem k objektu jaderné elektrárny [1].



Obr. 1. Okolí jaderné elektrárny Temelín [1].

1.1. Ochranné pásmo

V době výstavby jaderné elektrárny se podle legislativy platné v té době pro ochranu okolí kolem staveb, kde nestačí prováděná opatření zabránit potenciálnímu znečištění ovzduší v míře znamenající nebezpečí ozáření obyvatelstva překračující uvedené hodnoty, zřizovalo pásmo hygienické ochrany. Velikost pásma se stanovilo dle druhu a množství škodlivin vznikajících při výrobním procesu, místních podmínek, úrovně používaného technologického procesu, způsobu a účinnosti zneškodňování průmyslových exhalací. Hranice ochranného pásma jsou na obrázku 2.



Obr. 2. Hranice ochranného pásma [1].

Pro velikost ochranného pásma hygienické ochrany platilo, že na jeho hranicích nesmí být překročeny nejvyšší přípustné hodnoty škodlivin. V případě jaderného zařízení to znamenalo, že za jeho hranicemi nesmí být překročeny úrovně dávkových ekvivalentů uvedené v § 3, odst. 2, písmeno a, Výnosu ČsKAE č. 4/79. Tyto hodnoty vlastně představovaly jedno z vylučujících kritérií 1. stupně pro umístování staveb [1]. Podle současné legislativy, dle vyhlášky č. 263/2016 Sb. je uvažována:

- užší lokalita – území do vzdálenosti 3 km od hranice umístění elektrárny,
- lokalita – území do vzdálenosti 20 km od hranice umístění elektrárny.

V lokalitě během provozu jaderného zařízení nesmí dojít k překročení stanovených průměrných ročních efektivních dávek ozáření jednotlivců z kritické skupiny obyvatel stanovených vyhláškou o radiační ochraně.

Hranice ochranného pásma jaderné elektrárny Temelín bylo vyhlášeno na základě rozhodnutí Československé komise pro atomovou energii ze dne 14. března 1985. Stávající hranice se nachází ve vzdálenosti (1,5 až 3,0) km od nejbližšího vyústění aktivní vzduchotechniky [1]. Velikost ochranného pásma je dostatečně konzervativní a splňuje požadavky na nepřekročení hodnoty celkové limitní dávky 50 mSv pro případ projektové nehody s nejhorsšími radiačními následky [1].

Limity a podmínky bezpečného provozu jaderných zařízení zajišťují monitorování plynů, které jsou uvolňovány z plyných výpustí. Také vody jsou monitorovány. Dešťové vody jsou vypouštěny kanalizačním sběračem přes pojistné a retenční nádrže, které slouží k sedimentaci nerozpuštěných látek. Odpadní vody z technologických systémů jsou sváděny systémem kanalizací do systému odpadních vod a přečišťovány na čistících stanicích odpadních vod v areálu elektrárny. Přečištěné vody se převážně vrací zpět jako voda vlastní spotřeby. Přebytkové vody jsou po radiochemické analýze v kontrolních nádržích vypouštěny do životního prostředí [1].

1.2. Obyvatelstvo

Obyvatelstvo v okruhu 5 km – nejbližší trvale osídlenou lokalitou v těsné blízkosti jaderné elektrárny Temelín je ve vzdálenosti cca 2 km směrem severozápadním od elektrárny obec Temelín, která má s přilehlými osadami cca 775 obyvatel. Nejvýznamnějšími městskými sídelními útvary v zóně havarijního plánování jsou města: Týn nad Vltavou vzdálený 6 km s cca 8373 obyvateli včetně přilehlých obcí, Protivín vzdálený 12 km s cca 4013 obyvateli a Zliv vzdálená 12 km s cca 3600 obyvateli [1]. Celkový počet obyvatel ve vnitřní zóně havarijního plánování do 5 km je 10226.

Obyvatelstvo v okruhu 5 až 13 km – zóna zahrnuje obce spadající do druhé oblasti. Obce, které spadají do obou sektorů, nebo některé jejich části spadají do zóny havarijního plánování zde nejsou zahrnuty [1]. Počet obyvatel v zóně havarijního plánování od (5 do 13) km je celkem 11054.

Obyvatelstvo v okruhu 30 až 100 km – v okruhu do 30 km žilo, podle posledního sčítání lidu v roce 2001, 260 880 obyvatel, v okruhu do 100 km pak 2 302 767 obyvatel [1].

1.3. Havarijní plán

Jedním z kritérií umístění jaderné elektrárny Temelín byla hustota osídlení. Na základě rozboru lokality je zpracovaný vnější havarijní plán, který slouží k zavedení všech neodkladných opatření pro ochranu obyvatelstva v případě radiační havárie. Z pohledu těchto předpisů lze považovat tuto lokalitu za zónu s malým osídlením, které tvoří vzhledem k celorepublikovému průměru přibližně 47 % průměrné hustoty osídlení v České republice [1].

1.5. Jaderný ostrov

Jaderná elektrárna je tvořena dvěma jadernými monobloky o tepelném výkonu 3000 MWt, což odpovídá přibližně 1000 MWe. Zařízení na výrobu páry jednoho bloku tvoří heterogenní tlakovodní reaktor VVER 1000 typu V 320 o nominálním výkonu 3000 MWt. Aktivní zóna reaktoru má průměr 3,16 m a výšku 3,53 m. Je umístěna ve válcové reaktorové nádobě o výšce 10,9 m a vnějším průměru 4,5 m. Tlaková nádoba reaktoru a celý primární okruh jsou navrženy pro tlak 17,6 MP a teplotu 350 °C. Aktivní zónu reaktoru tvoří 163 palivových kazet a 61 regulačních orgánů uspořádaných v šestiúhelníkovém poli. Celková hmotnost vsázky paliva je cca 92 t. V parních generátorech se vyrábí pára o tlaku 6,3 MPa a teplotě 278,5 °C, která pohání parní turbínu o výkonu 1000 MWe.

Technologické schéma každého bloku je dvouokruhové. Primární, radioaktivní, okruh tvoří reaktor, čtyři chladicí cirkulační smyčky s hlavním cirkulačním čerpadlem a parogenerátorem. Sekundární okruh se skládá ze zařízení na výrobu páry, systému napájecí vody, systémem regenerace a jednoho turbogenerátoru [1].

1.6. Kontejnment

Reaktorová část hlavního výrobního bloku se dělí na část hermetickou a nehermetickou. Ochrannou hermetickou obálku tvoří stavba z předpjatého betonu ve tvaru stojatého válce o průměru 45 m s kopulovým vrchlíkem. Tato obálka tvoří pasivní bezpečnostní systém, která má za úkol chránit okolí v případě poruchy nebo havárie na primárním okruhu. Zároveň chrání vnitřní zařízení před vnějšími vlivy. Je navržena tak, aby vydržela přetlak par při úniku chladiva z primárního okruhu při maximální projektové havárii – roztržení hlavního cirkulačního potrubí. Uvnitř obálky jsou umístěny systémy, zařízení a potrubí, obsahující chladivo primárního okruhu o vysokém tlaku a teplotě a obsahující radioaktivní látky. Vstup do ochranné obálky je možný jen při odstávce bloku, nebo ve výjimečných případech, za dodržení příslušných bezpečnostních opatření s ohledem na zajištění bezpečnosti a ochrany vstupujícího personálu, za provozu bloku [2].

1.7. Primární okruh

Hlavní systémy primární části jaderné elektrárny Temelín jsou umístěny v budově reaktoru, která je součástí hlavního výrobního bloku. Pomocné systémy primárního okruhu jsou umístěny v obestavbě kontejnmentu a v budově aktivních pomocných provozů. V primárním okruhu v aktivní zóně reaktoru se mění jaderná energie prostřednictvím řízené štěpné reakce na tepelnou, která se pomocí parogenerátorů přenáší do sekundárního okruhu, kde se dále mění v parní turbíně na energii mechanickou a v generátoru na energii elektrickou.

Radioaktivní primární okruh je uzavřená vodní smyčka, kterou parogenerátor (*dále se používá i zkratka PG*) odděluje od neradioaktivního sekundárního okruhu. Můžeme říct, že primární okruh je uzavřená tlaková nádoba zaplněná chladivem, jejíž objem se mění v závislosti na teplotních změnách v okruhu. Objemové změny chladiva jsou přímo úměrné tlakovým změnám. Aby nedošlo ke tvorbě páry v aktivní zóně a tím i k přehřevu palivových článků, reguluje se tlak v primárním okruhu pomocí systému kompenzace objemu.

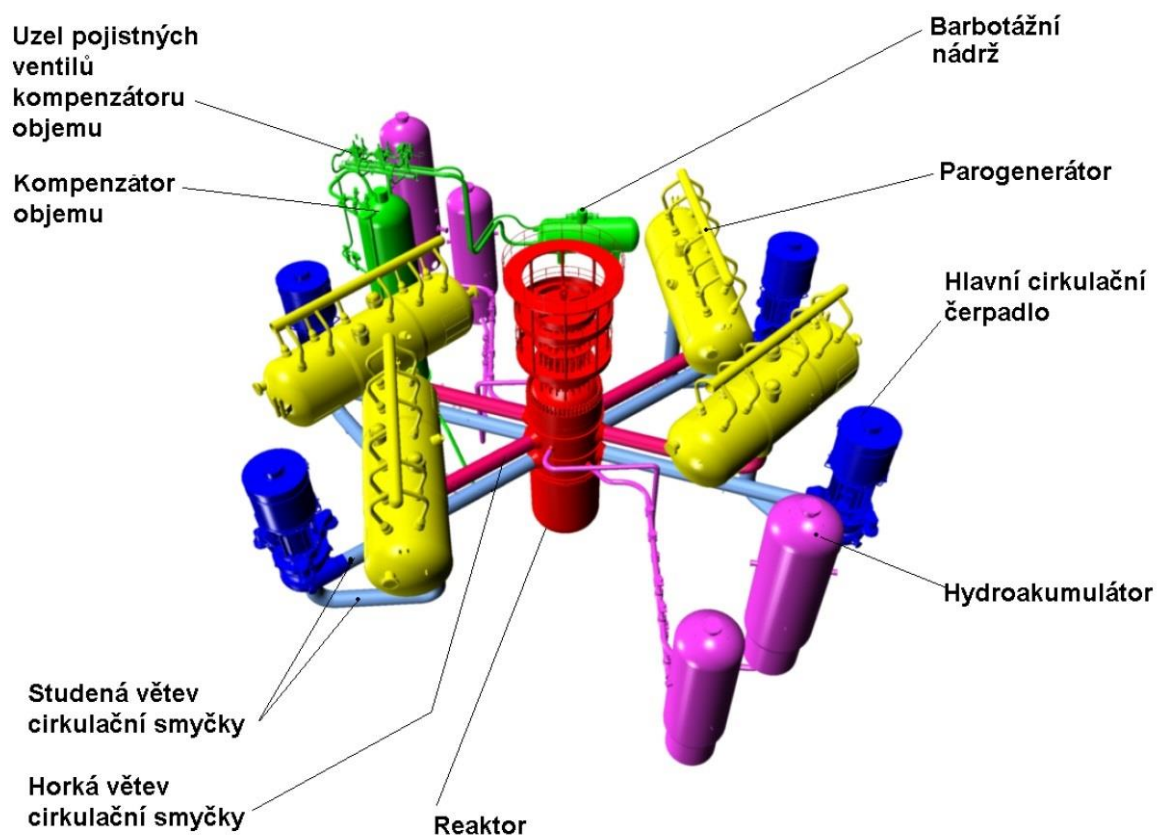
Chladivo primárního okruhu je tvořeno obyčejnou chemicky upravenou vodou s koncentrací kyseliny borité (0–13,5) g/kg. Energie vzniklá řízenou štěpnou reakcí izotopu uranu ^{235}U se v reaktoru mění v energii tepelnou. Takto ohřáté chladivo proudí horkou větví cirkulační smyčky z reaktoru do teplosměnných trubek parogenerátoru, kde předává tepelnou energii

napájecí vodě, která se ohřívá a mění na sytou páru. Z teplosměnných trubek parogenerátoru proudí ochlazené chladivo přes hlavní cirkulační čerpadlo zpět do reaktoru, kde se opět ohřeje a celý proces přenosu energie se znovu opakuje [2].

Hlavní části primárního okruhu jsou:

1. Jaderný tlakovodní reaktor VVER 1000 V 320.
2. Hlavní cirkulační potrubí.
3. Parogenerátor.
4. Hlavní cirkulační čerpadlo.
5. Systém kompenzace objemu.

Zjednodušené schéma primárního okruhu a jeho dispoziční uspořádání je na obrázku 3. Celý primární okruh je uložen v části hlavního výrobního bloku nazvanou kontejnment [2].

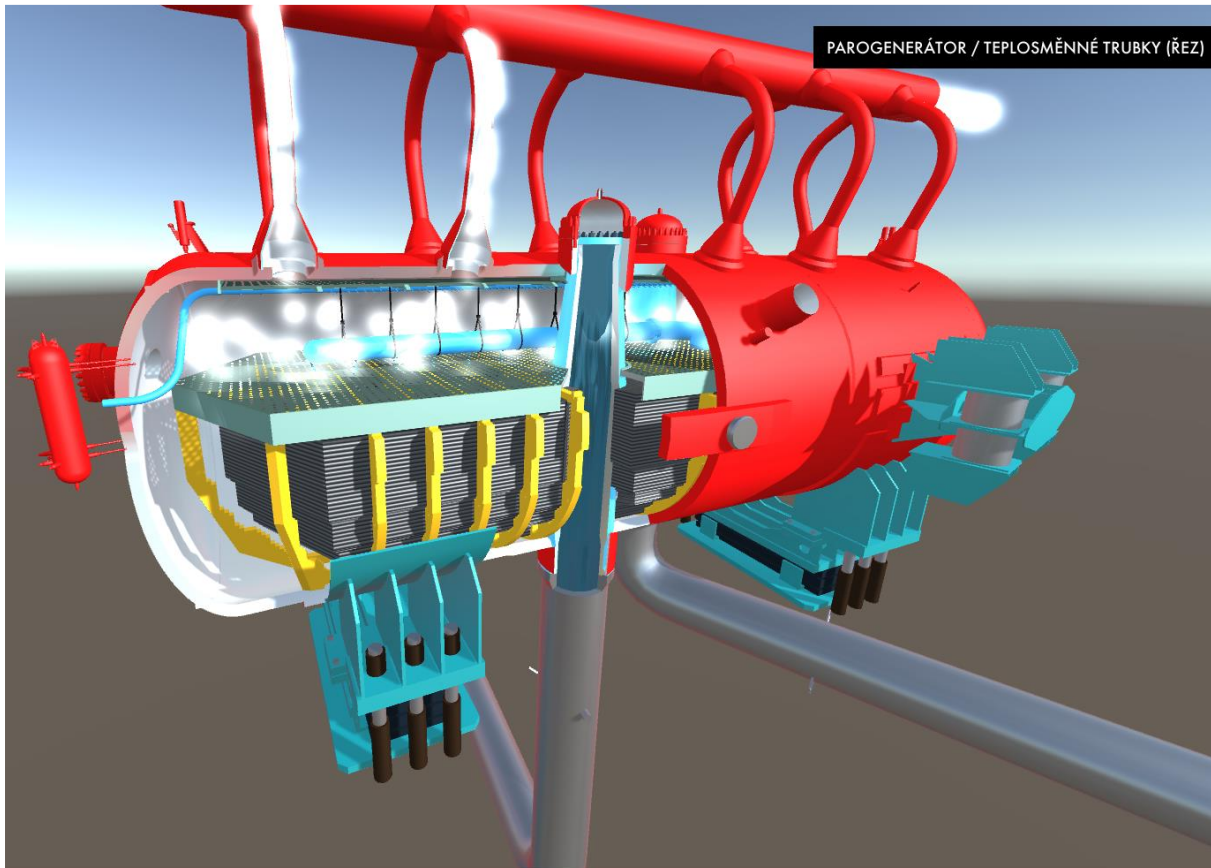


Obr. 3. Primární okruh JE VVER 1000 [2].

2. PAROGENERÁTOR

Teplo produkované štěpnou reakcí v reaktoru musíme odvádět, aby se nehromadilo v primárním okruhu. K tomu nám slouží tepelné výměník, parogenerátor. Parogenerátor (obrázek 4) je tepelný výměník sloužící k přenosu tepelné energie z aktivní zóny reaktoru, primárního okruhu, do parní turbíny, sekundárního okruhu. Teplo získané v aktivní zóně štěpením jader uranu prostupuje do chladiva primárního okruhu, které proudí horkou větví cirkulační smyčky do trubkové teplosměnné plochy v parogenerátoru. Ze sekundárního okruhu je do parogenerátoru

přiváděna napájecí voda do prostoru vně teplosměnné trubky. Stěnu teplosměnných trubek prostupuje teplo do napájecí vody, kterou uvádí do varu. Pára vznikající v parogenerátoru odpařováním napájecí vody se parovodem odvádí k parní turbíně [2]. Parogenerátor odděluje radioaktivní primární okruh od neradioaktivního sekundárního okruhu, a proto patří mezi systémy související s jadernou bezpečností.



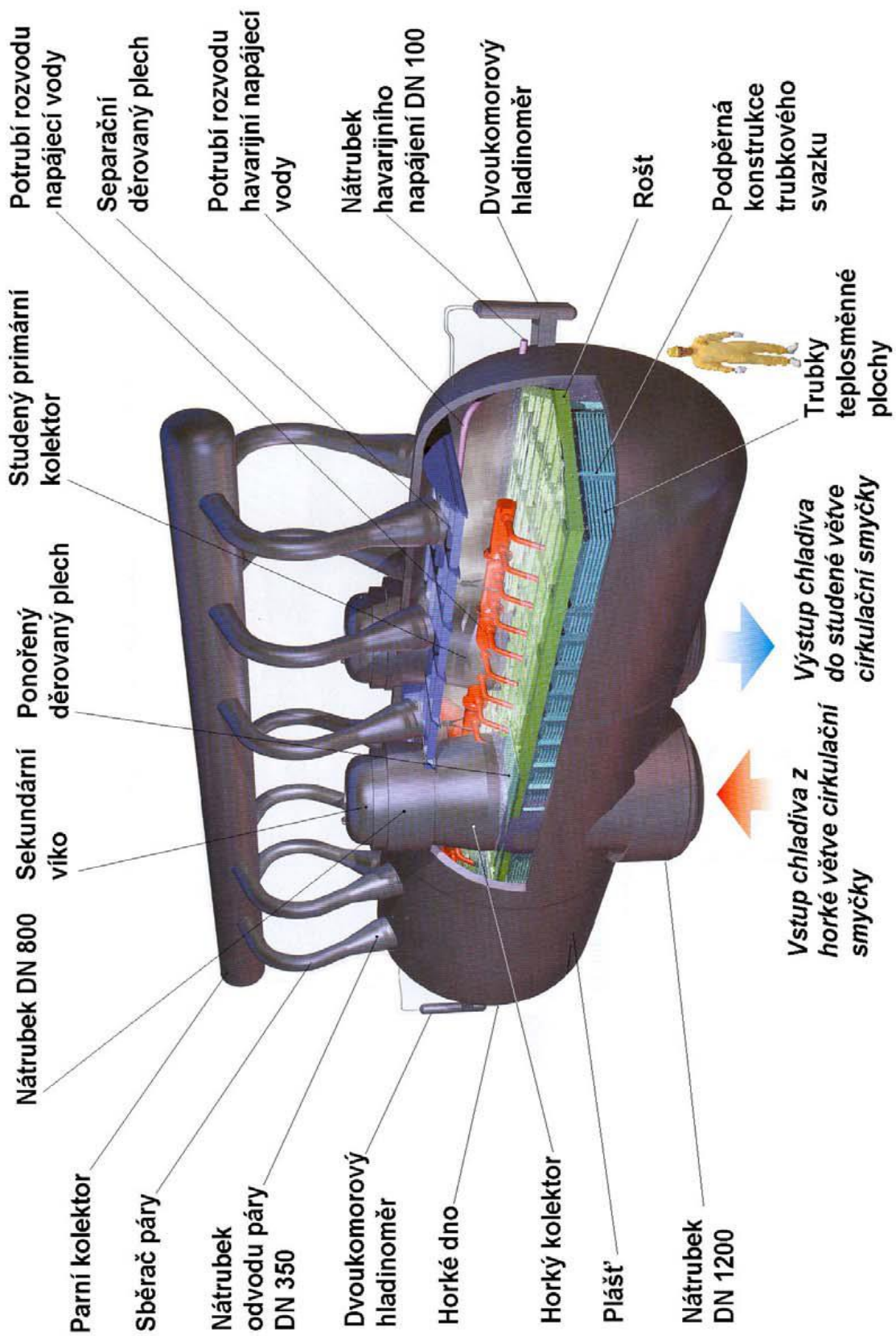
Obr. 4. Parogenerátor VVER 1000 [2].

2.1. Technický popis zařízení

Parogenerátor (*PG*) je jednotělesový horizontální rekuperační tepelný výměník tvořený celosvařovanou jednoplášťovou tlakovou nádobou s horizontálně uspořádanými ponořenými teplosměnnými trubkami, se zabudovaným paroseparačním zařízením, systémem rozvodu napájecí a havarijní napájecí vody, s ponořeným děrovaným plechem, s potrubím odběru odluhu a parním kolektorem; obrázky 4 a 5 [2]. Parogenerátor se dělí na dvě základní části, primární a sekundární.

Primární část PG je tvořena:

- dvěma primárními kolektory s víky,
- teplosměnnou plochou tvořenou 11 000 trubkami,
- potrubím odvodu primárních kolektorů,
- potrubím kontroly těsnosti vík primárních kolektorů.

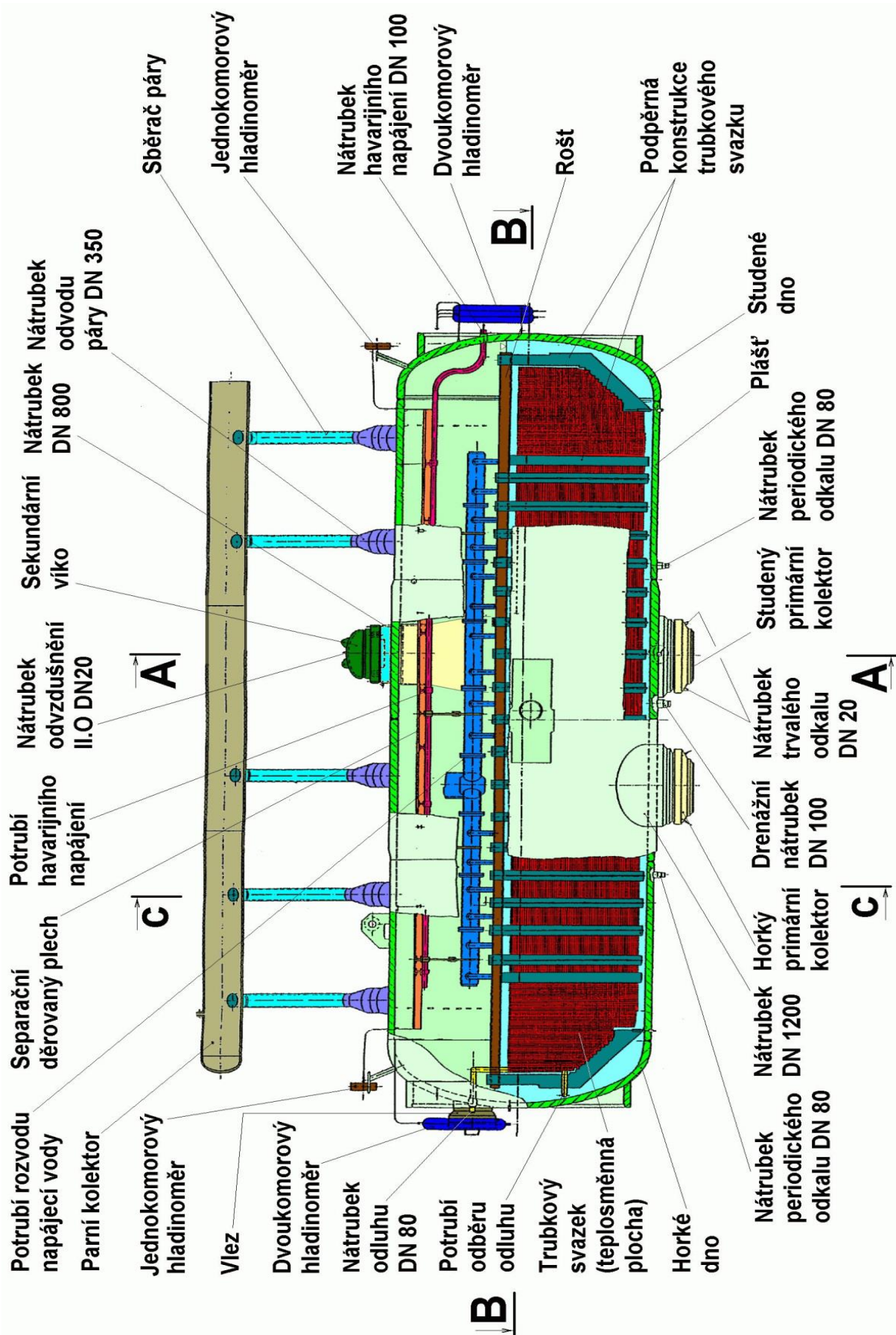


Obr. 5. Parogenerátor PGV – 1000 M [2].

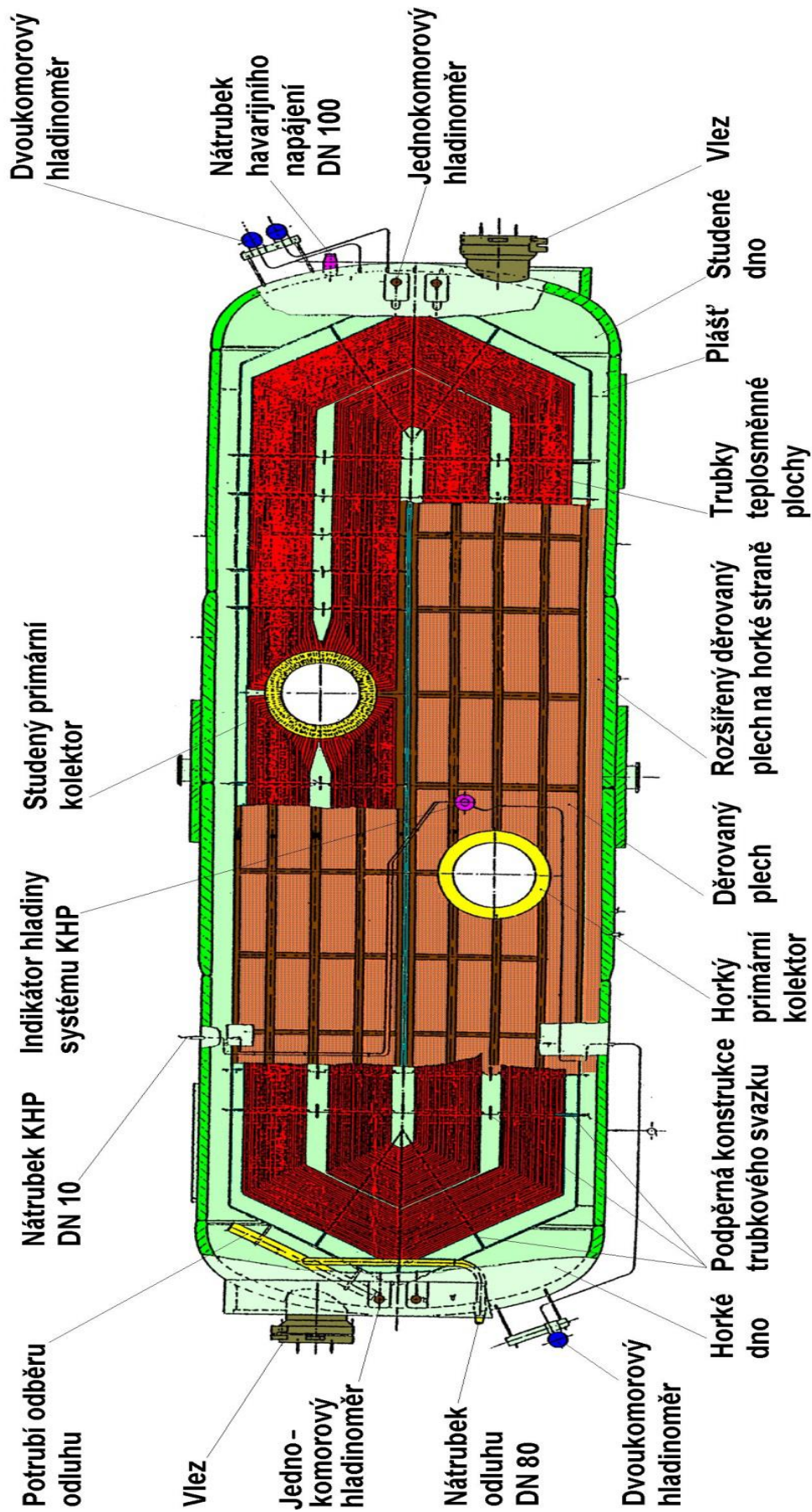
Teplosměnná plocha parogenerátoru je tvořena teplosměnnými trubkami s distančními prvky, primárními kolektory s víky a potrubím odvodu. Primární kolektory navazují svarem na hlavní cirkulační potrubí DN 850 a tvoří pokračování hlavního cirkulačního potrubí do parogenerátoru. Vstupní primární kolektor, který je připojen k horké větvi cirkulační smyčky, se nazývá „horký kolektor“ a výstupní navazující na studenou větev cirkulační smyčky se nazývá „studený kolektor“. Primární kolektory jsou svislé válcové nádoby o délce 4970 mm vyrobené z nízkolegované oceli s dvouvrstevným nerezovým návarem o tloušťce 9 mm na vnitřním povrchu. V dolní válcové části o vnitřním \varnothing 834 mm a tloušťce stěny 171 mm je v každém primárním kolektoru vyvrtáno 11000 otvorů ve kterých jsou upevněny teplosměnné trubky. Pod spodní řadou trubek je proveden zápich o hloubce 15 mm pro technologické účely, např. pro upevnění plnotlaké zátky pro bublinkovou zkoušku těsnosti trubek teplosměnné plochy. Válcová část kolektoru navazuje pomocí střední přechodové části tvaru kužele na horní válcovou část o vnitřním \varnothing 500 mm. Horní válcová část je provedena jako hrdlo s přírubou k níž je pomocí svorníků připevněno primární víko tvořící rozebíratelný spoj. V čele hrdla jsou závitová hnízda pro svorníky a dvě drážky pro hřebenové těsnění kruhového průřezu mezi kterými je vyvrtán svislý otvor pro odběrové potrubí měření těsnosti prostoru mezi oběma těsníci kroužky. Primární víko je vyrobeno z nízkolegované oceli a na jeho dolní válcové části je proveden nerezový návar. Na spodní kruhové části primárního víka je proveden nerezový návar. V dolní části kolektoru jsou dva nátrubky pro odvod trvalého odkalu z PG; obrázky 6 až 9 [2].

Původní zatěsnění primárního víka bylo provedeno pomocí niklových těsnících kroužků o \varnothing 5 mm. Současně je tento spoj zatěsněn pomocí dvojitého těsnícího systému tzv. hřebenového těsnění, které je tvořeno vroubkovaným jádrem z nerezavějící ocele a dvěma těsníci vrstvami z expandovaného. Výhodou tohoto těsnícího způsobu je jeho opakovatelná použitelnost ocelového jádra bez nutnosti úprav těsnících ploch a jeho použitelnost pro vysoké tlaky a teploty. K dalším výhodám patří jeho dobrá chemická odolnost, odolnost proti stárnutí, kompenzace nerovnoměrných stlačení a chyb při instalaci, nízké dosedací tlaky, které redukuje možnost poškození příruby [2].

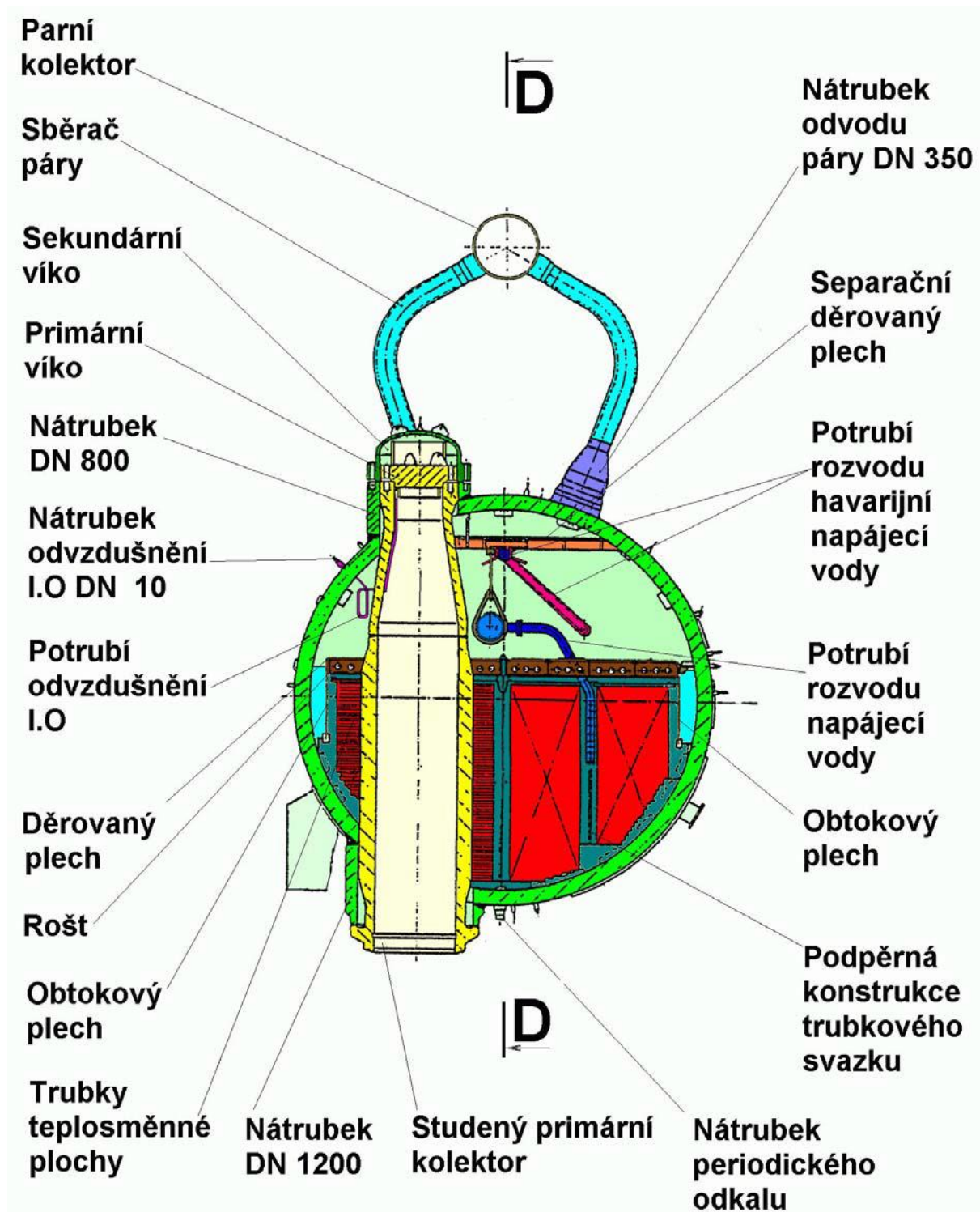
Rozebíratelný spoj primárního kolektoru, umožňuje přístup do primární části parního generátoru při provádění revizí a kontrol. Primární víko (obrázek 8) je k přírubě kolektoru připevněno pomocí dvaceti svorníků M60×5,5 s maticemi a dvojicemi podložek, konvexní a konkávní. Na spodní část primárního víka zasunutou do kolektoru je navařen nákrůžek o \varnothing 499 mm a délce 100 mm a na horní část primárního víka je na tři zdvihací oka připevněn šrouby další nákrůžek \varnothing 580×3 a výšce 300 mm. Tyto nákrůžky v případě utržení primárního víka omezí jeho pohyb a zároveň omezí výtok primárního média do sekundární části parogenerátoru. 11000 teplosměnných trubek \varnothing 16×1,5 z nerezové oceli je ohnuto do tvaru U a sestaveno do dvou trubkových svazků; obrázek 7. Uspořádání teplosměnných trubek ve svazku je šachovnicově vystřídáné s výškovou roztečí 19 mm a šířkovou 30,79 mm na vnějším povrchu primárního kolektoru o \varnothing 1176 mm resp. 21,83 mm na vnitřním povrchu primárního kolektoru o \varnothing 834 mm. Ohnuté teplosměnné trubky jsou sestaveny do dvou U-svazků vytvářejících tři svislé koridory pro zabezpečení organizované hydrodynamiky kotlové vody; obrázek 7. Konce ohnutých teplosměnných trubek jsou upevněny v otvorech primárních kolektorů hydraulickým rozválcováním jejich čel a svarem s vnitřním nerezovým návarem primárních kolektorů. Trubky jsou vyspádovány směrem k primárním kolektorům. Ohnuté teplosměnné trubky jsou v trubkovém svazku distancovány speciálními prvky upevněnými v opěrných konstrukcích připevněných na vnitřní povrch pláště parního generátoru. Nerezové distanční prvky jsou tvarované vlnité pásnice v kombinaci s mezilehlými plochými lištami [2].



Obr. 6. Parogenerátor PGV – 1000 M, řez D–D [2].



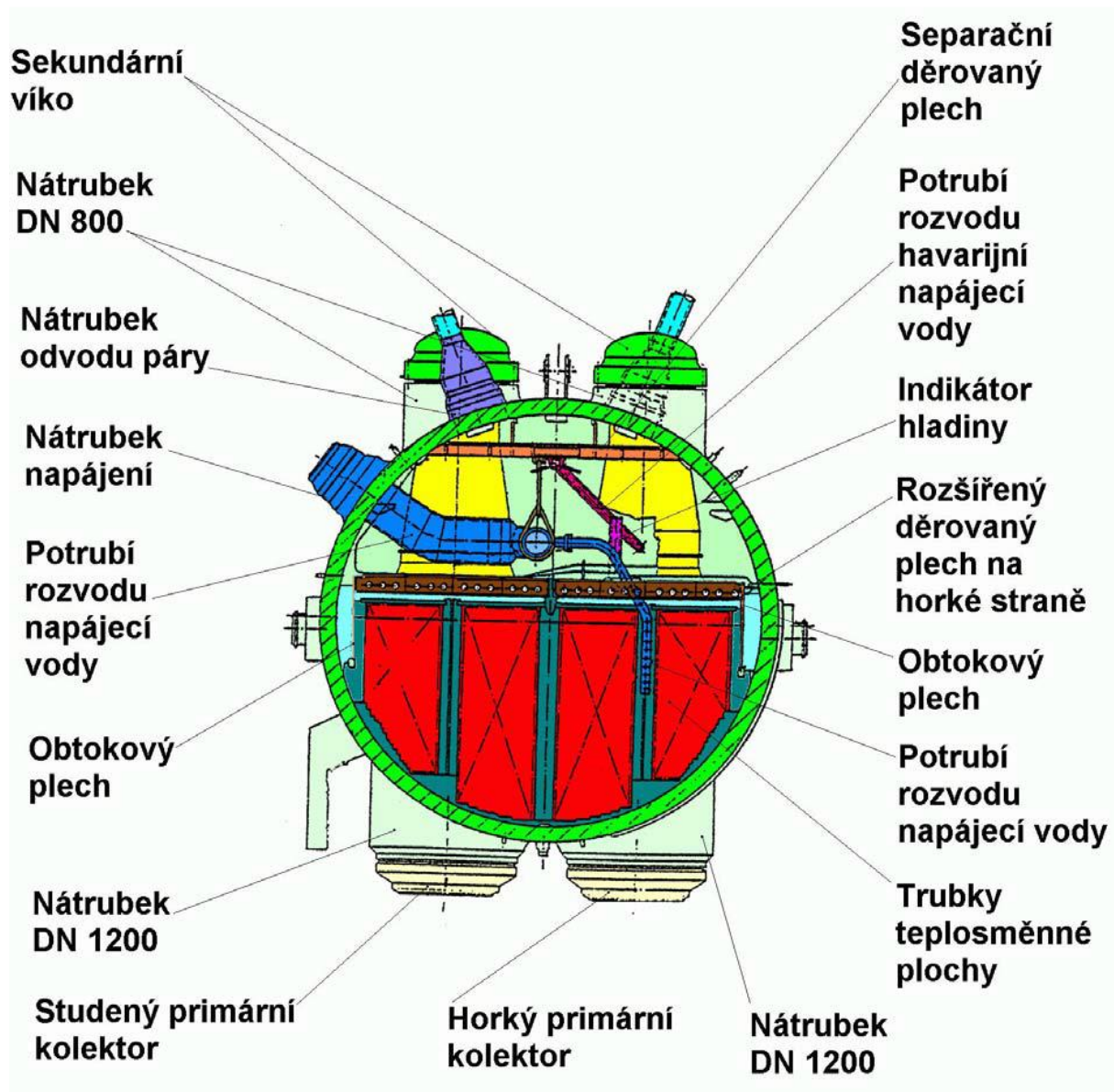
Obr. 7. Parogenerátor PGV – 1000M, řez B-B [2].



Obr. 8. Parogenerátor PGV – 1000M, řez A–A [2].

Odvzdušnění primárních kolektorů slouží k odvodu vzduchu, popř. dalších plynů, z nejvyšších míst primárního kolektoru, tj. z místa těsně pod primárním víkem, při plnění primárního okruhu chladivem. Odvzdušnění tvoří navářená podélná polovina trubky, přivařená podélně na vnitřní nerezový návar primárního kolektoru, která navazuje na příčný otvor procházející stěnou kolektoru. Na otvor je na sekundární straně parogenerátoru napojena trubka $\varnothing 14 \times 2$, která prochází stěnou pláště parogenerátoru na jeho vnější povrch do nátrubku DN 10. Aby se zamezilo

poškození odvodušňovací trubky vlivem rozdílu teplot je tato trubka v prostoru mezi primárním kolektorem a stěnou pláště parogenerátoru ohnuta do tvaru dilatační smyčky; obrázek 8. Vně parního generátoru se odvodušňění obou primárních kolektorů spojují do jednoho potrubí, které navazuje na systém organizovaných úniků, systém sběru bórových vod a na systém havarijního odvodu paroplenné směsi z primárního okruhu [2]. Obdobně jako odvodušňění primárních kolektorů je vyvedeno z parního generátoru odběrové potrubí měření těsnosti rozebíratelného spoje primárního kolektoru [2].



Obr. 9. Parogenerátor PGV – 1000M, řez C–C [2].

Sekundární část parogenerátoru je tvořena pláštěm vyrobeným z nízkolegované oceli, který je proveden jako celosvařovaná válcová nádoba o vnitřním \varnothing 4000 mm a délce 13840 mm s čely uzavřenými eliptickými dny. Plášť dle [2] je sestaven ze:

- dvou eliptických den o tloušťce stěny min. 120 mm. Dno, blíže horkého kolektoru je „horké dno“ a dno blíže studeného kolektoru je „studené dno“,
- dvou válcových vnitřních kroužků o tloušťce stěny min. 145 mm,
- dvou dvojic válcových krajních kroužků o tloušťce stěny min. 105 mm; obrázky 5 až 9 [2].

Pevnostní výpočty pláště jsou provedeny pro provozní a havarijní režimy s respektováním seismického zatížení. Tloušťky stěn částí pláště jsou vypočteny s uvažováním korozního přírůvku na projektovanou životnost pláště [2]. Na střední horní část pláště jsou přivařeny dva nátrubky DN 800 zakončené přírubou pro připojení eliptického sekundárního víka které umožňují přístup k primárním víkům. Mezi vnitřní stěnou nátrubku DN 800 a vnější stěnou primárního kolektoru je mezera min. 5 mm, zamezující opírání primárního kolektoru za provozu o stěnu nátrubku; obrázek 8. Sekundární víka jsou připojena k přírubě nátrubku 24 svorníky M52×5, maticemi, dvojicemi podložek, konvexní a konkávní, a jsou zatěsněna pomocí dvojice hřebenového těsnění. Případné úniky sekundárního média přes porušený vnitřní kroužek jsou odváděny z prostoru mezi oběma kroužky do systému kontroly těsnosti. Na sekundární víka jsou připevněna dvě zdvihací oka a nátrubek DN 20 pro odvodu sekundární strany parogenerátoru. Potrubí odvodu sekundární strany se napojuje na potrubí odvodu parovodu v ochranné obálce přírubovým spojem. Dále je na horní střední část pláště přivařen šikmo nátrubek DN 400 pro přívod napájecí vody tak, že se podélná osa nátrubku protíná se svislou osou „horkého“ kolektoru; obrázek 9. Tento způsob přívodu chladnější napájecí vody do parogenerátoru příznivě ovlivňuje teploty napájecí vody v oblasti horkého kolektoru. Nátrubek přívodu napájecí vody je opatřen válcovým pláštěm sloužícím jako ochrana proti tepelným šokům na materiál nátrubku při prudké změně teploty napájecí vody [2].

Na střední dolní části pláště jsou přivařeny dva nátrubky DN 1200 ke kterým jsou přivařeny oba primární kolektory; obrázek 9. Mezi vnitřní stěnou nátrubku DN 1200 a vnější stěnou primárního kolektoru vzniká úzký prostor, tzv. kapsa, ze které je prováděn trvalý odkal dvojicí nátrubků DN 20. Na střední dolní část pláště je dále navařen nátrubek DN 100 sloužící pro vypouštění parogenerátoru do systému vypouštění parogenerátorů, který je podsystémem systému odluhu a odkalu parogenerátoru; obrázek 8 [2].

Na obě eliptická dna jsou přivařeny nátrubky DN 500 zakončené přírubou pro plochá víka; obrázek 7. Nátrubky s víky slouží pro vstup do sekundárního prostoru parního generátoru. Víka jsou připojena 20 svorníky M52×5, maticemi, dvojicemi podložek a jsou těsněna dvojicí hřebenového těsnění s kontrolou těsnosti meziprostoru. Na každé dno je v horní části přivařen nátrubek DN 80; obrázek 7. Na „horkém“ dně slouží pro vyvedení odluhu z parogenerátoru a na „studeném“ dně slouží k přívodu havarijní napájecí vody; obrázek 6 [2]. Na spodní část každé dvojice krajních kroužků je přivařen nátrubek DN 80 pro periodický odkal; obrázek 6.

Na horní část pláště je přivařeno po celé délce parogenerátoru deset nátrubků DN 350 pro odvod páry. Nátrubky odvodu páry jsou spojeny pomocí parních sběračů, zahnutých trubek o vnitřním průměru 187 mm, s parním kolektorem $\varnothing 630 \times 25$, který se napojuje na parovod odvádějící páru k turbíně; obrázek 5. Na plášti a dnech jsou ještě přivařeny nátrubky DN 10 a DN 20 (obrázek 6) sloužící k připojení:

- jednokomorových hladinoměřů,
- dvoukomorových hladinoměřů,
- k vyvedení odběrů pro cejchování hladinoměřů systémem KHP,
- k měření těsnosti všech šesti přírubových spojů,
- k odvodu obou primárních kolektorů,
- popř. jsou rezervní.

Dvoukomorová vyrovnávací nádoba je přivařena dvěma nátrubky k určeným nátrubkům na parogenerátoru a třemi nátrubky je spojena se základním a doplňujícím diferenčním manometrem. V horním víku vyrovnávací nádoby je odvodušňovací nátrubek, v dolním víku je vypouštěcí nátrubek [2].

Uvnitř pláště se nachází komora konstantní hladiny, která je kryta stínící trubkou pro zmenšení prostupu tepla. Uvnitř komory konstantní hladiny je umístěn přívodní kolektor s rozšířením ve

vrchní části. Nad komorou konstantní hladiny je k plášti vyrovnávací nádoby přivařena clona, která usměrňuje kondenzát do této komory. Prostor mezi pláštěm nádoby a komorou konstantní hladiny tvoří komoru proměnné hladiny [2].

Jednokomorová vyrovnávací nádoba je tvořena válcovým pláštěm z trubky, uzavřeným dvěma plochými víky. Horní nátrubek spojuje nádobu s parním prostorem parogenerátoru, dolní nátrubek je napojen na plusovou stranu diferenčního manometru. Na plášti nádoby je jímka, sloužící k zamontování termočlánku, který může být využit k měření teploty vody v jednokomorové vyrovnávací nádobě [2]. Na plášť jsou také přivařena čtyři pouzdra pro uchycení termočlánků k měření teploty povrchu pláště.

Každý parogenerátor je vybaven chemickou diagnostikou, což jsou čtyři odběrová potrubí $\varnothing 16 \times 1,5$ ve vodním prostoru procházející do parogenerátoru jedním nátrubkem DN 80 na plášti. Odběry je možno provádět z míst u „horkého“ a „studeného“ dna a z blízkosti „studeného“ a „horkého“ primárního kolektoru [2].

V parogenerátoru je nad teplosměnnými trubkami na nosné konstrukci z uhlíkové oceli šrouby připevněn nerezový děrovaný plech sloužící k vyrovnávání parního zatížení po ploše hladiny; obrázek 8. Plech sestávající ze segmentů má plochu $44,41 \text{ m}^2$, je v něm vyvrtáno 26002 otvorů $\varnothing 13 \text{ mm}$ s průtočnou plochou $3,451 \text{ m}^2$. Děrovaný plech je umístěn ve vzdálenosti 450 mm nad osou parogenerátoru. Za provozu při 100% parním výkonu je hladina napájecí vody 90 mm pod děrovaným plechem. Při parním výkonu 0 % je hladina v úrovni děrovaného plechu. Na okraje děrovaného plechu navazuje svislý obtokový plech vysoký 768 mm. Děrovaným plechem tvořeným segmenty s 889 otvory $\varnothing 13 \text{ mm}$ je překryta i mezera mezi okrajem děrovaného plechu nad teplosměnnými trubkami a pláštěm na „horké“ straně, tzn. v podélné polovině parního generátoru, kde je „horký“ kolektor, ve které dochází vlivem větší teploty chladiva v teplosměnných trubkách k největšímu předávání tepla. Překrytí mezery zabraňuje přestříkům vody do parního prostoru a zhoršování vlhkosti vyráběné páry. Obdobné překrytí obtokovým plechem je provedeno i na straně studeného kolektoru [2]. V blízkosti „horkého“ kolektoru je na děrovaném plechu umístěn indikátor hladiny, který slouží jako odběrové místo pro dvě potrubí systému cejchování hladinoměrů KHP; obrázek 9 [2].

Napájecí voda je přiváděna potrubím, které je tvořeno potrubím DN 400 z uhlíkové oceli procházejícím pláštěm parogenerátoru přes nátrubek DN 400, nerezovým rozdělovacím kusem ve tvaru ypsilon a osmi nerezovými segmenty $\varnothing 273 \times 11$ s dvojicemi rozváděcích trubek $\varnothing 89 \times 4,5$; obrázek 9. Kolektor napájecí vody je umístěn v parním prostoru, v podélné ose PG, posunut směrem ke „studenému“ kolektoru. Potrubí napájecí vody je spojeno přírubovými spoji. Rozváděcí trubky jsou zavedeny do hloubky cca 1 m do svislého koridoru mezi teplosměnnými svazky pouze na „horké“ straně. Napájecí voda je přiváděna otvory v rozváděcích trubkách částečně do svislého koridoru a částečně nad děrovaný plech; obrázek 9. Rozváděcí trubky se zaslepenými konci mají po délce různý počet otvorů pro rozvod napájecí vody. Ve svislém koridoru mezi teplosměnnými svazky jsou otvory navrtány tak, aby napájecí voda nebyla vstříkována přímo na teplosměnné trubky nebo na „horký“ primární kolektor [2].

V parním prostoru 1200 mm nad děrovaným plechem je šrouby připojen na rámové konstrukci ze segmentů nerezový děrovaný plech zrovnoměňující výstup páry z parogenerátoru a dokončující separaci páry. V separačním plechu je navrtáno 12194 otvorů o $\varnothing 10 \text{ mm}$. Pára, která vystupuje z odpařovací plochy, se v parním objemu vlivem gravitačních sil vysušuje a vstupuje do separačního, kde se dosušuje na požadovaný stupeň vlhkosti [2].

Pod rámovou konstrukcí děrovaného plechu je připevněno nerezové potrubí $\varnothing 89 \times 4,5$ přívodu a rozstříku havarijní napájecí vody; obrázek 9. Potrubí havarijní napájecí vody je vedeno nad středem parogenerátoru rovnoběžně s jeho podélnou osou a je opatřeno 38 rozváděcími

trubkami $\varnothing 22 \times 4$, které jsou na konci zaslepeny a po své délce mají vyvrtáno na obou stranách po 5 otvorech $\varnothing 8$ mm pro rozstřík havarijní napájecí vody [2].

Parogenerátor je usazen na dvou podpěrných konstrukcích s válečkovou podpěrou. Válečková podpěra je tvořena dvěma řadami válečků pootočených vůči sobě o 90° a umožňuje posuv 90 mm ve dvou osách při dilataci hlavního cirkulačního potrubí vlivem změny teploty. Posuv je dán velikostí mezery mezi táhlem a stěnou otvoru v patce parního generátoru, kterým táhlo prochází. Stanovený posuv se vymezi pomocí speciálního zařízení, které tvoří stojina a regulační šrouby. Po ukončení montáže parogenerátoru se toto zařízení odstraní. Válečková podpěra je připevněna pomocí táhel ke kotevním šroubům. Spoj je proveden pomocí spojky jejíž poloha je zajištěna kontramaticí [2].

Pro tlumení účinků zemětřesení na parogenerátor ve vodorovném směru se používají viskózní tlumiče GERB. Viskózní tlumiče jsou připevněny úhlopříčně na obou jeho koncích mezi plášť parního generátoru a stěnu místnosti. Podpěrná konstrukce je určena k zachycení současného působení svislé složky seismického zatížení do maximálního výpočtového zemětřesení o síle 9 stupňů MSK-64 a reakční síly 1460 Mp vznikající v havarijní situaci při roztržení potrubí DN 850 hlavního cirkulačního okruhu ze strany reaktoru. Při roztržení potrubí DN 850 ve svislé rovině se reakční síla úplně přejímá havarijními podpěrami potrubí a nepůsobí na PG [2].

Pro měření teploty kovu jsou na vnějším povrchu pláště usazeny v jímkách čtyři teploměry. Měření hladiny v parogenerátoru je zajištěno čtyřmi jednodukomorovými hladinoměry s rozsahem 4 m a třemi dvouukomorovými hladinoměry s rozsahem 1 m. Dva dvouukomorové hladinoměry jsou na „studeném“ dně a jeden na „horkém“ dně. Jednodukomorové hladinoměry jsou na 1. bloku tři na „studeném“ dně a jeden na „horkém“ dně. Na 2. bloku jsou všechny čtyři jednodukomorové hladinoměry na „studeném“ dně. Jedna nádobka jednodukomorového hladinoměru na „horkém“ dně 1. bloku slouží jako plusové odběrové místo pro měření průtoku páry z parního generátoru. Na 2. bloku je odběr pro měření průtoku páry proveden z plusového potrubí jednodukomorového hladinoměru sloužícího pro zaplňování [2].

Parogenerátor je, z hlediska automatik a blokad, pasivním zařízením, jehož parametry jsou při práci bloku na výkonu udržovány navazujícími systémy. Regulovanými parametry v parogenerátoru jsou hladina a tlak. Hladina v nominálních režimech je zabezpečována činností turbonapájecích čerpadel, pomocných elektronapájecích čerpadel a regulačních ventilů v napájecím potrubí. Regulaci tlaku nominálních režimech zabezpečuje koordinátor řízení pomocí regulace výkonu reaktoru, výkonu turbíny a činností přepouštěcí stanice do kondenzátoru [2].

V nenominálních a havarijních režimech je hladina v parogenerátoru udržována v požadovaných mezích činností pomocného elektronapájecího čerpadla nebo systému havarijního doplňování a příslušnými armaturami na trase napájecí vody. Udržení tlaku v parogenerátoru pak zabezpečují mimo výše uvedené systémy přepouštěcí stanice do atmosféry, pojistné ventily parogenerátoru a rychločinné armatury. Pro zamezení zpětného toku páry z hlavního parního kolektoru do parogenerátoru s nižším tlakem je na každém parovodu umístěna zpětná klapka [2].

2.2. Systém kontroly těsnosti přírubových spojů primárních kolektorů a bočních průlezů

Systém je určen k zjištění velikosti a charakteru netěsnosti mezi primárním a sekundárním okruhem a ke kontrole těsnosti bočních průlezů parogenerátorů. Jednou za 24 hodin se určuje objemová aktivita izotopu ^{24}Na , ^{42}K v chladivu primárního okruhu a ve vzorcích z trvalého odluhu. Podle naměřené objemové aktivity izotopu ^{24}Na , ^{42}K se určí velikost netěsnosti v každém parogenerátoru [2]. Při výskytu netěsnosti z primárního do sekundárního okruhu je nutné určit místo netěsnosti. Únik může být způsoben buď netěsností těsnících kroužků primárního víka „horkého“ nebo „studeného“ kolektoru, nebo netěsností trubkového svazku. Zkontroluje se tlak

v prostoru mezi těsníci kroužky kolektorů. Zvýšení tlaku nad 2,4 MPa v meziprostoru těsnících kroužků primárních, sekundárních vík a bočních průlezů je signalizováno světelnou signalizací. Pokud se vyskytuje, plynule se sníží na atmosférický s výdrží jedné hodiny. Proveďte se odběr vzorků a činnost podle příslušného provozního předpisu [2].

Snížení velikosti netěsnosti z primárního do sekundárního okruhu svědčí o narušení těsnosti obou těsnění primárního víka primárního kolektoru. Zachování velikosti netěsnosti na původní úrovni svědčí o narušení těsnosti teplosměnných trubek nebo míst zaválcování konců trubek do kolektoru parogenerátoru. Při zjištění tlaku v prostoru mezi těsníci kroužky bez zvýšení aktivity sekundárního okruhu se jedná o netěsnost pouze jednoho, vnitřního nebo vnějšího kroužku. Rozlišení, zda došlo k narušení těsnosti ze strany primární nebo sekundární se provede při odtakování impulsní linie chemickou analýzou odebraných vzorků vypouštěné kapaliny [2].

Při narušení těsnosti pouze vnitřního těsnění sekundárního víka nebo bočního průlezu parogenerátoru se zvyšuje tlak v meziprostoru těsnících kroužků až do pracovního tlaku sekundárního okruhu. Při narušení těsnosti obou těsnění sekundárního víka nebo bočního průlezu parogenerátoru dochází k úniku páry z víka. Unikání páry v zóně kobky se určuje podle výskytu vlhkosti v odlučovači na linii průběžné kontroly plynové aktivity v kobce parogenerátoru [2].

2.3. Základní technické parametry

Základní technické parametry parogenerátoru PGV-1000M, který vyrobila firma VÍTKOVICE a.s. jsou uvedeny v tabulce 1 [2].

Tabulka 1. Základní technické parametry parogenerátoru [2].

Položka	Umístění	Rozměr.
tepelný výkon		750 ⁺⁵³ MWt
množství chladiva I.O.		21200 m ³ /h
množství vyrobené páry		1470 ⁺¹⁰³ t/h
pracovní tlak	na straně II.O.	(6,18 ± 0,2) MPa
	na straně I.O.	(15,59 ± 0,3) MPa
tlak tlakové zkoušky na pevnost	na straně II.O.	8,8 MPa
	na straně I.O.	19,6 MPa
teplota napájecí vody		(220 ± 5) °C, min. (164 ± 4) °C
teplota chladiva I.O.	vstup	(320 ± 3,5) °C
	výstup	(289,7 ± 2) °C
teplota vyrobené páry		278,5 °C
vlhkost páry		max. 0,2 %
počet TS trubek (ø 16×1,5)		11000
TS plocha		6112 m ²
střední délka TS trubek		11,1 m
nominální hladina v PG při výkonu 0 %		(2450 ± 50) mm
hmotnost suchého PG (bez tep. izolace)		339 t
množství trvalého odluhu a odkalu		0,5 % nap. vody, tj. 7,5 t/h
tlak. Ztráta	I.O.	0,11 MPa
	II.O.	0,10 MPa
objem vody v mezitrubkovém prostoru	celkové zaplnění	127 m ³
	pracovní stav	78 m ³
objem vody primární strany [2]		21,5 m ³

2.4. Zvláštní požadavky na parogenerátor

Dle specifikace vybraných zařízení ve smyslu Vyhlášky SÚJB č. 132/08 Sb. je do vybraných zařízení bezpečnostní třídy 1 zařazena primární strana parogenerátoru a do vybraných zařízení bezpečnostní třídy 2 jsou zařazeny:

- odluh a odkal parogenerátoru v kontejnmentu,
- drenáž parogenerátoru od parogenerátoru až po první uzavírací armaturu,
- uzamykací ventily na rozhraní kontejnmentu a část drenážního potrubí mezi nimi,
- potrubí kontroly hladiny parogenerátoru od napájecího potrubí parogenerátoru až po uzavírací armaturu,
- rychločinná armatura na potrubí odběru vzorků včetně propojovacího potrubí mezi nimi,
- parovody od parogenerátoru až po rychločinnou armaturu,
- sekundární část parogenerátoru,
- potrubí napájecí vody od parogenerátoru,
- odběrová místa na parogenerátoru, na potrubí napájecí vody a potrubí páry.

Do vybraných zařízení bezpečnostní třídy 3 jsou zařazena: potrubí páry od rychločinné armatury směrem k turbíně; a potrubí napájecí vody od armatur směrem k turbonapájecímu čerpadlu [2].

Dle specifikace vyhrazených zařízení ve smyslu vyhlášky SÚJB č. 309/05 Sb. jsou parogenerátory zařazeny do vyhrazených zařízení [2].

Dle vyhlášky č. 329/2017 Sb. je nutná specifikace zařízení s požadavky na seismickou odolnost. Seismická odolnost 1a se požaduje pro:

- parogenerátory,
- parovody od parogenerátoru k rychločinné armatuře,
- trasy napájecí vody,
- veškeré potrubní trasy odluhů a odkalů v kontejnmentu od parogenerátoru až po rychločinnou armaturu.

Seismická odolnost 1b se požaduje pro drenážní potrubí od parogenerátoru [2].

2.5. Funkční popis systému

Chladivo primárního okruhu vstupuje do parogenerátoru a proudí teplosměnnými trubkami. Napájecí voda dodávaná při najíždění a odstavování bloku pomocnými napájecími čerpadly, v nominálním režimu turbonapájecími čerpadly se v mezitrubkovém prostoru ohřívá na teplotu varu a odpařuje se. Hladina je udržována regulátory na úrovni 320 mm (údaj dvoukomorového hladinoměru na „studeném“ dně) [2].

Při výpadku normálního napájení a poklesu hladiny ve dvou parogenerátorech pod 1560 mm je voda o teplotě cca 22 °C dodávána do parních generátorů ze systému havarijního napájení, kdy je voda rozstříkována na ponořený děrovaný plech a pak stéká na teplosměnné trubky. Hladina je zvyšována a pak udržována regulátory na úrovni 2310 mm (údaj jednokomorového hladinoměru na „studeném“ dně) [2].

Pro zabránění nerovnoměrnému vývinu páry po ploše hladiny je nad teplosměnnými trubkami umístěn ponořený děrovaný plech. Vyvinutá pára stoupá od hladiny a dochází k její gravitační separaci. Pak prochází separačním děrovaným plechem a dále 10 sběrači páry proudí do parního kolektoru a pak parovodem vedena k turbíně nebo je při zavřených rychločinných armaturách přes přepouštěcí stanici do atmosféry nebo pojistné ventily vyfukována na střechu obestavby reaktorovny [2].

Dle [2] je 5/8 napájecí vody je dodáváno do poloviny parogenerátoru blíže ke „studenému“ dnu a 3/8 jsou dodávány do druhé poloviny. Uvnitř sekundární strany parního generátoru nastává tak proudění od „studeného“ dna směrem k „horkému“. A proto je z vodního objemu u „horkého“ dna odebírán trvalý odluh, neboť se zde soustřeďují soli přinášené do parogenerátoru napájecí vodou. Pro udržení chemického režimu v kotlové vodě sekundární části je prováděn trvalý odluh a trvalý odkal v celkovém množství 7,5 t/h z jednoho parogenerátoru, toto množství lze zvýšit v jednom parním generátoru až o 28 t/h (periodický odkal) nebo o 7 t/h (zvýšený odluh).

Pro získávání údajů o hladině v parogenerátoru vstupujících do řízení nebo ochrany bloku se využívají dva dvoukomorové hladinoměry a tři jednodokomorové hladinoměry na „studeném“ dně. Dvoukomorový hladinoměr na „horkém“ dně slouží pro získávání informativní hodnoty. Čtvrtý jednodokomorový hladinoměr slouží pro měření hladiny při zaplňování parogenerátoru. Údaje z dvoukomorových hladinoměrů vstupují do řízení rychlozávěrných ventilů turbíny, pomocných napájecích čerpadel, armatur napájecích hlav a armatur systému odluhu a odkalu parogenerátorů. Údaje z jednodokomorových hladinoměrů vstupují do řízení šoupátek na napájecí vodě, reaktoru, hlavních cirkulačních čerpadel a havarijních napájecích čerpadel [2].

Při nízkých průtocích se průtok napájecí vody reguluje pomocí regulačních armatur v malé napájecí hlavě a při vyšších průtocích pomocí regulačních armatur ve velké napájecí hlavě. Regulační odchylka hladiny v parogenerátoru je tvořena rozdílem žádané hodnoty hladiny a měřené střední hladiny. Žádaná hodnota hladiny je 0 cm [2].

V nevykonových stavech nebo při vychlazování bloku a při velmi nízkých výkonech reaktoru zajišťují dodávku napájecí vody do parogenerátoru pomocná elektronapájecí čerpadla [2]. Ve výkonových režimech bloku zajišťuje dodávku vody do parogenerátoru turbonapájecí čerpadlo. Regulací otáček turbonapájecího čerpadla je tedy možné regulovat průtok do parogenerátoru podle jeho aktuálních potřeb napájení. V režimu řízení otáček turbonapájecího čerpadla probíhá regulace průtoků do parogenerátoru řízením otáček turbonapájecího čerpadla v kombinaci se škrcením pomocí regulačních ventilů v napájecích hlavách [2].

Funkce dvoukomorového hladinoměru je založena na principu spojených nádob. Dvoukomorový hladinoměr je spojen s parním a vodním prostorem parního generátoru. Úroveň hladiny v parogenerátoru se nastaví v komoře proměnné hladiny a ta se srovnává s výškou sloupce kapaliny v komoře konstantní hladiny. Udržení konstantní hladiny je prováděno kondenzátem páry tvořícím se nad clonou v horní části dvoukomorového hladinoměru. Kondenzát stéká plnicí trubicí do spodní části komory konstantní hladiny, odtud stoupá vně plnicí trubky nahoru a vtéká do komory proměnné hladiny a pak přepadává přes její okraj. Takovéto proudění kondenzátu společně se stínicí trubicí zabezpečuje v komoře konstantní hladiny udržení teploty blízké teplotě sytosti, což zmenšuje chybu měření. Diferenční manometr měří rozdíl tlaků mezi konstantní hladinou a proměnnou hladinou ve dvoukomorovém hladinoměru. Z dvoukomorových hladinoměrů na „studeném“ dně se „natéčkováním“ impulsních linií k diferenčnímu manometru získávají tři naměřené hodnoty [2].

2.6. Důležité úrovně hladin v parogenerátoru

Protože parogenerátor je hraničním prvkem a tvoří bariéru proti proniku radioaktivity mezi radioaktivním primárním okruhem a neradioaktivním sekundárním okruhem jsou na těsnost trubek teplosměnné plochy kladeny vysoké požadavky. Především musí být zajištěna velmi nízká pravděpodobnost rychle se šířícího porušení a náhlého roztržení trubky. Proto

teplosměnná plocha podléhá spolehlivým periodickým provozním kontrolám za účelem zjištění případných poruch [2].

K hlavním degradačním mechanismům za provozu dle [2] patří:

- korozní praskání,
- důlková koroze,
- důlková koroze v lokálních oblastech, která vede k plošnému zeslabení stěny trubky.

Korozní poškození trubek vzniká a šíří se z vnější strany trubek teplosměnné plochy a je ovlivněno kvalitou napájecí vody ze sekundárního okruhu zejména obsahem alkálií, chloridů, mědi a ostatních příměsí. Záleží tedy na správné funkci systému odluhu a odkalu parogenerátoru, který odvádí část napájecí vody z parogenerátoru na čisticí stanici a zabraňuje tak zvyšování koncentrace výše uvedených látek na sekundární straně parogenerátoru [2].

Korozní poškození je také ovlivněno vlastnostmi materiálu trubek jako je např. mikrostruktura, obsah a charakter vměstků a mechanická pnutí vznikající při výrobě a rovněž je ovlivněno namáháním vznikajícím za provozu [2]. Vznik průchozích defektů se sleduje měřením radioaktivity vzorků odebíraných ze systému odluhu a odkalu. Pro kontrolu trubek teplosměnné plochy se využívá metoda vířivých proudů, která umožňuje určit zeslabení stěny trubky a trhliny na primárních kolektorech. Pro zjištění průchozích trhlin je možno použít bublinkovou zkoušku [2].

3. IDENTIFIKACE RIZIK SPOJENÝCH S PAROGENERÁTOREM

Jako každé technické zařízení, tak i parogenerátor je ohrožen řadou jevů, které jsou příčinami rizik, které je nutno řídit [7]. Proto je sledován inspekce. Poruchy jsou zaznamenávány do databáze [8]. Na základě analýzy databáze jsou dále uvedeny údaje o poruchách a o způsobech jejich odstranění. Charakteristiky nejčastějších poruch a způsoby jejich odstranění dle [3] jsou:

1. Velká netěsnost z primární do sekundární strany parogenerátoru se projevuje poklesem tlaku v primárním okruhu a zvýšením aktivity v odluhu. Měřeno na izotopu ^{24}Na . Pravděpodobná příčina je způsobena roztěsněním primárního víka kolektoru, roztržením teplosměnné trubky, nebo vzniku průchozí trhliny na kolektoru. Provoz parogenerátoru není dovolen. Je nutné odstavit hlavní cirkulační čerpadlo, vychladit parogenerátor, roztěsnit přírubové spoje a provést revizi parogenerátoru.
2. Netěsnost v přírubovém spoji primárního kolektoru u obou těsnění se projevuje růstem přetlaku ve větvi kontroly těsnosti a současně zvýšením aktivity v odluhu, měřeno na izotopu ^{24}Na . Pravděpodobná příčina je způsobena nekvalitně provedeným utěsněním, narušením režimem ohřevu a ochlazování nebo působením neprojektovaným režimem, poškozením těsnicí plochy nebo únavou svorníků. Provoz parogenerátoru není dovolen. Je nutné provést nové utěsnění přírubového spoje s použitím nového těsnění.
3. Netěsnost v přírubovém spoji primárního kolektoru pouze ze strany vnitřního těsnění se projevuje růstem přetlaku a indikací primárního média ve větvi kontroly těsnosti. Pravděpodobná příčina je způsobena nekvalitně provedeným utěsněním, poškozením těsnicí plochy nebo únavou svorníků. Je nutné odstavit parogenerátor z provozu a provést nové utěsnění přírubového spoje s použitím nového těsnění. Po montáži je nezbytné ověřit těsnost impulzní trasy kontroly těsnosti.
4. Netěsnost v přírub. spoji primárního kolektoru s víkem ze strany vnějšího těsnění se projevuje růstem přetlaku ve větvi kontroly těsnosti. Pravděpodobná příčina je způsobena nekvalitně provedeným utěsněním, poškozením těsnicí plochy. Je nutné provést nové utěsnění přírubového spoje s použitím nového těsnění.

5. Netěsnost v přírubovém spoji sekundárního víka u obou těsnění se projevuje růstem přetlaku ve větvi kontroly těsnosti nebo únikem páry přes těsnění. Pravděpodobná příčina je způsobena nekvalitně provedeným utěsněním, poškozením těsnicí plochy nebo únavou svorníků. Je nutné nezahájit nebo ukončit provoz a provést nové utěsnění přírubového spoje s použitím nového těsnění.
6. Netěsnost v přírubovém spoji sekundárního víka přes první (vnitřní) těsnění se projevuje růstem přetlaku ve větvi kontroly těsnosti. Pravděpodobná příčina je způsobena nekvalitně provedeným utěsněním, poškozením těsnicí plochy. Je nutné omezit provoz parogenerátoru a provést nové utěsnění přírubového spoje s použitím nového těsnění.
7. Netěsnost teplosměnné trubky se projevuje růstem aktivity odluhu měřeno na izotopu ^{24}Na . Jde o defekt ve svaru nebo netěsnost samotné teplosměnné trubky. Je nutné omezit provoz parogenerátoru a určit místo netěsnosti. Oprava se provede zaslepením vadné trubky a ověřením těsnosti trasy odvodu primárního kolektoru.
8. Porušení základního kovu svorníků přírubových spojů se projevuje defekty charakteru trhlin na dřívku svorníků a závitech. Pravděpodobná příčina je v nepřípustném zatížení při utahování, záměně materiálu nebo korozní účinky při neprojektových podmínkách provozu. Je nutné provést 100% kontrolu všech svorníků daného přírubového spoje předepsanými metodami. Vadné svorníky, matice a podložky vyměnit. Posoudit použitelnost zbývajících svorníků a objasnit příčinu.
9. Porušení závitů v závitových hnízdech primárního kolektoru se projevuje defekty charakteru trhlin. Pravděpodobná příčina je nepřípustné zatížení při utěšňování, porušení projektových podmínek provozu, korozní účinky (koroze pod napětím) nebo bylo použito nevhodné mazivo. Je nutné provést 100% rozsah kontroly závitových hnízd. Provést opravu dle technického řešení odsouhlaseného hlavním konstruktérem a objasnit příčinu.
10. Proniknutí ionexových pryskyřic do parogenerátoru od zařízení SVO5 se projevuje zjištěním výskytu pryskyřic ve vzorcích napájecí vody. Pravděpodobná příčina je v narušení pracovního režimu čištění vody. Pryskyřice se usazují na povrchu teplosměnných trubek. Je nutné odstavit parogenerátor, provést jeho vychlazení a revizi. Je dovoleno vyplavení pryskyřic proudem vody. Posuzuje se jako střední havárie.
11. Zadírání závitových spojů - matice nelze odšroubovat ze svorníků, svorníky se zadírají v závitových otvorech. Pravděpodobně nebylo použito mazivo nebo bylo použito nevhodné mazivo. Vady závitů. Je nutné přijmout opatření pro demontáž závitových spojů, v krajním případě matice odřezat a odstranit, případně odvrát svorníky a objasnit příčinu.
12. Výskyt povrchových vad na spojovacích dílech – svornících, maticích, podložkách se projevuje defekty charakteru záďery, hrubé rysky, případně defekty korozního původu. Pravděpodobně bylo použito nevhodné mazivo, bylo použito nepřípustné zatížení při utahování nebo byly neprojektové podmínky provozu. Je nutné provést 100% kontrolu všech svorníků daného přírubového spoje. Vadné svorníky, matice a podložky vyměnit nebo opravit dle schváleného postupu a objasnit příčinu. Technologický postup utěšňování ověřit výrobcem parogenerátoru.
13. Výskyt povrchových vad na povrchu těsnicích ploch. Pravděpodobná příčina v nedbalosti při montáži, nedostatečná kontrola při montáži přírubových spojů. Je nutné opravit dle schváleného postupu zavařením, broušením, včetně realizace kontrol.
14. Výskyt chloridů v odluhové vodě převyšující limitní hodnotu se zjišťuje z on-line měření chloridů na odluzích. Pravděpodobná příčina je v netěsnosti v kondenzátoru turbíny, přísávání neupravené vody do okruhu napájecí vody. Je nutné urychleně provést výměnu

vody, napájecí vodu upravit na požadované hodnoty. Případné odstavení parogenerátoru probíhá v souladu s limity a podmínkami a odstranit netěsnost v kondenzátoru.

15. Zvýšená vlhkost páry v parním potrubí je způsobena nedodržením výšky hladiny vody v sekundárním prostoru parogenerátoru. Je nutné regulovat hladinu vody a objasnit příčinu.
16. Nedostatečné množství vyrobené páry. Pravděpodobná příčina je ve zvýšené nečistotě teplosměnných trubek. Je nutné provést chemické promývání sekundární strany parogenerátoru.
17. Korozní poškození částí parogenerátoru zjistitelné vizuálně. Pravděpodobná příčina je v nedodržení složení kotlové vody, porušení podmínek pasivace a konzervace. Proveďte se oprava vadných míst dle schváleného postupu. Připouští se provádět broušení, pokud není podkročena tloušťka materiálu stanovená výpočtem nebo se provede výměna poškozených dílů. Je třeba zdokumentovat všechny defekty. Po opravě provést plný rozsah provozních kontrol.

4. VÝSLEDKY ANALÝZY RIZIK

Abnormální jevy a poruchové stavy bloku jsou stavy spojené s výpadkem systémů a zařízení, nebo jejich vybočení z parametrů z provozních mezí. Havarijní provozní postupy slouží pro obnovení kritických bezpečnostních funkcí.

4.1. Abnormální a poruchové stavy

Hlavním cílem zvládnutí řešení dynamických procesů je dosáhnout nové rovnováhy mezi primárním a sekundárním okruhem. Dosažení této rovnováhy je nezbytné pro následnou stabilizaci parametrů bloku. V případě nepříznivého vývoje je hlavním cílem předejít ztrátě napájecí vody v parogenerátoru a parnímu úniku z parovodu [5,6].

V oblasti diagnostiky dynamických procesů je hlavním úkolem, z pohledu bezpečného provozu parogenerátoru, regulace hladin v parogenerátoru. Provádí se uzavřením armatur odluhů a odkalů parogenerátoru při poklesu hladiny, nebo startem pomocného napájecího čerpadla. Při růstu hladiny v parogenerátoru se přistupuje k uzavírání přívodu napájecí vody do parogenerátoru. Mezi dynamické procesy dle [5,6] patří:

- výpadky HCČ (hlavní cirkulační čerpadlo),
- výpadky TG (turbogenerátor), náhlé změny výkonu TG,
- výpadky TBN (turbonapáječka),
- výpadky CHČ (chladicí čerpadlo) a NTR (nízkotlaká regenerace) jsou bez vlivu na hodnocené zařízení.

Níže uvedené dynamické procesy jsou bez vlivu na hodnocené zařízení. Dle [5,6] jde o:

- snížení výkonu reaktoru zásahem LSa(+c) (zásahová úroveň pro odstavení reaktoru) na hodnotu větší než 3 %N_{NOM} (normální výkon),
- snížení výkonu reaktoru zásahem LSa pod 3 %N_{NOM},
- odstavení reaktoru zásahem Lsd (zásahová úroveň pro odstavení reaktoru),
- zregulování TG do režimu ostrovního provozu,
- uzavření přívodu páry k PSK (přepouštěcí stanice do kondenzátoru) je bez vlivu na hodnocené zařízení,
- působení zásahu LSa od nízkých parametrů,
- snižování výkonu reaktoru tlačítkem LSa,

Na bezpečný provoz parogenerátoru nemají dle [5,6] vliv poruchy se změnou reaktivity:

- neřízené vysouvání regulačních klastrů z AZ (aktivní zóna) reaktoru,
- neřízené zasouvání regulačních klastrů do AZ reaktoru,
- prosednutí, anebo pád klastru(ů) do AZ reaktoru,
- nekontrolovaný přívod ČK (čistý kondenzát) do I.O.

Poruchy technologických zařízení s vlivem na bezpečný provoz parogenerátoru dle [5,6] jsou:

1. Uzavření RČA (rychlíčinná armatura) na parovodu PG způsobí nárůst tlaku v parogenerátoru a dojde k otevření pojistného ventilu parogenerátoru.
2. Nedostatečné napájení PG má za následek pokles hladiny napájecí vody v parogenerátoru, dojde k odstavení hlavního cirkulačního čerpadla a snížení výkonu reaktoru.
3. Nadměrné napájení PG způsobí odstavení hlavního cirkulačního čerpadla.
4. Výpadek VTR (vysokotlaká regenerace) způsobí pokles teploty napájecí vody přiváděné do parogenerátoru. To má za následek čerpání životnosti parogenerátoru z důvodu teplotního šoku.
5. Výpadek VG čerpadla bez AZR (aktivní rezerva) ovlivní regulaci hladiny napájecí vody v parogenerátoru.
6. Hrozící zhoršení chemického režimu chladiva II.O. ovlivní korozivní působení napájecí vody na parogenerátor.

Na bezpečný provoz parogenerátoru nemají dle [5,6] vliv poruchy technologických zařízení:

- nedosednutí RZV (rychlouzávěrný ventil) TG,
- působení programu RŘV TG,
- výpadek TF (chladící meziokruh hlavních cirkulačních čerpadel) čerpadla bez AZR,
- výpadek TK (systém doplňování/odpouštění primárního okruhu) čerpadla bez AZR,
- výpadek čerpadla TVD (technická voda důležitá) podsystému VF (Systém technické vody důležité) 10(20,30) bez AZR,
- výpadek čerpadla TVD podsystému VF20 bez AZR,
- výpadek čerpadla TVD podsystému VF30 bez AZR,
- ztráta napájení pohonů klastrů,
- převedení parní produkce PG z PSA (přepouštěcí stanice do atmosféry) na PSK,
- výpadek čerpadla TVN (technická voda nedůležitá) bez AZR,
- přerušování fáze v přívodu VS (vlastní spotřeba) ETE (OPC),
- masivní únik vodíku ve strojojně,
- poruchy z vnějších příčin:
 - výpadek čerpací stanice Hněvkovice (zásady pro rozhodování SI),
 - seismická událost,
 - výskyt plynu nebo amoniaku v ovzduší JE,
 - výpadek nízkotlaké kompresorové stanice,
 - výpadek stanice zdroje chladu,
- úniky z I.O. nebo II.O.. tj.:
 - únik z I.O. do PG je způsobený netěsnou trubkou nebo netěsným těsněním I.O.,
 - únik z II.O. v oblasti mezi PG a RČA na parovodu je způsobený netěsností na armaturách,
 - únik chladiva II.O. v KTMT je způsobený poruchou potrubí napájecí vody nebo netěsností těsnění II.O.,
 - únik z II.O. v oblasti za RČA na parovodech PG je způsobený netěsnou armaturou a má za následek nadměrný odvod tepla z parogenerátoru [5,6],

- únik z I.O do TF systému,
 - únik z I.O do HA,
 - únik z KO,
 - netěsnost vstříku do KO,
 - ostatní úniky,
 - zaplavování KTMT,
- poruchy chlazení AZ v režimu 5 nebo 6 a poruchy chlazení BSVP, tj.:
- poruchy chlazení AZ přes NTTQ systém,
 - poruchy chlazení AZ přes PG,
 - poruchy chlazení BSVP,
 - poruchy chlazení BSVP v režimu skladování paliva,
 - poruchy chlazení BSVP v režimu výměny paliva.

Požáry vzniklé v KTMT mohou způsobit deformace konstrukčních materiálů a porušení integrity primárního okruhu – LOCA havárie [5,6]. Jde o:

1. Požár na HCČ (GA504/1,2,3,4, HÚ 171 až 174).
2. Požár v místnosti vložených havarijních olejových nádrží HCČ.
3. Požár v prostoru kabelových průchodek 1.(2.,3.) systému GA504/1,2,3,4.
4. Požár v prostoru kabelových průchodek.
5. Požár v prostoru kabelových průchodek k SOR.
6. Požár v kabelovém prostoru GA606/1,2.
7. Ostatní požáry v KTMT.
8. Požár olejového hospodářství TK čerpadel A018/1,2,3, A019/1,2,3.
9. Požár společného olejového hospodářství reaktorovny A020, A113.
10. Požár olejového hospodářství HCČ A315/1,2.
11. Požár v kabelových prostorech BD AE219/1,2, AE220/3, AE224.
12. Požár v kabelové šachtě 1. (2., 3.) systému.
13. Požár v kabelovém prostoru 2. systému a SOR AE747, AE822, AE932.
14. Ostatní požáry v obestavbě.
15. Požár olejového hospodářství.

4.2. Havarijní stavy

Dle [5,6] jde o stavy spojené s:

- odstavením reaktoru nebo spuštěním SZB (systém zajištění bezpečnosti),
- dodatečným spuštěním SZB,
- opakovanou diagnostikou,
- činností po havarijním odstavení reaktoru,
- vychlazováním v režimu přirozené cirkulace,
- vychlazováním v režimu PC (přirozená cirkulace chladiva)s omezeným provozem TK (doplňování I.O. a bórová regulace).

Při úniku primárního chladiva [5,6] dochází k izolaci porušeného parogenerátoru a následně k odstavení reaktoru. Jsou to úniky:

- únik primárního nebo sekundárního chladiva,
- ukončení havarijního doplňování TQ,
- ztráta havarijní recirkulace chladiva.

Na bezpečný provoz parogenerátoru nemají dle [5,6] vliv úniky:

- LOCA mimo kontejnment,
- vychlazování a odtlakování po LOCA [5,6].

V případě úniku sekundárního chladiva se provede izolace porušeného parogenerátoru a následně se odstaví reaktor a dle [5,6] se provede:

1. Izolace porušeného PG.
2. Nekontrolované odtlakování všech PG [5,6].

Při úniku chladiva z I.O do II.O se provede izolace porušeného parogenerátoru a následně se odstaví reaktor. Dle [5,6] se jedná o úniky:

- prasknutí trubky PG,
- prasknutí trubky PG s havarijním doplňováním TQ,
- vychlazování s prasklou trůbkou PG zpětným plněním,
- vychlazování s prasklou trůbkou PG pomocí odluhů
- prasknutí trubky PG se ztrátou chladiva-podchlazení zachováno,
- prasknutí trubky PG se ztrátou chladiva-saturace povolena.

Úplná ztráta bezpečnostního napájení nemá vliv na bezpečný provoz parogenerátoru. Dle [5,6] je to:

- úplná ztráta bezpečnostního napájení 6 kV,
- obnovení bezpečnostního napájení 6 kV bez havarijního doplňování TQ,
- Obnovení bezpečnostního napájení 6 kV s havarijním doplňováním TQ.

4.3. Projektové havárie

Při havarijních režimech jako jsou:

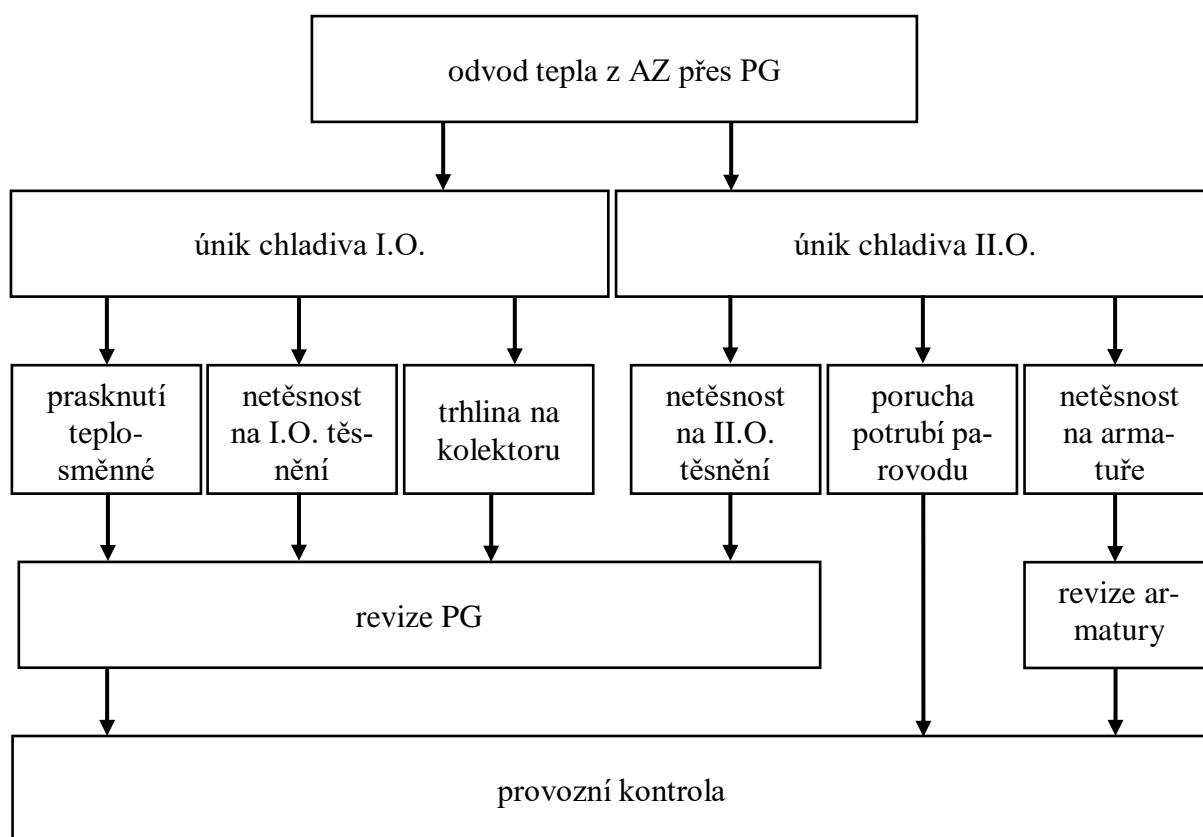
- režim malého úniku-roztržení potrubí I.O. DN<100,
- režim velkého úniku roztržení potrubí I.O. DN>100 včetně DN 850,
- neuzavření pojistného ventilu KO (pro každý ventil),
- neuzavření pojistného ventilu PG (pro každý PG),
- nedosednutí rychločinné armatury na vysokotlakých parovodech PG,
- vystřelení regulačního orgánu při roztržení pouzdra LKP,
- okamžité zadření HCC,
- roztržení parovodu PG,
- roztržení potrubí napájecí vody PG,
- roztržení sběrného potrubí ostré páry atd.,

je dle [5,6] prvotním požadavkem rychlé a bezpečné odstavení reaktoru (jeho uvedení do podkritického stavu), havarijním pádem svazkových řídicích tyčí, které v časovém rozsahu od (1,5-4) sekundy zapadnou do AZ. Dalším požadavkem je zajištění odvodu akumulovaného a zbytkového tepla z AZ, pokud možno též zabránit varu chladiva v AZ. Požadavky chlazení AZ zajišťuje aktivní a pasivní systém havarijního chlazení AZ-TQ, který dodává nad AZ reaktoru nebo pod zónu chladicí roztok kyseliny borité. Kyselina boritá navíc zajistí hlubokou podkritičnost AZ reaktoru [4].

Pro případ neuchlazení AZ a jejího roztavení a následné protavení TNR jsou zpracovávány studie na zvládnutí coria (taveniny) v podmínkách kontejnmentu. V tomto případě se jedná o nadprojektovou havárii [4].

5. KRITICKÁ MÍSTA PAROGENERÁTORU

Hlavním úkolem parogenerátoru je odvod tepla z aktivní zóny reaktoru. Z tohoto důvodu je třeba zajistit jeho bezpečný provoz mezi jednotlivými kampaněmi a sledovat životnost parogenerátoru z hlediska dlouhodobého provozu. Postup, vytvořený dle [7], je na procesním grafu – obrázek 10. Porucha odvodu tepla z aktivní zóny reaktoru způsobí snížení výkonu reaktoru a může vést až k havarijnímu odstavení reaktoru.



Obr. 10. Strom událostí při poruše parogenerátoru [4,5,6].

6. NÁVRH OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI

Program provozních kontrol zabezpečuje zajištění kvality a technické bezpečnosti parogenerátoru. Účelem programu provozních kontrol dle [8] je:

- periodické prověřování vybraných zařízení z hlediska zjištění míry zhoršování jejich stavu v důsledku působení degračních mechanismů, změn materiálových vlastností způsobených napětím, vysokou teplotou, radiací, absorpcí vodíku, korozi, erozi, vibracemi a mechanickým opotřebením během provozu JE,
- poskytnutí průkazu o stavu, kterým je zabezpečena schopnost vybraného zařízení trvale plnit bezpečnostní funkci, spolu s projektovými funkcemi, které ji podporují [8].

Program provozních kontrol obsahuje dle [7] minimálně následující položky:

1. Identifikaci vybraného zařízení.
2. Kontrolní místa na vybraném zařízení.

3. Aplikované kontrolní metody.
4. Kritéria přijatelnosti pro vyhodnocení výsledku kontroly.
5. Interval (perioda) kontroly v průběhu provozu.

Do programu provozních kontrol jsou vždy zařazena vybraná zařízení, která jsou součástí systému nezbytného pro plnění bezpečnostní funkce a další vybraná zařízení na základě identifikace degračních mechanismů, jejichž působení na vybrané zařízení je nutné prověřovat. Dle [8,9] jde o:

- zařízení zajišťující integritu primárního okruhu,
- ostatní komponenty, jako jsou hlavní potrubí páry, potrubí napájecí vody, jejichž selhání může ohrozit zařízení výše uvedené.

Standardním rozsahem kontrol na parogenerátoru je umožněno zjištění možného jeho zhoršení stavu s ohledem na degrační mechanismy a zkušenosti z provozu. Kontrolní místa na zařízení jsou zvolena tak, aby odpovídala nejvíce zatíženým oblastem s nejhoršími degračními mechanismy [8].

Za účelem ověření platnosti projektových předpokladů a uvažovaných provozních degradací je v případě parogenerátoru standardní rozsah kontrol rozšířen o další kontrolní místa tak, aby bylo prokázáno, že po uplynutí původní projektové životnosti nedošlo ke zhoršení jeho stavu vlivem nadměrného opotřebení působením známých provozních degradací nebo z důvodu působení neočekávaných degradací, které nebyly pro provoz parogenerátoru projektem uvažovány [8].

Rozsahy kontrol, které vycházejí z technické dokumentace parogenerátoru a individuálních programů zajišťování jakosti, mohou být na základě vyhodnocení programů údržby upraveny se zohledněním k výsledkům dosud provedených kontrol, přístupnosti ke kontrolovaným místům, technickému rozvoji a možnostem zkušebních metod, čerpání životnosti, zkušenostem z provozu zařízení, doporučení výrobců zařízení a zkušenostem z jiných jaderných elektrárn [8,9].

Zařízení musí být kontrolována vizuálně, povrchovými a objemovými nedestruktivními metodami. Komponenty tlakového rozhraní musí být rovněž předmětem zkoušky těsnosti. Integrita parogenerátoru je prověřována v rámci hydraulické zkoušky systému [8].

Zkoušení, resp., měření je prováděno v rozsahu předepsaném programu provozních kontrol a podle písemného postupu. Změny v postupech pro provádění zkoušek je nutné vždy posoudit z hlediska vlivu na citlivost zkoušení. Pokud může změna postupu ovlivnit citlivost zkoušení, je nutné provést vždy srovnávací zkoušku, aby byly dostupné výsledky původního a nového způsobu zkoušení a bylo zajištěno, že nový způsob zkoušení nemá nižší citlivost [8].

Přístroje a měřidla pro provádění provozních kontrol musí splňovat požadavky dané platnými předpisy. Záměna zkušebního zařízení nebo metody je možná pouze po prokázání shody na základě výsledků srovnávacích měření [8].

Kontroly musí být prováděny v takových intervalech, aby bylo zajištěno, že jakékoliv zhoršení stavu zařízení bude zjištěno dříve, než dojde k jeho selhání [8].

Jednotlivé kontroly je možno uskutečňovat postupně v době provozu, nebo typové a rozšířené odstávce pro plánovanou výměnu paliva tak, aby jako celek byl program naplněn ve stanovených intervalech. Intervaly kontroly vychází z technické dokumentace vybraného zařízení, platných předpisů pro provoz zařízení a doporučení výrobců nebo dodavatelů zařízení. Jejich změnu je možné provést na základě přijatelného výsledku posouzení pro spolehlivý a bezpečný provoz v následném období a po schválení dozorným orgánem [8].

Jako výchozí je pro stanovení intervalu kontrol použit předpis pro výstavbu a bezpečný provoz zařízení jaderných elektráren, experimentálních a výzkumných jaderných reaktorů a souborů [8].

7. ZÁVĚR

Periodickým prověřováním parogenerátoru, jeho jednotlivých částí a převážně části spadající do kategorie vybraných zařízení pomocí diagnostiky a metod nedestruktivních kontrol se sleduje z hlediska zjištění míry zhoršování jeho stav v důsledku působení degračních mechanismů, změn materiálových vlastností způsobených napětím, vysokou teplotou, radiací, absorpcí vodíku, korozi, vibracemi a mechanickým opotřebením během provozu JE.

Perioda jednotlivých kontrol je zvolena individuálně dle umístění a v návaznosti na pravidelné odstávky výrobního bloku pro výměnu jaderného paliva.

Tyto periodické kontroly pomůžou odhalit indikaci počínajících poruch a zhodnotit celkový stav parogenerátoru. Na základě zhodnocení stavu se provádí preventivní údržba s včasnou nápravou, aby nedošlo k fatálnímu důsledku při poruše funkce parogenerátoru.

POUŽITÉ ZKRATKY

AZ	aktivní zóna
AZR	aktivní rezerva
BD	bloková dozorna
BSVP	bazén skladování vyhořelého paliva
ČK	čistý kondenzát
HA	hydroakumulátor
HCC	hlavní cirkulační čerpadlo
HÚ	havarijní úroveň
CHČ	chladicí čerpadlo
I.O.	primární okruh
II.O.	sekundární okruh
JE	jaderná elektrárna
KO	kompensátor objemu
KTMT	kontejnment
LOCA	havárie spojená s únikem primárního chladiva
Lsa	zásahová úroveň pro odstavení reaktoru
Lsd	zásahová úroveň pro odstavení reaktoru
N _{NOM}	normální výkon
NTR	nízkotlaká regenerace
PC	přirozená cirkulace chladiva
PG	parogenerátor
PPK	program provozních kontrol
PSA	přepouštěcí stanice do atmosféry
PSK	přepouštěcí stanice do kondenzátoru
RČA	rychločinná armatura
RZV	rychlouzávěrný ventil
SZB	systém zajištění bezpečnosti

TBN	turbonapáječka
TF	chladicí meziokruh hlavních cirkulačních čerpadel
TG	turbogenerátor
TK	system doplňování/odpouštění primárního okruhu
TQ	system havarijního chlazení aktivní zóny a sprchování kontejnmentu
TVD	technická voda důležitá
TVN	technická voda nedůležitá
VF	System technické vody důležité
VS	vlastní spotřeba
VTR	vysokotlaká regenerace

LITERATURA

- [1] ČEZ. *Bezpečnostní zpráva ETE - PpBZ1,2, rev. 0 – V 10*. Praha: ČEZ 2009.
- [2] CENCINGER, F. *Primární část JE VVER 1000, Díl I*. Brno: IL 2008.
- [3] KUSÍN, L. *Dokument ETE 4-JL-000619, rev. 1*. IL: Ostrava 2008.
- [4] ČEZ. *Dokument ETE OTC006/X*. Praha: ČEZ 2020.
- [5] ČEZ. *Dokument ETE OTC007/X*. Praha: ČEZ 2020.
- [6] ČEZ. *Dokument ETE OTC008/X*. Praha: ČEZ 2020
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p.
- [8] ČEZ. *Dokument ETE PPK/1,2*. Praha: ČEZ 2021.
- [9] ČEZ. *ETE - interní databáze Program dohledu*. Praha: ČEZ 2021

Poděkování: Autor děkuje za konzultace paní doc. RNDr. Daně Procházkové, CSc., DrSc.

VÝSLEDKY ŘEŠENÍ VYBRANÝCH PROBLÉMŮ

DYNAMIKA A MANAGEMENT RIZIK PROJEKTŮ

DYNAMICS AND PROJECT RISK MANAGEMENT

Václav Beran², Petr Dlask¹, Leitmanová Ivana²

¹ ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 166 00 Praha 6, Česká republika; petr.dlask@fsv.cvut.cz

² JCU České Budějovice

Abstrakt: Stávající Mezinárodní norma Management rizika projektu – směrnice pro použití, IEC 62198 a již její první vydání z 2001–04 si klade za cíl poskytnout definice k bezpečnostní problematice, vymezit role managementu rizik v projektu a procesech managementu rizik projektu. Věnuje pozornost dokumentaci, určování souvislostí a posuzování rizika. Jedná se o přístup ze své podstaty technicky zaměřený. Váže správně svá doporučení k technické podstatě návrhu, nicméně v řadě případů fragmentuje opatření do oblasti životního cyklu a dokumentace odpovědnosti. Jedná se vesměs o opatření, která jsou rozložena v čase a mají ekonomický charakter. V dynamicky se vyvíjejících situacích může být rozhodování obtížné. Citlivé rozšíření hodnotících indikátorů, v takových situacích přináší řadu benefitů. Zejména některé vizualizace výsledků a hodnocení přípravy plánů na zmírnění průběhu a důsledků havarijních stavů poskytuje reálné benefity.

Klíčová slova: Dynamika; bezpečnost; projekt; návrh; rozhodování.

Abstract: The current International Standard IEC 62198 Project Risk Management – Guidelines for Use, first issued since 2001-04, aims to provide definitions on safety issues, define the roles of risk management in the project and project risk management processes. It pays attention to documentation, context determination, and risk assessment. This IEC is inherently technically oriented. It correctly links its recommendations to the technical nature of the proposal, but in many cases, it fragments life-cycle measures and liability documentation. These are mostly measuring that are spread over time. In dynamically evolving situations, decision making can be difficult. Sensitive extension of evaluation indicators in such situations brings a number of benefits. In particular, some visualizations of results and evaluation of the preparation of plans to mitigate the course and consequences of emergencies provide real benefits.

Key words: Dynamics; safety; project; proposal; decision-making.

1. ÚVOD

Management rizika s vazbou na normu IEC 62198 se dotýká celé řady technických projektů oborového charakteru. Naplnění požadavků je vesměs založeno na technické feasibility návrhů. Standard IEC 62198 se nicméně dotýká odpovědnosti vrcholového vedení. Manažer projektu je dle odst. 5 a 5.1 normy odpovědný za úkoly managementu rizika projektu v rámci funkce celkového managementu projektu. Jedná se o široké spektrum odpovědností v otázkách rizik projektů jako: určování souvislostí; řízení činností; řízení analýza a ošetření rizik; součinnost při rozhodování výkonného vedení; zajištění komunikace; zajištění plánů pro *nepředvídatelné situace*; zajišťování *jakýchkoliv* problémů při managementu rizik; monitorování managementu rizik; poskytování dokumentace rizik [1]. Z uvedené dikce IEC je patrné, že úkoly lze delegovat, odpovědnost nikoliv. Pokud zvážíme imperativ formulace *nepředvídatelné a jakékoliv problémy*, bude management rizika zcela předvídatelně v řadě situací v informační nouzi [2].

Úzkým profilem problému jsou používané metody pro zpracování podkladů pro management rizik, zejména z hlediska dynamiky prostoru čas – věcné řešení [3].

Je pravda, že nástrojů na rychlé posouzení a vyhodnocení případných nedostatků v prostoru časového a nákladového rozvrhu existuje obecně velmi málo. Navíc pokud existují, jsou interním know-how jednotlivých participujících realizačních partnerů. Legislativní podpora dostupnosti dat a interního SW externích kooperujících subjektů je doposud nízká. Současně je třeba rozlišovat v souvislostech. Citace z IEC 62198: *Při použití této normy je nutné ji přizpůsobit každému specifickému projektu. Za zcela nevhodné se tudíž považuje vnucovat odborníkům na management rizika nějaký certifikační systém. Tato norma se specificky nezabývá problémy, které se vztahují k bezpečnosti. Pokud se při použití této normy uvažují bezpečnostní problémy, zabývá se managementem těchto rizik skupina norem zaměřených na bezpečnost, nebo se jimi zabývají výrobové normy, a nikoliv tato norma.*

Norma sama odkazuje v části 6.3 Posuzování rizika na nástroje, respektive odstavec 6.3.2 Analýza rizika na techniky jako ... *analýza stromu poruch, analýza druhů a důsledků poruch (IEC 608012), analýza stromu událostí, citlivostní analýzy, statistické metody a síťová analýza.*

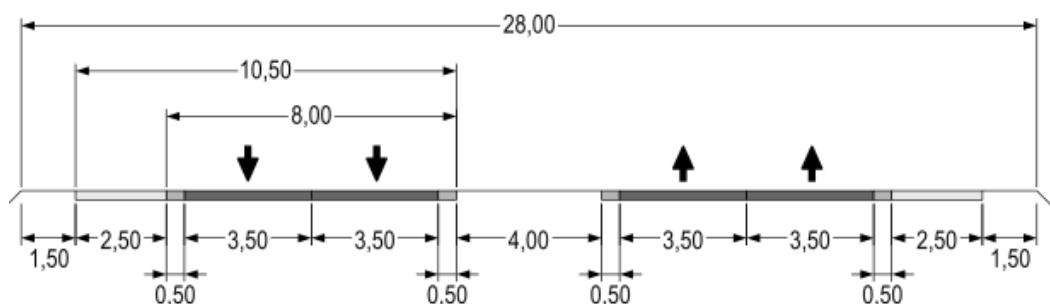
Obecně dobře je propracovaná otázka termínů a nákladů [4]. Autoři publikace podrobili revizi data z rozsáhlého spektra případů. Nadto, objektivní šetření komplikuje realita, že termíny a náklady jsou tzv. vlastním zájmem managementu realizátorů; zejména v otázce jejich prodlužování a navyšování.

2. MOTIVACE

Každý projekt, návrh, řešení, se opírá o formulovanou *potřebu* navázanou na ekonomiku poptávky, nebo nabídky. Podnikatelská rizika v privátním, nebo veřejném sektoru jsou podstupována s vizí budoucích benefitů (podmíněných riziky). Za významný motivační argument lze označit skutečnost, že: *nuclear power plants: costs of the reactor containment building more than doubled, primarily due to declining on-site labour productivity. Productivity in recent US plants is up to 13 times lower than industry expectations* [4].

Príspevek je zaměřen na otázku času a dynamiky nákladů [5] jako základního nástroje pro řízení času. Čas a finanční zdroje jsou považovány za hlavní endogenní faktory bezporuchové realizace [6]. Hledá perspektivu pro vyhodnocovací pohledy související s přístupy, jako je časový rozvrh, Gantův graf, cyklogram, diagram vývojové linie a mnoho dalších softwarových produktů. Snahou je položit základy SW-analýze v ekonomice a řízení rozsáhlých ekonomicko-organizačních projektů. Ohrožení realizace projektů je dosud vesměs spojováno s haváriemi termínů a nákladů realizace [7]. Skutečností však je, že častým nerozpoznaným fatálním pochybením je již samotná koncepce projektu a dopady na celý životní cyklus projektu. Uvedme si zjednodušený příklad. Pojem dálnice je vymezen příčným profilem. Pokud výchozí, dálnici podobný profil s kapacitou 30 tisíc vozidel za den (příčný profil – obrázek 1) nevyhovuje, je nutná údržba, obnova, modernizace, existuje řada modelů návrhů na realizaci rozšíření.

Pokud bude zvoleno tzv. řešení: *rozšíření formou 4s+0* nebude docházet k novým kongescím a po dobu výstavby/dostavby bude provoz na trase prakticky bez nových termínových a nákladových eskalací (obrázek 2 - Mannheim-Wallstadt 2007). Rozsáhle použito například pro zaústění A9 do Mnichova. Uplatnění postupu 4-0 má řadu modifikací. Jedná se významně o šetrnější řešení, než převádění dopravy do menšího počtu jízdních pruhů apod. Předností jsou bezpečnostní hlediska, návazně rizika kongescí, nehod. Rozhodování o strategii je součástí věcné podstaty požadavků IEC 62198 Managementu rizika projektu.



Obr. 1. Dálniční podobný profil, kapacita do 30 tis. vozidel za den.



Obr. 2. Separovaná výstavba/dostavba, typ 4s+0.

Je pravdou, že rozsáhlé projekty a finančně náročná projektová řešení v mnohém postrádají náplň pro IEC 62198.

3. METODA

Pro zjednodušení výkladu jsou vstupní dokumenty komprimovány do několika schématických bloků. Označíme je zde jako podklady pro propočít:

- $TAB_{Input}(A)$, ... kde je souhrn disponibilních podkladů k aktivitám projektu (disponibilní znalosti na vstupu),
- $TAB_{Input}(G_{Org}(A))$, ... je graf limitů dynamiky procesů realizace (organizační, legislativní, ŽP, ...),
- $TAB_{Input}[A, G_{Org}(A)] | sim$, ... je simulační propočít autonomní variability procesů realizace.

Za výstupy získané pomocí software [8] označíme v této fázi zjednodušeně kvantitativní a kvalitativní věcné i časové řady $\{\bullet\}$, kde z hlediska posuzování návrhů realizace dynamických procesů působí zejména výstupy:

- $\{Q_A(t)\}$, ... je celkový realizovaný (kumulovaný) objem v průběhu realizace projektu,
- $\{Q'_A(t)\}$, ... je objem realizace v jednotlivých časových obdobích t ,

- $\{Q''_A(t)\}$, ... je změna objemu realizace (akcelerace) v jednotlivých časových obdobích t ,
- $\{Q'''_A(t)\}$, ... je změna akcelerace (impuls), vynaložený na akceleraci v t .

Změny na vstupech umožňují sledovat jejich vliv na výstupní parametry. Komparativní vyhodnocení výstupů je podporou pro hodnocení benefitů změn a rozhodování. Rizika, bezpečnost a krizové stavy mohou být hodnoceny účinněji.

Podpora rozhodování je u většiny tradičních rozhodovacích metod svázána s propočtem benefitu bez vazby na dynamiku očekávaných trendů v budoucnosti. Pokud jsou zaváděny, jedná se o expertní odhady, byť odvozené ze statistických dat minulosti. Model, notace, byla označena jako výčet dostupných znalostí $TAB_{Input}(A)$, čtème jako technická a ekonomické dokumentace, požadavky legislativy [9] atd.

Očekávaný vývoj, respektive trend chování použitého modelu může být zabudován již do samotného modelu. Mluvíme pak o chování modelu dynamického procesu, pro uváděný výklad ekonomické aplikace, bezpečnostní, nebo technické aplikace, zvolen forma $TAB_{Input}(G_{Org}(A))$. Označení bylo voleno tak, aby postihlo ekonomickou praxi propočtů v rozsáhlých datových souborech, síť prostřednictvím G_{Org} navázané na databáze mnoha zdrojů, vnitřní závislosti lineární, nelineární, spojité, nespojité atd. Alternativní označení *navazné procesy* [8]. V uvedeném smyslu označení $TAB_{Input}(A)$ je v ekonomické praxi formalizované (například tabulkové procesory), soustřeďuje vstupní znalosti A . Schematický zápis $TAB_{Input}[A, G_{Org}(A)]$ | *sim* upozorňuje na možnost účelového rozpracování $TAB_{Input}(G_{Org}(A))$ do simulačních výstupů *mapující* zvolené vlastnosti návrhu (projektu).

Pokud ilustrační příklad vzbudil ve čtenáři dojem, že obecnost výkladu by zasloužila příklady výstupů, je to správné. Pokud byl vyvolán pocit, že uvedený přístup je aplikovatelný na velké množství projektů, je třeba ocenit dedukci a pochopení. Dříve uvedené kvantitativní výstupy $\{Q_A(t)\}$ jsou motivovány klasickou mechanikou včetně kvalitativního odvození časových řad $\{Q'_A(t)\}$, $\{Q''_A(t)\}$, $\{Q'''_A(t)\}$. Nicméně, věcná náplň úloh ($TAB \dots$) je ekonomického charakteru se zaměřením na rizika a bezpečnost a je obsluhována ekonomickou terminologií.

4. VÝSTUPY A JEJICH DOSTUPNOST

Seznámení s výstupy, respektive výsledky pro rozšíření běžných analýz managementu bezpečnosti rozsáhlých projektů v segmentech:

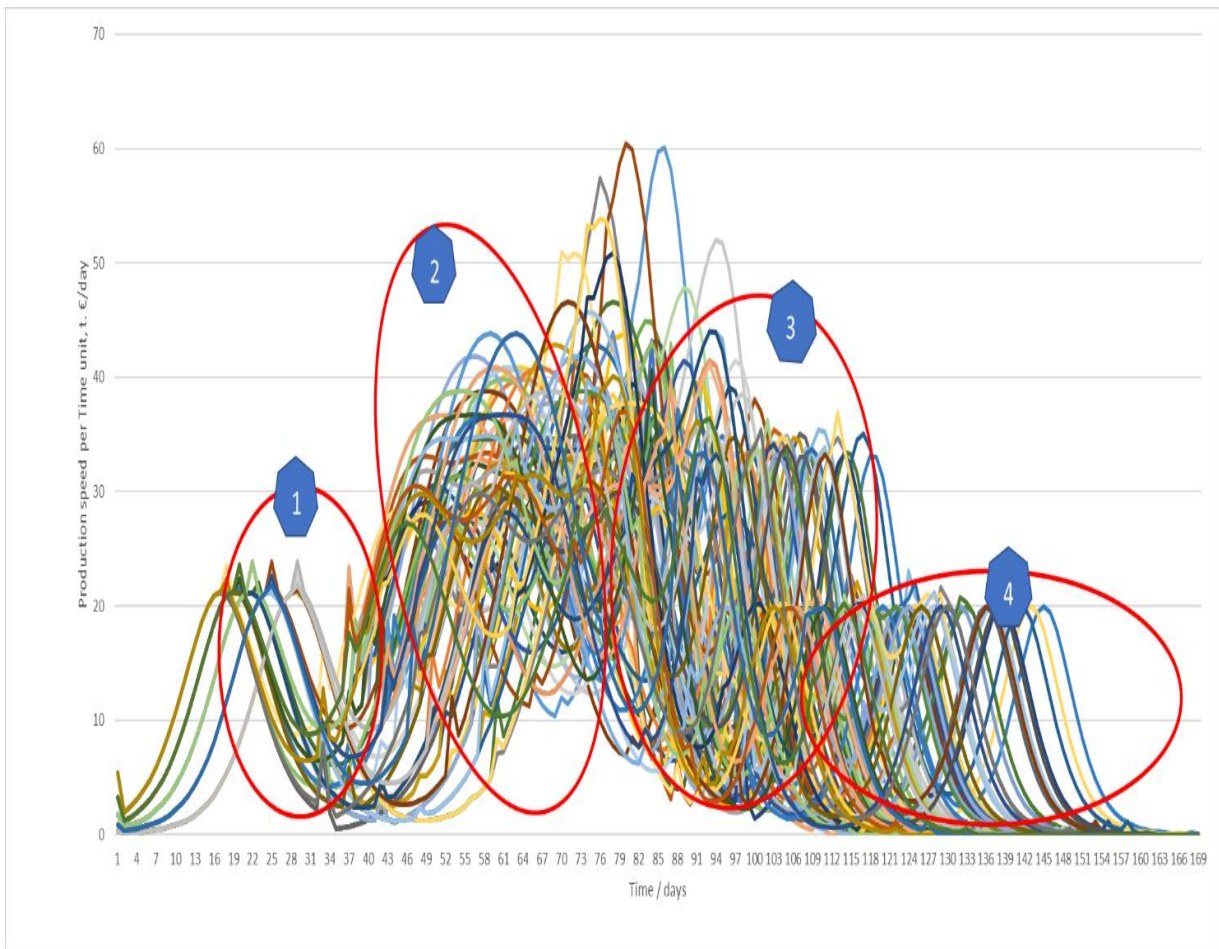
- navrhování nových řešení,
- sledování průběhu realizace,
- vyhodnocování realizace,
- posuzování variantních řešení návrhů,
- posuzování míry sensibility a feasibility projektových návrhů,

může usnadnit náhled do výstupů v jejich grafické formě.

Při aplikaci deterministického přístupu a simulace rychlosti realizace projektu ukazuje, že propočet na bázi $TAB_{Input}(G_{Org}(A))$ umožňuje získat jednu časovou řadu realizačních rychlostí potřeby zdrojů v $\{Q'_A(t)\}$ projektu. Simulační propočet typu $TAB_{Input}[A, G_{Org}(A)]$ | *sim* se zapracovanými *volatilitami* (například expertních odhadů) upozorní na změny, které lze v potřebě zdrojů a následně termínech dokončení očekávat. Obr. 3 uvádí vypočítané průběhy s distribucí zdrojů dílčích aktivit pomocí logistické funkce. Jednotlivé fáze označené 1-4 mají své věcné ekonomické a organizační pozadí (zahájení, stabilizace, dokončování, finalizace).

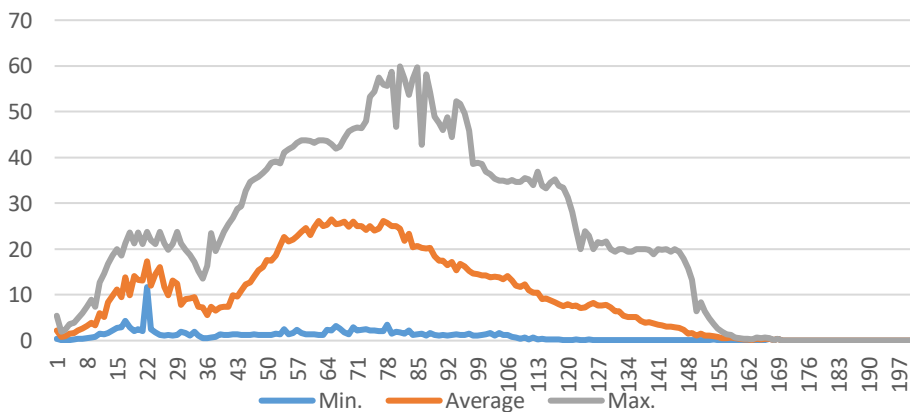
Pro charakteristiku projektu po stránce propracovanosti a očekávaných rizik a nejistot jsou indikátorem obalové křivky výstupních veličin min/max. Vytvořený prostor k obalovým křivkám (obrázek 4 ukazuje vertikálně průměr – max, průměr – min) indikuje vysokou tendenci

k nestabilitě poskytnutých dat. Doporučení k přepracování návrhu, nebo jeho zamítnutí lze v daném případě očekávat.



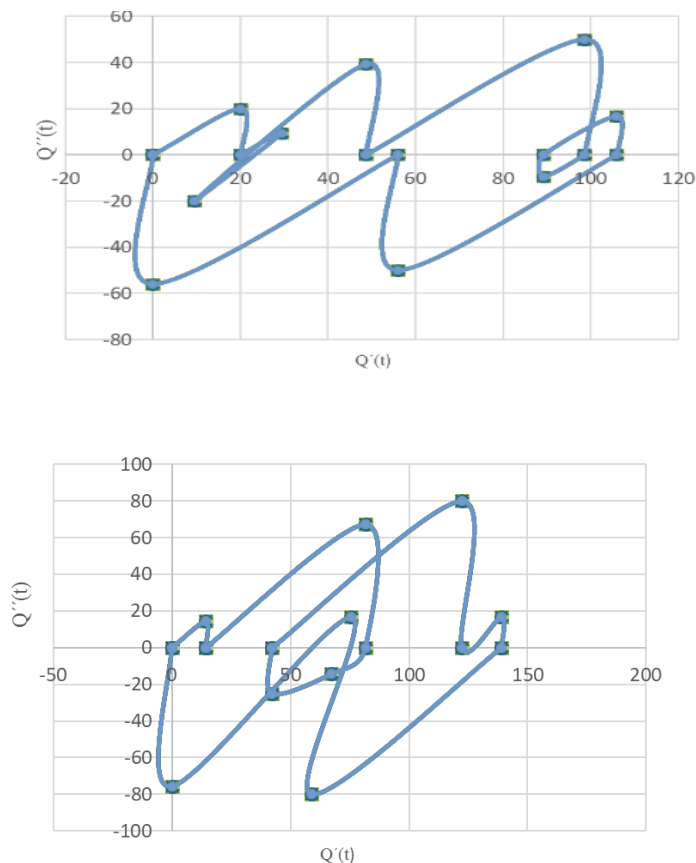
Obr. 3. Simulace (100x) potřeb zdrojů pro realizaci – volatilita návrhu.

Doplňujícími indikátory jsou v dynamických modelech grafy, tzv. fázové portréty projektu/návrhu. Obr. 4 uvádí jeden takový příklad. Již vizuální komparace dvou řešení (se znalostí věcného pozadí návrhů) indikují odlišnosti v časovém průběhu a přeneseně i vkládaného úsilí do realizace projektu.



Obr. 4. Obalové křivky toku zdrojů pro $\{Q'(t) | \text{sim}\}$; distribuce zdrojů na A dle logistické funkce; horizontální osa čas, vertikální osa realizační rychlost.

Pro vyhodnocování variantních řešení a jejich podpory v technickoekonomickém pozadí návrhů existují zajímavé možnosti uplatnění a rozšíření existujících nástrojů hodnocení. Revize některých metod rozhodování může být zajímavým uplatněním některých nových přístupů.



Obr. 4. Varianty návrhů – fázové portréty $Q''(t)$ akcelerace k $Q'(t)$ realizační rychlost.

5. ZÁVĚR

Rizika a bezpečnost navrhování náročných projektů je oblast, ve které nebyly dosud vyčerpány všechny možnosti uplatnění SW podpory. Praktická realizace rozsáhlých projektů a jejich provozování přináší stále svědectví o haváriích, ohrožení, kontaminaci, zřícení, nedokončení, nutnosti zastavení financování, chybách v poskytnutých podkladech, nedodržení termínů, účelových změnách projektů s cílem navyšovat celkovou cenu projektu, a celé řadě dalších krizových situací. Subjektivně by bylo možné označit řadu situací v přípravě, realizaci, a užívání za fáze, které jsou *chaotické*. Rozpoznání takových situací včas a jejich objektivní kvantitativní prokázání je žádoucí úroveň nového poznání. Cesta eliminace subjektivních pojmů jako je nekontrolovatelnost, neurčitost, nepředvídatelnost, nejasnost, a další jsou spojované se subjektivním označením chaos je stejně potřebná, jako je dosud pouze raritně praktikována.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>

- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN 78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [3] BERAN, V., DLASK P. *Dynamický harmonogram*. ISBN 80-200-1007-6. Praha: Academia 2002.
- [4] EASH-GATES, P. et al. Sources of Cost Overrun in Nuclear Power Plant Construction Call for a New Approach to Engineering Design. *Joule* 4 (2020) 11, pp. 2348-2373.
- [5] BURTON, H. K. *Dynamic Economics*. ISBN 9780674188679. Harvard: Harvard University Press 1936.
- [6] KUDA, F. et al. *Management ekonomiky správy majetku*. ISBN 978-80-88260-03-5. Praha : Professional Publishing 2018.
- [7] BERAN, V., TEICHMANN, M., KUDA, F. Decision-Making Rules and the Influence of Memory Data. In: *Sustainable Decision Making in Civil and Construction Engineering*. Praha 2021.
- [8] BERAN, V. ET AL. Mapping of synchronous activities through virtual management momentum simulation. *Construction Innovation: Information, Process, Management*. 11(2011) 2, pp. 190-211.
- [9] ČR. <http://www.pracepravniky.cz/zakony/stavebni-zakon-uplne-zneni>

REKONSTRUKCE A BEZPEČNOST EXPERIMENTÁLNÍ SOLNÉ SMYČKY MSL

RECONSTRUCTION AND SAFETY OF THE EXPERIMENTAL MOLTEN SALT LOOP

Michal Cihlár^{1,2}, Dana Procházková¹, Pavel Zácha¹, Jan Prehradný^{1,2}, Václav Dostál¹

¹ Ústav energetiky, FS ČVUT v Praze, Technická 4, 160 00 Praha 6, Česká republika, micha.cihlar@fs.cvut.cz

² Oddělení jaderný palivový cyklus, CV Řež

Abstrakt: V poslední době se technologie tekutých solí rozšiřuje stále více, a to v mnoha odvětvích. Nejinak je tomu i v jaderné energetice, kde představují jednu z větví navrhovaných budoucích reaktorů IV. generace. Pro zajištění výzkumu souvisejícím s technologií roztavených solí je v CV Řež budováno experimentální zařízení – solná smyčka MSL. Při jejím návrhu byly použity metody projektování založené na řízení rizik založené na kontrolním seznamu. Na základě analýz byla provedena řada změn, které vedly ke snížení rizika provozu experimentálního zařízení.

Klíčová slova: Tekuté soli; projektování založené na řízení rizik; jaderné reaktory s roztavenými solemi; bezpečnost.

Abstract: Currently, the molten salts are an arising technology in many different fields, including the nuclear industry, where the molten salt reactors are among the proposed future reactors of generation IV. In order to study the molten salts, an experimental molten salt loop MSL is being built in the Research Centre Řež. The methods of risk-based design and checklist are used in its design stage. Based on the results of those analysis many different changes and upgrades are proposed. These changes lead to the decrease of risk associated with experimental device service.

Key words: Molten salts; risk-based design; molten salt reactor; safety.

1. ÚVOD

Předložený článek popisuje přístup zvolený pro rekonstrukci a znovuuvedení do provozu experimentální solné smyčky MSL umístěné v laboratořích fluoridové chemie CV Řež, vychází z dat a výsledků práce [1] a rozvíjí je o nové výsledky a poznatky. Experimentální solná smyčka MSL je určena pro materiálový výzkum vhodných konstrukčních materiálů pro budoucí solné reaktory IV. Generace. Jde o studium vlastností roztavených solí a také o ověřování nově vyvíjených komponent a postupů. Pracovním médiem solné smyčky MSL je eutektická směs LiF-BeF₂ (67-33 mol%), nazývaná FLiBe.

Zmíněný výzkum, vývoj a testování jsou součástí dlouhodobého úsilí o rozvoj jaderné energetiky, a především o brzké nasazení solných reaktorů IV. generace. Tekuté soli použité jako chladivo a/nebo palivový nosič mají nesporné výhody, mezi které patří vysoká teplota varu, vysoká hustota a další. Pro solné reaktory jako takové bude z použití roztavených solí dle [2] pramenit možnost:

- dosahovat vysoké výstupní teploty chladiva,
- pracovat při nízkém tlaku primárního okruhu,
- výrazně zjednodušit fabrikaci paliva,

- pracovat v režimu kontinuálního doplňování paliva, kontinuálního odstraňování štěpných produktů a v thorium-uranovém množivém režimu.

2. PROBLEMATIKA TEKUTÝCH SOLÍ

V praxi se v současné době používají především dusičnanové soli jako je $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$ pro koncentrační solární elektrárny či uhličitanové soli (např. $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3$) pro vysokoteplotní ukládání a akumulaci tepla [3]. V jaderné energetice jsou pro využití nejčastěji uvažovány fluoridové soli LiF-BeF , LiF-NaF-KF nebo NaF-NaBF_4 .

Využití tekutých solí s sebou může nést také některé nepříjemné a nežádoucí dopady, které jsou způsobené např.:

- vysokou korozní agresivitou vůči konstrukčním materiálům,
- vysokou teplotou tání,
- toxicitou solných sloučenin,
- nevhodnými neutronovými vlastnostmi,
- vysokým tlakem par,
- nedostatkem provozních zkušeností.

Zásadní nepříjemnou vlastností tekutých solí, která musí být vyřešena, aby bylo umožněno komerční nasazení tekutých solí v jaderné energetice, je vysoká korozní agresivita. Hlubší porozumění koroznímu chování, korozním mechanismům a korozním účinkům je kritickou ználostí pro následnou aplikaci. Bezpečnost je pilířem jaderné energetiky, která musí být založena na experimentech a datech z nich získaných.

V současné době navrhované komerční solné reaktory využívají rozličné konstrukční materiály, a to od speciálně vyvinutých molybden-niklových slitin, přes nerezové oceli, keramiku až po grafit [4]. Porozumění korozním jevům, k nimž dochází při interakci tekutých solí s těmito konstrukčními materiály, ať už jednotlivě či v komplexních systémech obsahujících více konstrukčních materiálů, je nedílnou součástí vývoje nových solných reaktorů.

Korozní chování tekutých solí a jejich působení na konstrukční materiály je studováno v několika laboratořích po celém světě pomocí rozličných metod. Mezi základní a také nejlevnější metody patří statické korozní testy [5,6]. Naopak možnost komplexnějšího studia korozních interakcí je umožněno v experimentálních smyčkách [7].

Dalším zásadním oborem pro potenciální průmyslové uplatnění tekutých solí v jaderné energetice je měření chování tekutých solí. Přesné a spolehlivé senzory, čidla a metody vyvinuté pro měření mnoha fyzikálních a dalších veličin tekutých solí v průběhu provozu jsou kritickým předpokladem pro jejich nasazení [8].

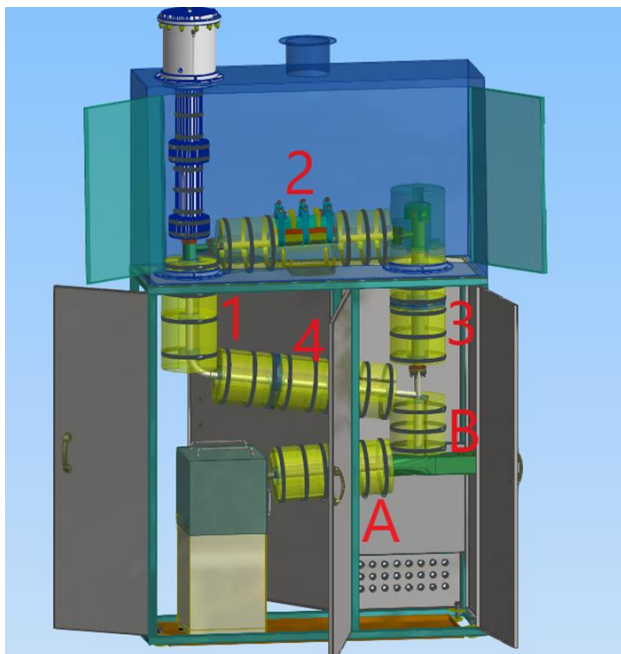
V neposlední řadě je nutné prohloubit teoretické znalosti tekutých solí jako takových, jejich fyzikálních a chemických vlastností, a to například v takových režimech jako je tání a tuhnutí. I když znalosti některých vlastností některých solí jsou již na vysoké úrovni [9], tak existuje stále řada nevyjasněných otázek.

Jednou z diskutovaných otázek je i toxicita některých solných tavenin a s tím spojená bezpečnost provozu. Například v případě soli FLiBe se jedná o obsah beryllia, které má nežádoucí dopady na lidský organismus [10,11,12].

Na zodpovězení některých ze zásadních otázek by se v budoucnu měla podílet i experimentální solná smyčka MSL v CV Řež, kde jsou společně s ÚJV dlouhodobé zkušenosti s tekutými solemi nejen v rámci České republiky, ale i ve světovém měřítku [13,14].

3. CHARAKTERISTIKA ZKOUMANÉHO ZAŘÍZENÍ

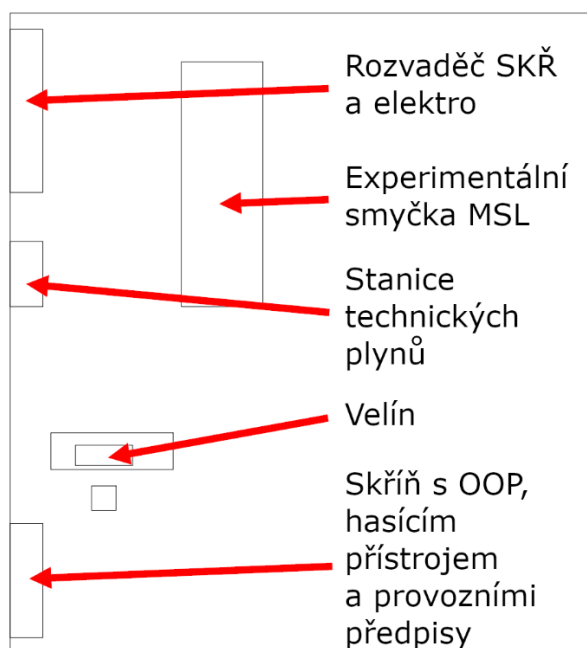
Měřicí zařízení, zobrazené na obrázku 1 má osm základních komponent (technologických celků): manipulační zásobní nádrž s ohřevem; vyhřívané propojovací potrubí mezi zásobní nádrží a smyčkou; zdroj technických plynů; experimentální smyčka MSL; jímky pro vkládání vzorků; nucený cirkulační systém (čerpadlo); záchytná bezpečnostní vana; a systém nuceného odtahu a vakuace a navíc topné elementy, které zajišťují dosažení a udržení pracovní teploty smyčky. Pracovní teplota je zde stanovena tak, aby umožňovala bezproblémový provoz a zaručovala, že pracovní médium zůstane tekuté za všech provozních režimů.



Obr. 1. Vizualizace měřicího zařízení s následujícími částmi: 1) vertikální potrubí a pracovní oblast čerpadla, 2) horizontální jímka pro vkládání testovaných vzorků, 3) vertikální jímka pro vkládání testovaných vzorků, 4) horizontální potrubí smyčky, A) horizontální část propojovacího potrubí mezi smyčkou a zásobní nádrží a B) vertikální část propojovacího potrubí. Části A) a B) slouží během provozu jako solné zátky (freeze-plug).

Měřicí zařízení je umístěné na nosné ocelové konstrukci a je napájené z oceloplechového rozvaděče. Přívodní kabely i potrubí přivádějící inertní plyny jsou umístěny pod podlahou. Ve sledovaném případě je měřicí zařízení umístěné v uzavřené hale, ve které je prováděna regulace teploty a vlhkosti a jsou splněny všechny požadavky normy [13]; obrázek 2.

Experimentální zařízení MSL je první zařízení svého druhu postavené v CV Řež a první podobné zařízení konstruované výrobcí ExPS a TARPO. V průběhu počátečního provozu původní smyčky MSL došlo k několika poruchám a závadám. Mezi poruchy a závady patřily: netěsnosti přírub; nespolehlivá detekce výšky hladiny taveniny; nefunkčnost vodorovné zkušební jímky; únik taveniny; roztržení přírubového spoje; a roztržený svar. Nejvíce škod nastalo při nočním provozu, kdy došlo k přerušení přívodu elektrického napájení, které souhrnou událostí vyústilo ve velkou trhlinu v místě jednoho ze svarů na kolmé části propojovacího potrubí [14]. Předmětná skutečnost zabránila dalšímu využívání experimentální smyčky. Nyní je v přípravě rozsáhlá modernizace, pro níž je přihlíženo ke všem rizikům. Z hlediska současného poznání se jedná o projektování založené na řízení rizik (risk-based design) [15] a provoz založený na řízení rizik (risk-based operation) [16].



Obr. 2. Dispoziční řešení místnosti s experimentální smyčkou MSL. 1) smyčka s bezpečnostní kapotáží, 2) rozvaděč MaR + Elektro, 3) zdrojová stanice technických plynů, 4) stanice velínu, ze kterého je ovládána MSL, regulace teploty a vlhkosti i větrání, 5) bezpečnostní vybavení (přívod vody, požární signalizace, hasící zařízení, osobní ochranné pomůcky, provozní předpisy, bezpečnostní listy pro používané technické plyny).

4. METODA ZPRACOVÁNÍ NÁVRHU A JEHO HODNOCENÍ

Podrobnější popis zařízení a použitých metod je v článku [1]. Zde je uvedeno pouze shrnutí a nové zatím nepublikované výsledky. Hlavní součástí použité metody projektování „risk-based design“ je v našem případě kontrolní seznam skládající se z 96 otázek. Předmětný nástroj je vždy při každé úpravě zařízení a iteraci ohodnocen minimálně pěti nezávislými experty z více oborů. Výsledná úroveň rizika je určována součtem jednotlivých příspěvků k celkovému riziku a ohodnocena dle tabulky 1.

Tab. 1. Hodnotová stupnice pro určení míry rizika.

Míra rizika	Hodnoty n/N [%]
Zanedbatelná – 0	Více než 95 %
Nízká – 1	70–95 %
Střední – 2	45–70 %
Vysoká – 3	25–45 %
Velmi vysoká – 4	5–25 %
Extrémně vysoká – 5	Méně než 5 %

Pro sestavení projektu podle principu „risk based design“ jsme nejprve sestavili písemný bezpečnostní manuál, který obsahuje jednotlivé kroky, jejich správné provedení a pořadí. Nezvažujeme odpovědnost experimentátora a dalšího obslužného personálu při měření, tj. příčiny spojené s lidským faktorem.

Risk-based projekt je založen na potřebě dodržovat nejen všechny normy a další legislativní nařízení pro jednotlivé komponenty, ale také hodnotí podsestavy, sestavy a celé systémové celky z hlediska vnitřních a vnějších vlivů a rizik. Proto začíná procedura tvorby projektu

kontrolou splnění všech norem u základních komponent a vazeb mezi těmito komponenty a pokračuje hodnocením integrovaných rizik dvojic a jejich rozhraní přes rozsáhlejší systémy až po určení celkového rizika zařízení. Pomocí uvedeného postupu jsou pak určeny jednotlivé oblasti hodnocení tak, jak jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Návrhy úprav modelu měřicího zařízení a jeho umístění v hale, míra rizika původního návrhu a míra rizika současného návrhu.

Oblast	Položky	Míra rizika	
		Původní návrh	Současný návrh (5. revize)
Prostředí-hala	1–12	0.83	0.90
Komponenty	13–38	0.97	0.96
Postup konstrukce	39–53	0.65	0.89
Postupně propojované díly	54–58	0.92	0.92
	59–63	0.96	0.88
	64–68	0.64	0.80
	69–73	0.64	0.80
	74–78	0.64	0.80
	84–88	0.56	0.80
Celá smyčka	13–93	0.79	0.89
Komplex měřicího zařízení a prostředí	1–98	0.77	0.87

Pro tvorbu projektu měřicího zařízení dle metodiky „risk-based design“ použijeme v souladu s poznatky v práci odkaz postup k úpravě dle velikosti míry rizika předem definovaných oblastí. Riziko každé oblasti je následně ohodnoceno jako přijatelné (> 70 %), podmíněně přijatelné (25–70 %), anebo nepřijatelné (< 25 %).

Pro přijatelné riziko není třeba dělat další opatření, pro podmíněně přijatelné, je třeba provést technicky a finančně možné úpravy a pro nepřijatelné riziko je nutné provést zásadní technická opatření.

5. VÝSLEDKY

Jak již bylo zmíněno výše, při každé iteraci bylo zařízení hodnoceno nejméně pěti experty různých oborů. Výsledky hodnocení původního zařízení a současného návrhu jsou uvedeny v tabulce 2. V grafu na obrázku 3 je zobrazen vývoj hodnocení komplexního rizika experimentálního zařízení v čase.

V průběhu návrhu došlo v několika etapách k mnoha změnám oproti původnímu zařízení. Změny v 1. revizi byly zcela zásadní a obsahovaly:

1. Pozměněný způsob uložení hlavní konstrukce smyčky tak, aby toto uložení dovoľovalo pohyb konstrukce způsobený teplotním roztahováním.
2. Pozměněný návrh obou nádrží pro vkládání vzorků, horizontální i vertikální. Pozměněný návrh umožní použití odolnějších přírub a těsnění.
3. Nové čerpadlo.
4. Instalaci pokročilého monitorovacího systému pro monitorování experimentální smyčky.
5. Přípravu školení personálu a plán inspekci založených na monitorování rizik (risk-based inspections) dle [16].

Druhá revize se týkala přípravy nové bezpečnostní dokumentace a pozměněného provozního manuálu. Pro 3. revizi došlo k zásadnímu rozhodnutí, kterým je změna hlavního konstrukčního materiálu na nerezovou ocel 316L a s tím související přechod na jiný bezpečnější typ svarů.

Při 4. revizi došlo ke zhoršení výsledků celkového rizika, které bylo způsobeno některými drobnými úpravami vynucenými z technologického a konstrukčního pohledu a přehodnocením některých dříve podceněných rizik. Proto 5. revize obsahovala některé drobné a dílčí úpravy.

Další revize a úpravy budou dozajista následovat. Jednou ze zásadních úprav bude návrh upravených pracovních režimů na základě probíhající CFD analýzy (v grafu na obrázku 3 označeno jako N. revize). Samozřejmě bude také finální sestavení experimentální smyčky a její závěrečné hodnocení z konstrukčního hlediska (v grafu na obrázku 3 označeno jako Finální instalace).

Dále je také nutno zmínit, že pro další provoz smyčky bude následně použit přístup risk-based provozu a celé zařízení bude také pravidelně kontrolováno z hlediska změny rizika vůči stavu před prvním spuštěním.



Obr. 2. Graf vývoje komplexního rizika v čase.

6. DISKUZE A ZÁVĚR

Pro rekonstrukci experimentální solné smyčky MSL je zvolen přístup risk-based design založený na kontrolním seznamu. Na základě analýzy rizik vycházející podle kontrolního seznamu byly navrženy úpravy, které vedly ke snížení rizika a to nejen komplexního rizika, ale i většiny jednotlivých oblastí (graf na obrázku 3 a výsledky uvedené v tabulce 2). Mezi navržené úpravy spadají jak změny v návrhu, konstrukci, materiálech a pracovních postupech, tak změny organizační.

Výsledky analýzy a navržené změny by měly zajistit bezpečnou výstavbu, provoz a údržbu experimentální solné smyčky MSL. Provedené úpravy by měly zamezit opakování poruch z prvotního provozu. V neposlední řadě by řádně definované provozní režimy měly zajistit vysokou kvalitu měřených výsledků.

LITERATURA

- [1] CIHLÁŘ, M., D. PROCHÁZKOVÁ, P. ZÁCHA, J. PREHRADNÝ, V. DOSTÁL, M. MAREČEK a J. UHLÍŘ. Causes of Failure of Experimental Molten Salt Research Device. In: CASTANIER, B., M. CEPIN, D. BIGAUD a Ch. BERENQUER, ed. *Proceedings of 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL2021)*. ISBN 978-981-18-2016-8. Singapore: Research Publishing 2021, pp. 2638 - 2645. doi:10.3850/978-981-18-2016-8 287-cd

- [2] JANZ, G.J., ed. *Molten Salts Handbook*. ISBN 9780323144834. New York: Academic Press 1967.
- [3] TIAN, Y. a C.Y. ZHAO. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*. ISSN 03062619. 104 (2013), pp. 538-553. doi:10.1016/j.apenergy.2012.11.051
- [4] IAEA. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments: A supplement to the IAEA Advanced Reactor Information System (ARIS)*. Vienna: IAEA 2020.
- [5] KONDO, M., NAGASAKA, T., SAGARA, A. ET AL. Metallurgical study on corrosion of austenitic steels in molten salt LiF–BeF₂ (Flibe). *Journal of Nuclear Materials*. ISSN 00223115. (2009), 386-388, 685-688. doi:10.1016/j.jnucmat.2008.12.317
- [6] MURÁNSKY, O., YANG, C., ZHU, H., KARATCHEVTSEVA, I., SLÁMA, P. NOVÝ Z., EDWARDS. L. Molten salt corrosion of Ni-Mo-Cr candidate structural materials for Molten Salt Reactor (MSR) systems. *Corrosion Science*. ISSN 0010938X. 159 (2019). doi:10.1016/j.corsci.2019.07.011
- [7] IGNATIEV, V., SURENKOV, A. Alloys compatibility in molten salt fluorides: Kurchatov Institute related experience. *Journal of Nuclear Materials*. ISSN 0022-3115. 441 (2013), 1-3, 592-603. doi:10.1016/j.jnucmat.2013.05.007
- [8] GILL, D., W. KOLB a R. BRIGGS. An Evaluation of Pressure Measurement Technology and Operating Performance Using Sandia's Molten Salt Test Loop. *Energy Procedia*. ISSN 1876-6102.49 (2014), 800-809. doi:10.1016/j.egypro.2014.03.087
- [9] SOHAL, M. S., EBNER, M. A., SABHARWALL, P., SHARPE, P. *Engineering Database of Liquid Salt Thermophysical and Thermochemical Properties*. Idaho: Idaho National Laboratory 2013. DOI: 10.2172/980801.
- [10] STEFANIAK, A. B. Comment on Strupp Papers on Beryllium Metal Toxicity. *The Annals of Occupational Hygiene*. ISSN 1475-3162. 5 (2011), 5, 556-557. doi:10.1093/annhyg/mer030
- [11] STRUPP, C. Beryllium Metal I. Experimental Results on Acute Oral Toxicity, Local Skin and Eye Effects, and Genotoxicity. *The Annals of Occupational Hygiene*. ISSN 1475-3162. 55 (2011), 1, 30-42. doi:10.1093/annhyg/meq071
- [12] STRUPP, C. Beryllium Metal II. A Review of the Available Toxicity Data. *The Annals of Occupational Hygiene*. ISSN 1475-3162. 55 (2011) 1, 43-56. doi:10.1093/annhyg/meq073
- [13] ČR. ČSN 33 2000-1 ED. 2. *Low-voltage electrical installations: Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*. Praha: UNMZ 2009.
- [14] MAREČEK, M., CIHLÁŘ, M. *Závady na smyčce MSL*. Řež (Czech Republic): Centrum výzkumu Řež - Archiv 2020.
- [15] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., BERAN, V., ŠINDLEROVÁ, V. *Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu*. ISBN 978-80-01-06609. Praha: ČVUT 2019. <http://hdl.handle.net/10467/84466>
- [16] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. doi:10.14311/BK.9788001066751.

Poděkování: Popsaný výzkum byl podpořen z projektu No. LTAUSA18198 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky. Výzkum byl také umožněn díky Institucionální podpoře Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky.

PŘÍČINY RIZIK PŘI TRANSPORTU PITNÉ VODY

CAUSES OF RISKS AT DRINKING WATER TRANSPORT

Daniela Cvelihárová¹, Alena Pauliková², Miroslav Rusko³

¹ *Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovenská republika, daniela.cveliharova@tuke.sk*

² *Slovenská technická univerzita, Jána Bottu 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika, alena.paulikova@stuba.sk*

³ *Slovenská spoločnosť pre životné prostredie, Kocel'ova 15, 815 94 Bratislava, 917 01 Trnava, Slovenská republika, mirorusko@centrum.sk*

Abstrakt: Strategickým cieľom rozvoja verejných vodovodov je zabezpečenie bezrizikového zásobovania obyvateľov kvalitnou pitnou vodou bez negatívnych environmentálnych dopadov. Zmena kvality pitnej vody v transportných systémoch závisí od mnohých charakteristík, napríklad od fyzikálno-chemických vlastností dopravovanej vody, použitých chemikálií pri jej úprave, prevádzkových podmienok v distribučnej sieti (rýchlosť prúdenia, tvorba zón so stagnáciou vody v potrubí, akumulácia vody), geometrických a materiálových vlastností potrubných systémov, atď. Do popredia sa už roky dostáva inkrustačný charakter tohto prepravovaného média, ktorý je výrazný najmä usadzovaním častíc na vnútornej strane vodovodného potrubia a jeho koróziou vzniká náhodný (aperiodický) profil.

Kľúčové slová: Ukazovateľ; pitná voda; transportný systém; zásobovanie; environmentálne zdravie; riziko; technické dielo.

Abstract: The strategic goal of the development of public water supply systems is to ensure a risk-free supply of the population with quality drinking water without negative environmental impacts. The change in the quality of drinking water in transport systems depends on many characteristics, such as physicochemical properties of transported water, chemicals used in its treatment, operating conditions in the distribution network (flow rate, zone formation with water stagnation in pipelines, water accumulation), geometric and material properties of piping systems, etc. For years, the incrustation character of this transported medium has come to the fore, which is significant especially by the settling of particles on the inner side of the water pipeline and its corrosion creates a random (aperiodic) profile.

Key words: Indicator; drinking water; transport system; supply; environmental health; risks; technical facility.

1. ÚVOD

Vodovodné potrubia sa časom postupne zanášajú predovšetkým vodným kameňom, čo vedie k menšiemu pohybu vody v potrubí a zníženiu tlaku vody, podobne ako je to v ľudskom organizme, keď sa vnútorné steny ciev zanášajú cholesterolom. Toto zanášanie a následne znižovanie priemeru vedie k potenciálnym rizikám transportného systému ako technického diela pre zabezpečenie funkčnosti kritickej infraštruktúry. Táto infraštruktúra je v tomto príspevku chápaná ako systém zásobovania pitnou vodou obyvateľstva Slovenska [1].

V súčasnosti približne 65 % tvorí podiel potreby vody v domácnosti, z celkovej dodávky pitnej vody. Špecifická potreba vody je stanovená v jednotkách osoba-deň, ktorá je definovaná

Vyhláškou MŽP SR č. 684/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na návrh, projektovú dokumentáciu a výstavbu verejných vodovodov a verejných kanalizácií [2].

Rovnako aj produkty prichádzajúce do styku s pitnou vodou musia byť v súlade so Zákonom č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravotníctva [3] a Vyhláškou MZ SR č. 550/2007 o podrobnostiach a požiadavkách na výrobky určené na styk s pitnou vodou. [4] Systémy zásobovania vodu sú vodárenské štruktúry a pozostávajú zo zariadení potrebných na odber vody, jej úpravu a rozvod vody. [5] Zásobovanie pitnou vodou podľa Zákona SNR č. 369/1990 Zb. o obecnom zriadení v znení neskorších predpisov sú povinné zabezpečiť mestá a obce [6].

Chemicky čistá voda je priehľadná, bez chuti a zápachu. Farba, zákal, priehľadnosť, odor alebo chuť poukazujú na chemické zloženie, indikujú prípadné znečistenie a ovplyvňujú využiteľnosť vodného zdroja [7]. Preto akékoľvek typy farebného vzhľadu vo vode naznačujú znečistenie vody [8]. Pri kontakte vody s materiálom potrubia (najmä kovovým) dochádza k tvorbe inkrustov (vyzrážavanie niektorých látok z vody a ich postupné usadzovanie na vnútornom povrchu potrubia, vrátane produktov korózie). Intenzita tohto procesu závisí od kvality vody, jej agresívnych vlastností a od použitého materiálu potrubia [9]. Inkrusty sa vyskytujú vo vodovodnom potrubí ako mazľavý nános, alebo ako pevné alebo veľmi tvrdé usadeniny šupinovitej povahy [10]; Obr.1.



Obr. 1. Vodný kameň usadený na vnútornej strane potrubia [11].

Príčiny tvorby inkrustácií spočívajú vo vlastnostiach potrubných materiálov, v chemizme prepravovaného média a v prostredí, v ktorom je potrubie uložené [12].

Materiál vodovodného radu potrubia sa volí tak, aby jeho kvalita zodpovedala požadovanej životnosti a aby celá stavba vodovodu bola čo najekonomickejšia pri rešpektovaní konkrétnych hydraulických, geologických, klimatických, dopravných a ostatných vonkajších podmienok [13].

2. MNOŽINA VYBRANÝCH UKAZOVATEĽOV

Medzi fyzikálne faktory vody, ktoré ovplyvňujú tvorbu inkrustov v transportnom systéme môžeme zaradiť teplotu, zákal, absorpciu, pH a vodivosť (konduktivitu).) Na tvorbu vodného kameňa vplýva viacero faktorov, jedným z nich je aj teplota vody.

Teplota vody ovplyvňuje tvorbu vodného kameňa, čo je spôsobené zmenou rovnováhy medzi iónmi kyseliny uhličitej a hydroxidu vápenatého. Pri zmene teploty vody a vylúčením týchto látok z vody [14]. V pitných vodách by sa teplota vody mala pohybovať medzi $8^{\circ}\div 12^{\circ}\text{C}$. Optimálna teplota studenej pitnej vody je $10^{\circ}\div 15^{\circ}\text{C}$. Podľa vyhlášky MDVRR SR č. 364/2012 Z. z. a požiadavky čl. 3.6 STN EN 806-2 nesmie byť po otvorení výtokovej armatúry studenej pitnej vody po 30 s jej teplota vyššia ako 25°C [15,16].

Teplotu vody v súlade s tvorbou inkrustov je dôležité sledovať, keďže so zvýšenou teplotou sa možnosť tvorby inkrustov zvyšuje tým, že sa zvyšuje rozpustnosť CaCO_3 . Je odporúčané, aby teplota v potrubíach nevystúpila nad 55°C (v niektorých zdrojoch sa uvádza hodnota 60°C). Rast tvrdých nánosov značne podporuje zvyšovanie teploty vody. Ohrievaním vody sa výrazne zvyšuje hrúbka vodného kameňa [14].

Pitná voda by mala byť bez chuti. Chuťové vlastnosti vody sú podmienené prítomnosťou a kombináciou látok, ktoré majú špecifickú chuť. Primerané množstvo solí a prítomnosť voľného oxidu uhličitého dodáva vode osviežujúcu príchuť. Vyšší obsah niektorých solí pôsobí nepriaznivo [17].

Pri nízkom pH sa rýchlosť korózie zvyšuje; pri vysokom pH sa prejavujú ochranné účinky na potrubia, v prípade mosadzných materiálov však môže dôjsť k vytesňovaniu zinku.

Kyslá voda môže teda spôsobovať koróziu potrubia či čerpadla. Tento jav sa prejavuje prítomnosťou železa, zinku, alebo dokonca medi, či olova, pokiaľ je z tohoto kovu vyrobené potrubie. Všeobecne sa odporúča, pokiaľ je voda kyslá, nepoužívať medené potrubie na jej rozvod zo zdravotných dôvodov [9,18,19]. Stupeň pH je taktiež významne ovplyvňovaný prítomnosťou horčička vo vode. Vysoké pH vody pôsobí na tvorbu vodného kameňa. Ako teplota stúpa, molekulárne vibrácie sa zvyšujú, čo vedie k schopnosti vody ionizovať a vytvárať viac iónov vodíka. Výsledkom bude pokles pH. Optimálna teplota pitnej vody, teda aj odporúčaná hodnota je od 8°C do 12°C tak, ako ju stanovuje vyhláška MZ SR č. 247/2017 Z. z.” [20,21]

Čistá voda je číra a neabsorbuje svetlo. Preto ak sa vo vode objaví zákal, indikuje znečistenie vody. Vo všeobecnosti sa zákal zvyšuje so zvýšením množstva znečisťujúcich materiálov vo vode. Ukazovatele zákalu vody ako aj absorbanca môžu nepriamo ovplyvniť senzorickú kvalitu pitnej vody. Zákal vody sa definuje ako zníženie priehľadnosti vody nerozpustenými a kolidnými látkami anorganického a organického pôvodu. Zákal upravených vôd spôsobujú niekedy zvyšky vločiek po koagulácii. Vo vodovodnej vode biely a nestály zákal spôsobujú rozptýlené bublinky vzduchu [22]. Pre vodu upravovanú z povrchových zdrojov platí pre zákal medzná hodnota 1,0 FNU pri výstupe z úpravne vody [23].

Absorbancia je ukazovateľ, ktorý môže nepriamo ovplyvniť senzorickú kvalitu pitnej vody. Prekročenie indikačnej hodnoty môže byť dôvodom na zisťovanie chloroformu, brómdichlórmetánu alebo na korigovanie hodnoty CHSK_{Mn} [23]. Stanovenie konduktivity je bežnou súčasťou fyzikálno-chemického rozboru vody. Umožňuje bezprostredný odhad koncentrácie iónovo rozpustených látok a celkovej mineralizácie vo vodách (pitných, podzemných, povrchových i odpadových). Jednotkou elektrickej konduktivity je Siemens na meter ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$), v chémii vody sa častejšie používa jednotka $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ [24].

Absorbancia vody je ukazovateľ, ktorý môže nepriamo ovplyvniť senzorickú kvalitu pitnej vody [25]. Látky rozpustené vo vode môžu viesť k významnej zmene týchto vlastností, ktorá je opísaná spektrálnou absorpciou. Chemicky čistá voda má pri 25°C teoretické pH 7 [26]. Absorbancia pri 254 nm je dôležitá pri skupinovom stanovení niektorých organických aromatických zlúčenín, ktoré vykazujú výraznú absorpciu v ultrafialovej oblasti [27].

Vodivosť prírodných vôd, ako je pitná voda, alebo povrchová voda sa pohybuje v rozmedzí od 100 - 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ak má voda z vodovodu vysokú hodnotu vodivosti, poukazuje to na vysoký

obsah solí, čo môže viesť k rušivým javom. Soli nachádzajúce sa vo vode sú hydrogénuhličitan vápenatý $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, hydrogénuhličitan horečnatý $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, uhličitan vápenatý CaCO_3 a uhličitan horečnatý MgCO_3 [28].

Vodivosť roztoku je kriticky závislá na teplote. Hodnota sa prepočíta na zodpovedajúcu hodnotu vodivosti, ktorá by bola meraná pri referenčnej teplote (25°C). Optimálne by mala pitná voda obsahovať menej rozpustených látok, asi $25\div 50$ mS/m. Vody s vyššou vodivosťou ako 125 mS/m (mineralizáciou viac ako 1000mg/l) sa považujú za minerálne a často spôsobujú technické problémy, napr. znižujú životnosť rozvodov vody a ohrievačov teplej vody [29].

Pod **tvrdosťou vody** rozumieme súčet obsahu vápnika a horčíka vo vode [12]. Tvrdosťou vody sa vyjadruje obsah vo vode rozpustených nerastov, z ktorých prevažuje vápnik a horčík. Usadzovanie vodného kameňa súvisí s chemickým zložením vody a chemickými reakciami, ktoré v nej prebiehajú. Aby voda nemala ani zvýšené korozívne a inkrustujúce vlastnosti, musí byť v stave vápenato-uhličitanovej rovnováhy [30]. Voda udržuje svoju vápenato-uhličitanovú rovnováhu buď vylučovaním málo rozpustného uhličitanu vápenatého CaCO_3 alebo naopak jeho rozpúšťaním za vzniku vo vode rozpustného $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ [31].

Pri zohrievaní a vare sa najmä vápnik a čiastočne aj horčík vylučuje vo forme nerozpustných uhličitanov (najmä CaCO_3), prípadne sa usadzujú aj sírany a kremičitany [32]. K zmene uhličitanovej rovnováhy dochádza najmä v prípade teplej vody a to vytesňovaním rovnovážneho oxidu uhličitého [30]. Celková tvrdosť vody teda zodpovedá celému obsahu vápnika a horčíka vo vode [32], tabuľka 1.

Tabuľka 1. Tabuľka tvrdosti vody v SR [33].

mmol/l	°dH	voda
0÷0,70	0÷3,92	veľmi mäkká
0,71÷1,42	3,92÷7,95	mäkká
1,43÷2,14	7,96÷11,99	stredne tvrdá
2,15÷3,20	12,00÷17,92	tvrdá
3,21÷5,40	17,93÷30,24	veľmi tvrdá

Medzi niektoré chemické faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu vody patrí obsah chemických prvkov vo vode ako aj materiál, v ktorom sa médium transportuje. Z hygienického hľadiska najmä zvýšený výskyt železa negatívne ovplyvňuje organoleptické (senzorické) vlastnosti vody (farba, chuť, zákal až hrdzavý sediment).

V malých koncentráciách je výskyt železa bežnou súčasťou vôd. Vyskytuje sa v oxidačnom stupni II a III. Medznú hodnotu železa pre pitnú vodu 0,2 mg/l určuje vyhláška MZ SR č. 247/2017 Z. z. [21]. Podzemné vody obsahujú rozpustené železo a v nižších koncentráciách aj mangán. Obidva prvky vytvárajú nepríjemné vlastnosti vody. Veľké množstvo železa dáva vode trpkú, atramentovú chuť a hnedý zákal. Vlákňité železité baktérie prerastajú vodovodné potrubie a zmenšujú prietokovosť [34]. V pitnej vode je medzná hodnota obsahu železa 0,2 mg/L [31]. Vodovodné potrubia sú často z pozinkovaného železa. Skorodované železné potrubie môže viesť k zvýšeniu hladiny železa v pitnej vode [35].

Vplyvom vnútornej korózie predovšetkým nechráneného oceleového a liatinového potrubia môže dôjsť k druhotnému "zaželezovaniu" vody koróznymi produktmi, čo sa prejaví vo zvýšení koncentrácie železa a zvýšení hodnôt farby a zákalu [36].

Hnedé sfarbenie vody zväčša spôsobujú formy oxidu železa, ktoré vznikajú koróziou vnútorných stien oceleového či liatinového potrubia alebo častokrát v domových rozvodoch

pozinkovane potrubie. Takéto častice sa prirodzene usadzujú na stenách potrubia, tvoria inkrusty a za bežných okolností sa do pitnej vody neuvolňujú [37].

Zvýšený obsah mangánu sa môže prejaviť aj v premnožení mangánových baktérií, ktoré môže viesť k upchávaniu vodovodného potrubia [38]. Technológia úpravy v úpravni vody Bukovec je dvojestupňová, prispôbená na odstránenie antimónu, arzenu, zákalotvorných látok, makromolekulových organických látok, mikrobiologického a biologického znečistenia a mangánu [39]. Mangán podstatne viac ovplyvňuje organoleptické vlastnosti vody než železo. Spôsobuje jej hnedočervené sfarbenie a ovplyvňuje jej chuť a pach. Jeho povolená koncentrácia v pitnej vode je oveľa nižšia než pre železo, a to aj z dôvodu, že nadmerný rozvoj mangánových baktérií spôsobuje zarastanie vodovodného potrubia ich biomasou [1,37], Medzná hodnota mangánu pre pitnú vodu je 50 µg/l, ktorú určuje Vyhláška č. 247/2017 Z. z. [21], ktorou sa ustanovujú podrobnosti o kvalite pitnej vody, kontrole kvality pitnej vody, programe monitorovania a manažérstve rizík pri zásobovaní pitnou vodou [31].

Vlastnosti mangánu sú podobné vlastnostiam železa, mangán sa usadzuje v podobe kalu alebo vločiek a robí vodu nepoživatelnou [34].

Životnosť transportných potrubí je daná materiálom použitým na ich výrobu [17]. Všetky materiály použité na potrubné súčasti vodovodov vrátane výsteliiek, vonkajších izolácií a tesnení, musia byť vhodné na použitie na pitné účely. Nesmú spôsobiť žiadne neprípustné zhoršenie kvality vody, s ktorou prichádzajú do styku [5]. Materiály vodovodného potrubia v kolektoroch musia spĺňať požiadavky STN EN 805 Vodárenstvo – Požiadavky na systémy a súčasti vodovodov mimo budov, ako aj požiadavky dané týmto štandardom [40,41]. Pri kontakte vody s materiálom potrubia (najmä kovovým) dochádza k tvorbe inkrustov (vyzrážavanie niektorých látok z vody a ich postupné usadzovanie na vnútornom povrchu potrubia, vrátane produktov korózie) [36].

Oceľové rúry sú pevné a odolné voči vysokému vonkajšiemu a vnútornému namáhaniu. Sú však citlivé na vonkajšiu i vnútornú koróziu, preto je potrebné ich chrániť. V minulosti sa chránili potrubia asfaltovým náterom, dnes sa používa cementová výstelka [5].

Pre účinnú ochranu proti korózii, napríklad pôsobeniu bludných prúdov, treba kovové potrubia ochrániť povlakmi, spĺňajúcimi základné požiadavky na protikoróziu ochranu. Oceľové potrubia, zabezpečené protikoróznou ochranou sa navrhujú len veľmi výnimočne (v zložitých prípadoch). Mäkká oceľ podlieha celkovej korózii, prvotné napadnutie je vyvolané vysokou koncentráciou rozpusteného kyslíka [36].

Hladká stena plastových rozvodov často spôsobuje že sa vodný kameň kryštalizuje na stenách potrubia a takéto "šupinky" sa postupom času zachytávajú na zúžených miestach ako sú zvary potrubia, redukcie či prechody z jedného materiálu na druhý. Postupom času tieto nánosy vytvoria zátku, ktorá zachytáva nielen mechanické nečistoty a zároveň je častým zdrojom baktérií a biofilmov v potrubí [42].

PE100 potrubie je možné použiť v rozmedzí teplôt -40°C až +60°C s ohľadom na zmenu prevádzkového tlaku [43]. Výhody PE potrubia sú odolnosť voči korózii a nulová inkrustácia. [44] Polyetylénové potrubie sa štandardne používa pre vonkajšie tlakové rozvody pitnej vody [43]. Na montáž vnútorných vodovodov sa používajú potrubia zo všetkých typov PE o vnútornom priemere 16÷63 mm [45]. Potrubie z vysoko hustého lineárneho polyetylénu (HDPE) sa ukladá do zeme a je určené pre vonkajšie tlakové rozvody pitnej vody a iných médií, voči ktorým je daný typ HDPE stály. Predpokladaná životnosť PE potrubí pri prevádzkovej teplote 20°C je 50÷100 rokov. PE potrubia sú použiteľné v rozmedzí teplôt -40°C až +60°C [46].

PVC je po chemickej stránke polymér vinylchloridu (vinylchlorid je zlúčenina odvodená od etylénu odobratím atómu vodíku a nahradením atómom chlóru), t. j. organická zlúčenina

zložená z chlóru, uhlíku a vodíka. Používajú sa dve formy polyvinylchloridu: nemäkčený a mäkkčený.

Ďalší materiál na privádzacie a tranzitné vodovodné potrubia je tvárna liatina. Liatinové rozvody sú určené na väčšie svetlosti potrubia a väčšinou len na studenú vodu. PE sa využíva na rozvod studenej vody. PVC sa zriedkavo používa na vnútorný vodovod. Pre uloženie do zeme materiál PVC nie je používaný. Liatina je preferovaná v podmienkach vysokého dopravného zaťaženia alebo extrémnych prevádzkových podmienok (tlakové pomery). Používané sú rúry s vnútornou cementovou alebo polyuretánovou výstelkou [47]. Liatina alebo tvárna liatina môže podliehať povrchovej erózii agresívnymi vodami [36].

Medzi geometrické faktory ovplyvňujúce v transportnom systéme kvalitu pitnej vody so zreteľom na tvorbu inkrustov v potrubí - transportnom systéme môžeme zaradiť predovšetkým uhol sklonu potrubia, drsnosť potrubia (všetky typy inkrustácií vytvárajú pre dopravované médium/vodu vytvárajú drsnú dotykovú plochu), tvrdosť materiálu potrubia, priemer potrubia, jeho dĺžku od vodného zdroja do vodojemu, z vodojemu do rozvodnej siete, z rozvodnej siete do odberného miesta a hĺbku uloženia potrubia.

Najstarším zdrojom pre Košice sú Čermel'ské pramene, ktoré sú v prevádzke už od roku 1911. Je to sústava viacerých malých zdrojov, gravitačným potrubím je zásobovaná časť mesta Košice, vrátane Komenského ulice a okolia, až po sochu Maratónca Mieru. Voda z Čermel'a sa zároveň dostáva výtlačným potrubím aj na kopec Bankov.[48] Zo zdroja do vodojemu si potrubie vyžaduje neustály servis, privádza vodu napr. zo Stariny až 130 km [49]; obr. 2.

Gravitačné systémy zásobovania vodou dopravujú vodu do spotrebiska samospádom, gravitačnou silou. Prvky systému vytvárajúce tlak sú nad spotrebiskom a voda môže prúdiť v dvoch režimoch:

- v tlakovom gravitačnom režime,
- beztlakovom gravitačnom režime, prúdenie s voľnou hladinou.



Obr. 2. Vodárenská nádrž Starina [50].

Tlakový systém znamená, že voda zaplní celý prierez potrubia a vytvára tlak v potrubí. Tlakové prúdenie sa navrhuje v každom spotrebisku, pretože len takéto prúdenie zabezpečí potrebný tlak na prípojkách k spotrebiteľovi.

Výtlačné systémy zásobovania vodou sa používajú v prípadoch, keď výšková poloha spotrebiska neumožňuje jeho gravitačné zásobovanie. Voda je najčastejšie čerpaná zo zdroja do vodojemu, alebo tiež z vodojemu automatickou tlakovou stanicou do spotrebiska, prípadne je potrebné čerpať vodu priamo v spotrebisku, teda zvýšiť tlak pre časť spotrebiska a pod. [5]. Umiestnenie vrcholu potrubia sa navrhuje pod minimálnou prevádzkovou hladinou [36].

Čerpace stanice je možné použiť na rozdelenie tlakových pásiem spolu s vodojemami v prípadoch výtlačných vodovodných sietí, kde sa voda čerpá do rôzne výškovo položených vodojemov [36]. Čerpace stanice slúžia na úpravu tlakových pomerov na území, kde sa nedá zabezpečiť distribúciu vody pomocou gravitačného systému [51].

Najmenší dovolený sklon je 3‰ a výnimočne 1‰ [13]. Vodovodné potrubie do DN 200 sa navrhuje klesať v sklone minimálne 3‰, u potrubia DN 200 až DN 500 v sklone minimálne 1‰ a u potrubia DN 600 a viac v sklone minimálne 0,5‰ [5,45]. Aby voda prúdila, musí byť najvyšší bod trasy potrubia pod jeho tlakovou čiarou [52].

Pri rovinatom teréne je potrebné viesť potrubie v minimálnom sklone a aby nedosiahlo veľkú hĺbku výkopu, smer sklonu potrubia sa v určitom bode musí zmeniť. Takýto výškový lomový bod sa stane lokálne najvyšším alebo najnižším bodom potrubia, kde vzniká potreba odkalovať potrubie [5]. Pre rady privádzacie a hlavné sa prednostne navrhuje tvárna liatina, v lokalitách so zemným prostredím vyvolávajúcim koróziu potrubia, so špeciálnou vonkajšou ochrannou [13].

Drsnosť potrubia, ktorá jednoznačne zvyhodňuje materiály plast a meď oproti oceľovým potrubiam. Proces starnutia potrubia vedie k vzniku sekundárneho profilu drsnosti, ktorý vykazuje horšie kvalitatívne charakteristiky ako primárny (vytvorený pri výrobe potrubia) [53]. Funkcia vzdušníka má zaručovať automatické odvedenie vzduchu pri plnení potrubia, trvalé odvdzušňovanie pri prevádzkovaní radu a prívod vzduchu pri eliminácii vzniku podtlaku pri vyprázdnení radu [13].

Pri prepojení distribučného potrubia na spotrebné potrubie na výstupe z vodojemu musí byť niveleta distribučného potrubia navrhnutá tak, aby hydrodynamická čiara pri započítaní všetkých strát, vrátane strát v meradlách prietoku, bola najmenej 0,5 metra nad horným lícom potrubia. Súčasne musí platiť, že distribučné potrubie bude klesať väčším sklonom, než je sklon čiary hydrodynamického tlaku.

Účel hydrantu musí byť v projektovej dokumentácii presne stanovený. Hydranty sa navrhujú najmä z prevádzkových dôvodov (odvdzušnenie, odkalenie radu, odber vzoriek, preplachy, meranie tlaku na sieti), alebo z dôvodu zásobovania požiarou vodou. [6] Z dôvodu ochrany pred poškodením sa prednostne navrhujú hydranty podzemnej konštrukcie. Umiestnenie hydrantov je dané ich funkciou (najvyššie či najnižšie miesto potrubia alebo koniec nezaokrúhľovanej vetvy). Vzájomná vzdialenosť jednotlivých hydrantov alebo vzdialenosť hydrantov od objektov je daná platnými normami [54].

Pri návrhu kalníkov je potrebné dbať na dostatočnú dimenziu tak, aby odkalenie bolo účinné [13]. Kalníky sú objekty na vodovodnej sieti, ktoré sa osadzujú v najnižších miestach vodovodného radu a slúžia k odvedeniu prípadných nečistôt, kalov a iných usadenín, ktoré sa usadzujú prevažne na stenách potrubia, prípadne na jeho dne [51]. Na výtlačnom potrubí musí byť osadený kalník na vypustenie potrubia [13].

Vzdušníky sa osadzujú v najvyšších miestach vodovodu a slúžia k odvedeniu vzduchu z potrubia [51]. Na výtlačnom potrubí musí byť osadená zavzdušňovacia a odvdzušňovacia armatúra [55].

Prevádzkové a inkruštné faktory sú rovnako dôležité ako spomenuté tri podmnožiny: fyzikálne, chemické a geometrické. Rýchlosť prúdenia vody v potrubí ovplyvňuje usadzovanie mechanických častíc [54]. Zdroje vody sú hlavnou časťou celého systému, pretože sú zdrojom surovej vody, ktorá je potom upravovaná a dopravovaná až ku konečnému spotrebiteľovi [51]. Formy oxidu železa, ktoré vznikajú koróziou vnútorných stien oceľového či liatinového potrubia alebo často krát v domových rozvodoch pozinkovane potrubia, takéto častice sa prirodzene usadzujú na stenách potrubia, tvoria inkrušty a za bežných okolností sa do pitnej vody

neuvoľňujú. K ich uvoľneniu môže dôjsť v dôsledku tlakových rázov napríklad pri odstraňovaní porúch na vodovodnom potrubí pri údržbe potrubí a rozvodov, ale aj pri nerovnomernom odbere vody [20]. Mesto Košice je zásobované z viacerých podzemných aj povrchových zdrojov, preto aj chemické zloženie pitnej vody nie je vo všetkých častiach mesta rovnaké. A teda aj tvrdosť vody je rôzna. Závisí od toho, z akých zdrojov je zásobovaná a v akom pomere sa namieša. Zmiešavací pomer nie je fixný, závisí od prevádzkových požiadaviek, a preto sa môže stať, že tvrdosť vody sa v odbernom mieste v priebehu roka zmení. Tvrdosť vody zahŕňa predovšetkým obsah vápnika a horčíka vo vode, zaraďuje sa do niekoľkých stupňov [56].

Potrebná úprava podzemnej vody na to, aby spĺňala predpísané hodnoty pitnej vody, je jej zdravotné zabezpečenie dezinfekciou, vykonávaná je chlórovaním [27]. Dezinfekcia tvorí posledný stupeň úpravy vody a v žiadnom prípade nemôže nahrádzať technologické stupne úpravnej vody [34]. Úpravne vody sú objekty, kde prebieha samotné čistenie surovej vody, t.j. mechanické a chemické a jej úprava na pitnú vodu [51]. Zvláštna úprava vody - odkysľovanie vody - hlavnou zásadou je dosiahnuť uhličitanovú rovnováhu. Voda s vysokým obsahom CO₂ pôsobí korozívne na stavebné materiály a môže byť príčinou rozpúšťania niektorých látok z materiálu vodovodného potrubia (Pb, Cu, Zn) [34].

Rozvodné potrubia by nemali byť predimenzované a mali by byť vždy stanovené výpočtom, pričom by nemali obsahovať úseky so stagnujúcou vodou [32]. Vo vodovodnom potrubí je optimálna rýchlosť prúdenia vody približne 0,8÷1,0 m/s maximálne 1,5 m/s [5]. Pri ustálenom prúdení nemá kvapalina v celom priereze potrubia rovnakú rýchlosť. Na stenách sa kvapalina prakticky nepohybuje, naopak v strede prierezu dosahuje najväčšiu rýchlosť [57]. Vo vodách s tendenciou vyzraďovania uhličitanu vápenatého (CaCO₃) alebo s obsahom inhibítorov vyššia rýchlosť prúdenia vody môže priaznivo ovplyvniť tvorbu ochrannej vrstvy tým, že rýchlejšie dopravuje ochranné látky k povrchu potrubia. Pri veľmi malých rýchlostiach prúdenia vody alebo v podmienkach jej stagnácie sa vytvárajú podmienky pre biologický rast a zvyšuje sa pravdepodobnosť bodovej korózie [58].

Vnútorňý priemer potrubia s inkrustáciou je absolútne významnejší ako vonkajší priemer potrubia. Znamená to, že čím je vnútorňý priemer potrubia s inkrustáciou menší je tam viac nánosov vodného kameňa. Po 10 rokoch sa priemer potrubia zmenší min. o 20 až 60 %. Čím je vyššia tvrdosť, tým je vrstva nánosov vodného kameňa vyššia [17]. S rastúcou dobou prevádzky potrubnej siete dochádza k degradácii vnútornej steny potrubia. V závislosti od chemických vlastností vody sa na stene potrubia vytvára sekundárny profil drsnosti tvorený vrstvou usadených solí (inkrustov), alebo zoxidovaného kovu (koróziou) [57].

Tlak vody v systéme vplýva na tvorbu vodného kameňa [59]. Veľkosť tlakovej straty úzko súvisí s kvalitou povrchu vnútornej steny potrubia, ktorá sa s dobou prevádzky potrubia neustále zhoršuje vplyvom korozívnych účinkov prepravovanej vody a usádzaním inkrustov [4]. Minimálny tlak v rozvodnej sieti vzniká v čase maximálnych odberov [52]. Tlak môže mať neblahý vplyv na funkčnosť vodovodnej siete, najmä v prípade jej netesnosti, kedy dôsledkom narastajúceho tlaku rastú aj straty vody v sieti [51]. Na reguláciu tlaku sa používa regulačný ventil s cieľom dosiahnuť redukciu tlaku v distribučných sieťach [41].

Na prípojke v mieste pripojenia na verejný vodovod musia tlaky v potrubí spĺňať tieto podmienky:

- maximálny tlak 0,6 MPa (v odôvodnených prípadoch 0,7 MPa),
- minimálny tlak 0,25MPa (prípadne 0,15 lebo 0,1 MPa).

Podmienka maximálneho tlaku 0,6 MPa t. j. 60 m v rozvodnej sieti [5]. Všetky materiály použité na potrubné súčasti vodovodov vrátane výsteliek, vonkajších izolácií a tesnení, musia byť vhodné na použitie na pitné účely. Nesmú spôsobiť žiadne neprípustné zhoršenie kvality vody, s ktorou prichádzajú do styku [5].

Výpadky dodávky pitnej vody má na svedomí vo väčšine prípadov fyzický stav potrubného vedenia. Projektovaná životnosť použitých materiálov sa pohybuje v rozmedzí 40 až 60 rokov [51]. Pri potrubí, ktoré je dlhší čas v prevádzke dochádza k jeho starnutiu. Starnutie potrubia je spôsobené rozrušovaním povrchu stien unášanými časticami, usadzovaním suspendovaných a rozpustených látok a inkrustáciou potrubia vylučovaním najmä vápenných solí. Starnutie potrubia je spojené s nárastom drsnosti povrchu [57].

Sieť zabezpečujúca dodávky pitnej vody je jednou zo základných infraštruktúr, ktorá patrí ku kritickej infraštruktúre vo všetkých rozvinutých krajinách [61]. Porucha infraštruktúry pitnej vody je identifikovaná ako jedna z možných katastrof, ktoré môžu spôsobiť kritickú situáciu, a preto je pre ňu spracovávaný núdzový plán. Plán musí zahŕňať vysokokvalitnú a rýchlu reakciu na všetky potenciálne zlyhania infraštruktúry podporujúce život, ku ktorým nepochybne patrí infraštruktúra zabezpečujúca dodávku pitnej vody [62]. Pri infraštruktúrach s veľmi vysokou kriticnosťou je potrebná najmä rýchla reakcia na vzniknutú situáciu v dostatočnom rozsahu [63].

3. ZÁVER A DISKUSIA

Hlavným cieľom tohto príspevku bolo informovať o množine vybraných, ktoré majú vplyv na kvalitu vody v distribučných systémoch. Vodárenské spoločnosti dodávajú do verejných vodovodov kvalitnú pitnú vodu, ktorá je pravidelne kontrolovaná v laboratóriách pitných vôd v zmysle vyhlášky MZ SR č.247/2017 Z.z. v platnom znení, z hľadiska rádiologického v zmysle vyhlášky MZ SR č.100/2018 Z.z. v platnom znení a Vyhlášky MŽP SR č.636/2004 Z. z.. Rozsah, početnosť, kritériá kontroly kvality pitnej a surovej vody a počet odberných miest je daná príslušnými vykonávacími predpismi. Tie zároveň určujú limity ukazovateľov kvality pitnej vody, ktoré zabezpečujú že pitná voda pri dodržaní limitov ani pri dlhodobom užívaní nemá negatívny vplyv na ľudské zdravie [9,18].

Chemické faktory môžu mať vplyv na tvorbu inkrustácií v transportných systémoch na prenos média, v tomto prípade vody. Ovplyvňujú environmentálnu kvalitu a pri nich sa zvýrazňuje ich vplyv na životný cyklus použitých materiálov transportných vodovodných systémov. Ich optimalizáciou vieme životnosť potrubí predĺžiť alebo skrátiť, aby sme sa vyhli predčasnej poruche v systéme alebo dokonca k výmenu systému pre zásobovanie pitnou vodou.

Strategickým cieľom rozvoja verejných vodovodov v SR je zvýšiť počet zásobovaných obyvateľov z verejných vodovodov a najmä zaistiť dodávku zdravotne bezpečnej pitnej vody v súlade so smernicou 98/83/ES o vode určenej na ľudskú potrebu [1,60].

LITERATÚRA

- [1] CVELIHÁROVÁ, D., PAULIKOVÁ, A. Legislatívna podpora pre zabezpečenie požadovanej kvality vody v distribučných systémoch. In: *Globálne existenciálne riziká 2019*. ISBN 978-80-89753-35-2. Žilina: Strix, pp. 114-124.
- [2] SR. *Vyhláška MŽP SR č. 684/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na návrh, projektovú dokumentáciu a výstavbu verejných vodovodov a verejných kanalizácií.*
- [3] SR. *Zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravotníctva.*
- [4] SR. *Vyhláška MZ SR č. 550/2007 o podrobnostiach a požiadavkách na výrobky určené na styk s pitnou vodou.*
- [5] https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/dokumenty/skripta/Vodohospodarske_stavby_Bozikova.pdf
- [6] SR. *Zákon SNR č. 369/1990 Zb. O obecnom zriadení v znení neskorších predpisov.*
- [7] SIROTIK, M., BLINOVÁ, L., BARTOŠOVÁ, A. Stanovenie organoleptických vlastností vôd z hľadiska správnosti a bezpečnosti. In: *Manažérstvo životného prostredia 2017*. ISBN 978-80-89753-15-4. Žilina: Strix et SSŽP 2017, pp. 26-37.

- [8] <https://www.onlinebiologynotes.com/physical-parameters-of-water-quality-physical-characteristic-of-water/> GaurabKarki. Physicalparameters of waterquality /Physicalcharacteristic of water.
- [9] ILAVSKÝ, J., BARLOKOVÁ, D. *Galvanická úprava vody*. <https://www.smv.cz/res/archive/015/001798.pdf?seek=1429083261>
- [10] <https://sclib.svkk.sk/sck01/Record/000095775#usercomments>
- [11] <https://silnemagnety.cz/jak-se-zbavit-vodniho-kamene>
- [12] <http://www.bvsas.sk/sk/o-vode/voda-ako-napoj/vybrane-ukazovatele-kvality-pitnej-vody-co-presnezname-naju.html>
- [13] http://www.stvs.sk/admin/files/file_39_1480930123.pdf
- [14] https://sk.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%BD_kame%C5%88
- [15] SR. *Vyhlaska 364/2012 Z. z. - Vyhláska o energetickej hospodárnosti budov*.
- [16] SR. *STN EN 806-2*
- [17] http://www.superbarter.sk/media/docs/request/12670/12670_c0867d250f42dd552013.pdf
- [18] <https://vodnefiltr.sk/index.php/filtre-na-vodu-klínka/5-rozbor-pitnej-vody>
- [19] JESENÁK, K. Aké sú minimálne a maximálne hodnoty pH? *Quark – Magazín o vede a technike*, 2007, https://fns.uniba.sk/jesenak_quark/
- [20] http://www.vodarne.eu/data/uploads/periodika/vodarenske-pohlady/vp_c28-web.pdf
- [21] SR. *Vyhlaska MZ SR č. 247/2017 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o kvalite pitnej vody, kontrole kvality pitnej vody, programe monitorovania a manažmente rizík pri zásobovaní pitnou vodou*.
- [22] <https://www.alsglobal.sk/zivotne-prostredie/rozbor-y-vod/minimalny-rozbor-pitnej-vody>
- [23] <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2006/354/20160101.html>
- [24] <https://www.vo-da.cz/rozbor-vody-podrobne/konduktivita/>
- [25] <https://www.enviroportal.sk/agendy/obcan/kvalita-pitnej-vody>
- [26] <https://sk.wikipedia.org/wiki/Kyslos%C5%A5>
- [27] http://www.vodarne.eu/data/uploads/periodika/vodarenske-pohlady/vp_c27-web.pdf
- [28] CVELIHÁROVÁ, D., PAULIKOVÁ, A. Charakteristika anorganických látok a vodného kameňa. In: *Motivation - Education - Trust - Environment - Safety 2020*. ISBN 978-80-973460-7-2. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre životné prostredie 2020, pp. 141-151.
- [29] <https://aquanova.sk/vodivost-pitnej-vody/>
- [30] <https://www.asb.sk/biznis/sprava-budov/pozinkovane-potrúbia-vodovodov-vbudovach>
- [31] POLÁČEK, Š., BULLA, J., FRANČÁKOVÁ, H. *Voda, úprava a použitie vo výžive ľudí*. ISBN: 978-80-552-0272-3. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre 2010.
- [32] <http://www.kmti.szm.com/ch-p8.pdf>
- [33] <https://www.cistavoda.sk/blog/mapa-tvrđosti-vody-na-slovensku/>
- [34] MARTOŇ, J. ČERMÁK, O. HÉTHARŠI J. *Vodárenstvo II. Úprava pitných a úžitkových vód*. ISBN: 80-227-0931-X. Bratislava: STU, 168 p.
- [35] <https://www.aquatrend.sk/zelezo-v-pitnej-vode/> Železo v pitnej vode – Aquatrend
- [36] <https://www.smv.cz/res/archive/015/001798.pdf?seek=1429083261>
- [37] <https://avssr.sk/wp-content/uploads/2019/07/vp-02-2019-web.pdf>
- [38] <https://www.garant.sk/odmanganovanie-pitnej-vody>
- [39] <http://www.vodarne.eu/index.php?id=aktuality-tlaove-spravy&post=tlaova-sprava-8-aprila-2019-1>
- [40] UNMAS. *STN EN 805 Vodárenstvo – Požiadavky na systémy a súčasti vodovodov mimo budov*. Bratislava: UNMAS 2001.
- [41] http://www.bvsas.sk/files/zakaznicka-zona/tlaciva-na-stiahnutie/formulare-stiahnutie-os-tatne/svs_web.pdf
- [42] <https://www.watertechnology.sk/sluzby/zvysenie-prietoku-cistenie-hrdze-vodneho-kamena.html>
- [43] <https://gawaplast.sk/portfolio/potrúbie/>
- [44] <http://www.campri.sk/sk/pe-potrúbia>
- [45] <http://www.pipeco.sk/index.php/sk/vodovody-sk/technicky-manual-sk/67-instalacia-hdpe-potrúbi>
- [46] <http://www.pipeco.sk/index.php/sk/vodovody/29-vodovody/hdpe-potrúbia/61-vodovodnlakovotrúbia-pe-100>
- [47] https://www.tvkas.sk/doc/for_download/TS-2007.pdf
- [48] <https://www.kosiceonline.sk/pitna-voda-musi-splnat-prisne-kvalitativne-normy>
- [49] <https://vycistime-vychod.sk/rekonstrukcia-a-montaz-kanalizacii/>
- [50] <https://www.bystricoviny.sk/spravy/den-otvorených-dveri-vodných-stavbách-svp-svetovému-dnu-vody/>
- [51] TEICHMANN, M, KUDA, F. *Hodnocení a obnova vodárenských sítí*. ISBN 9788088260264. Průhonice: Professional Publishing 2019, 136 p..
- [52] http://www.urso.gov.sk/sites/default/files/ORV_AnalyzaTlakovychPomerov.pdf
- [53] <https://voda.tzb-info.cz/teorie-voda-kanalizace/2130-vplyv-zameny-materialu-potrúbi-na-hydrauliku>

- [54] https://www.raven.sk/Files/Pozink_potrubia.pdf
- [55] http://www.stvs.sk/admin/files/file_39_1471495773.pdf
- [56] <https://kosicednes.sk/styl-ine/odkial-aku-vodu-mame-kosiciach/>
- [57] <https://core.ac.uk/download/pdf/30293368.pdf>
- [58] http://www.vodarne.eu/data/uploads/periodika/vodarenske-pohlady/vp_c1-web.pdf
- [59] <https://www.asb.sk/biznis/sprava-budov/prevenicia-tvorby-vodneho-kamena>
- [60] http://www.vuvh.sk/download/RSV/PRVV_SR_2015/PlanRozvojaVV.pdf
- [61] PROCHÁZKOVÁ, D. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223 p.
- [62] PROCHÁZKA, J. PROCHÁZKOVÁ, D., RUSKO, M., MAJERNIK, M., KOLLAR, V., ILKO, J. Impacts of Drinking Water Infrastructures Risks. In: *Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium*. ISBN 978-3-902734-29-7, ISSN 1726-9679. Vienna: DAAM International 2020, pp. 0356-0365, DOI: 10.2507/31st.daaam.proceedings.050[
- [63] PROCHÁZKA, J., PROCHÁZKOVÁ, D. Drinking water supply failure. In: *Safety and Reliability–Theory and Applications*. ISBN 978-1-138-62937-0. London: Taylor & Francis Group 2017, pp. 2235-2243. www.crc.press.com, www.taylorandfrancis.com

Pod'akovanie: Tento článok vznikol s podporou projektu P4+ Vplyv vybraných (relevantných) charakteristík transportných potrubných systémov na zabezpečenie stanovenej kvality vody s VVS a. s. Košice a s podporou projektu VEGA 1/0230/21 Environmentálna kvalita a životný cyklus stavebných materiálov.

BEZPEČNOST FÚZNÍCH ELEKTRÁREN

SAFETY OF FUSION POWER PLANTS

Slavomír Entler

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, Za Slovankou 1782/3, Praha 8 – Libeň, Česká republika;
entler@ipp.cas.cz

Abstrakt: Klíčovými rysy budoucích fúzních elektráren budou palivo z lehkých chemických prvků, umožňující nízkoemisní průmyslovou výrobu elektrické energie s prakticky nevyčerpatelnými a globálně dostupnými zásobami paliva, vysoká teplota paliva, nezbytná pro průběh fúzní reakce, a vysoké energetické zatížení jaderné zóny fúzních reaktorů vyžadující odolné materiálové a konstrukční řešení jaderných komponent. Tyto klíčové rysy zajistí úplnou vnitřní bezpečnost fúzních elektráren.

Klíčová slova: Jaderný; fúze; bezpečnost; elektrárna; klíčové rysy.

Abstract: The key features of future fusion power plants will be light chemical element fuels, enabling the low-emission industrial power generation with virtually inexhaustible and globally available fuel resources, the high fuel temperatures required for fusion reactions, and the high energy loadings of the fusion reactor nuclear zone requiring robust material and structural design of nuclear components. These key features will ensure the full inherent safety of fusion power plants.

Key words: Nuclear; fusion; safety; power plant; key features.

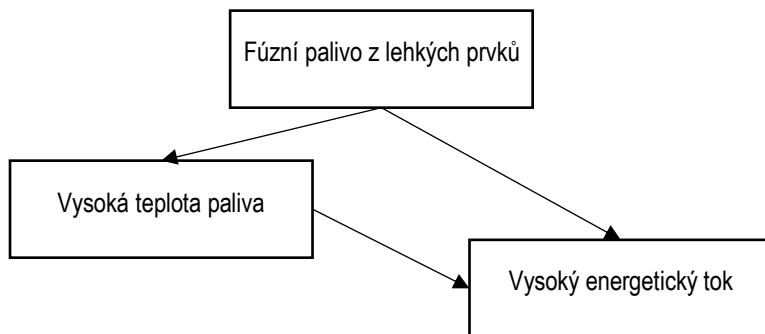
1. ÚVOD

Podle plánu Evropské unie a dalších světových velmocí má být první fúzní elektrárna uvedena do provozu do roku 2060 [1]. Klíčovými rysy budoucí fúzní energetiky budou palivo z lehkých chemických prvků umožňující bezemisní průmyslovou výrobu elektrické energie s prakticky nevyčerpatelnými a globálně dostupnými zásobami, vysoká teplota paliva poskytující inherentní jadernou bezpečnost fúzních reaktorů a vysoké tepelné a neutronové zatížení fúzních reaktorů vyžadující odolné materiálové a konstrukční řešení jaderných komponent reaktorů (obr. 1). Tyto rysy budou rozhodujícím způsobem ovlivňovat jadernou bezpečnost fúzních elektráren a jejich vliv na životní prostředí [2].

V energetických fúzních reaktorech první generace bude probíhat termojaderná fúzní reakce jader izotopů vodíku deuteria a tritia (*DT reakce*), protože z existujících fúzních reakcí umožňuje nejnázne vytvořit energetický zisk. Optimální teplotou pro průběh DT reakce je přibližně 163 milionů °C. Při takto vysokých teplotách budou reaktanty ve skupenství plně ionizovaného plazmatu. Deuterium se bude získávat separací z vody, tritium se bude získávat jadernou reakcí ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ izotopu lithia ${}^6\text{Li}$ s neutrony vznikajícími při fúzní reakci přímo v reaktoru [3].

Při DT reakci se fúzní energie uvolňuje ve formě kinetické energie heliových jader a neutronů vznikajících při reakci. Rozdělení energie odpovídá obrácenému poměru hmotnosti heliového jádra a neutronu: přibližně 4/5 uvolněné energie (~14 MeV) odnáší neutron a 1/5 energie (~3,6 MeV) získává heliové jádro. Heliové jádro je kladně nabitě, a proto zůstává v plazmatu zachyceno magnetickým polem reaktoru, předává svou energii ostatním částicím plazmatu a ohřívá tak plazma. Neutrony bez elektrického náboje opouštějí plazma a pronikají do jaderných

komponent reaktoru, kde předávají svou energii [4].

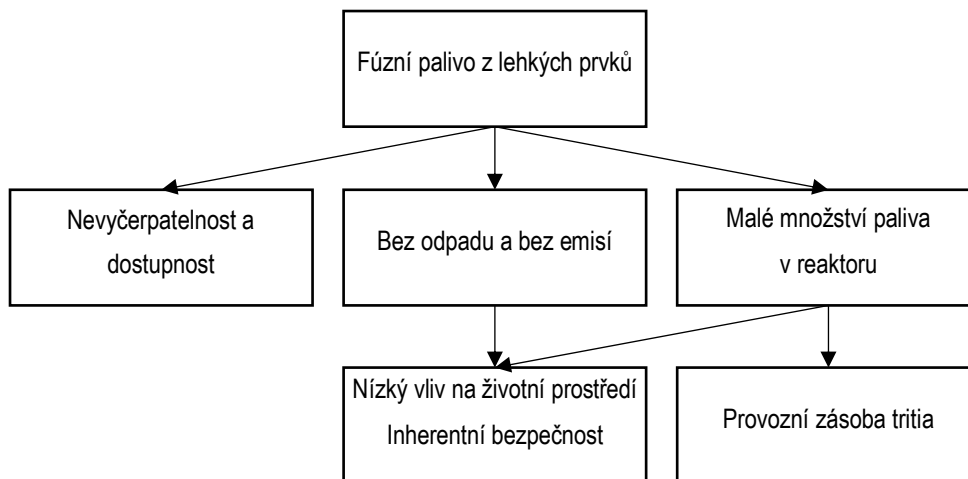


Obr. 1. Klíčové charakteristické rysy fúzních zdrojů energie.

2. FÚZNÍ PALIVO Z LEHKÝCH PRVKŮ

Fenomenologicky představuje využití paliva z lehkých prvků další krok směrem ke zrodu vesmíru. První fúzní palivo vzniklo nukleosyntézou již krátce po velkém třesku a umožnilo zrození prvních hvězd syntetizujících další lehké prvky. Štěpné palivo z těžkých prvků se začalo tvořit až v závěru prvního hvězdného cyklu jadernou fúzí při explozích prvních supernov. Zahájení tvorby fosilních paliv se datuje nesrovnatelně později do dějin Země v období Karbonu před cca 350 miliony let. Původ paliv přímo implikuje jejich dostupné množství lehké prvky fúzního paliva tvoří většinu viditelné hmoty vesmíru.

Na Zemi se lehké prvky použitelné jako palivo pro fúzní elektrárny nacházejí ve velkém množství ve vodě, především ve světových oceánech. Díky tomu je fúzní palivo dostupné kdekoli na Zemi. Zjednodušený strom kauzálních vztahů fúzního paliva z lehkých prvků ukazuje obr. 2.



Obr. 2. Zjednodušený strom kauzálních vztahů fúzního paliva z lehkých prvků.

První generace fúzních elektráren bude využívat fúzi jader deuteria a tritia vyráběného z lithia přímo ve fúzním reaktoru. Do palivového cyklu bude proto vstupovat deuterium a lithium jako DLi palivo. Druhá generace fúzních elektráren bude používat jako palivo pouze deuterium označované jako DD palivo.

Izotop vodíku deuterium je přírodní látka, která se přirozeně vyskytuje ve vodě. Ve světových

oceánech se nachází $\sim 4,76 \times 10^{16}$ kg deuteria. Energetická kapacita zásob této součásti vody je přibližně $1,6 \times 10^{31}$ J [5].

OSN odhaduje, že populace Země poroste přibližně do roku 2100, kdy se ustálí na 10 miliardách obyvatel [6]. V tomto roce dosáhne spotřeba energie podle nejhorsího scénáře přibližně $1,75 \times 10^{21}$ J/rok [7]. Při úplném pokrytí této spotřeby jadernou fúzí by zásoby deuteria vystačily 2,81 miliardy let, při pravděpodobnějším pokrytí poloviny celosvětové spotřeby by vystačily přibližně 5,6 miliardy let. To je více než dostatečná doba, protože asi za 5,3 miliardy let dojde k vyhoření fúzního paliva na Slunci a k zániku Země.

Lithium, druhá složka DLi paliva první generace fúzních elektráren, je také přírodní látka. V zemské kůře je přibližně $9,9 \times 10^{10}$ kg lithia a v oceánech $2,47 \times 10^{14}$ kg. Zásoby izotopu lithia ${}^6\text{Li}$ pro první generaci fúzních elektráren jsou celkově $1,83 \times 10^{13}$ kg [5]. Pokud by měla být fúzní reakce DT používána delší dobu, což se nepředpokládá, zásoby lithia v oceánech by stačily na pokrytí poloviny předpokládané celosvětové spotřeby roku 2100 po dobu až 1,53 milionu let.

Stávající fúzní reaktory pracují především s DD plazmatem a je jen otázkou pokroku fúzních technologií, kdy bude možné DD reakci využít i v energetických reaktorech. Deuterium se nachází v běžně dostupné vodě. Tím je dána jeho univerzální dostupnost ve všech zemích po celém světě, v celém antropogenním prostoru. Dostupnost deuteria je kvalitativně vyšší než dostupnost obnovitelných zdrojů energie, které jsou závislé na geografických podmínkách a na nahodilosti počasí. Klimatické výkyvy, např. dlouhotrvající sucho, sice mohou omezit dostupnost fúzního paliva, avšak jeho vysoká energetická kapacita a bezpečnost umožňují jeho snadný transport. Denní spotřeba DD paliva ve fúzní elektrárně o elektrickém výkonu 1 GW_e bude činit zhruba 0,83 kg. Toto množství paliva lze teoreticky získat z pouhých 25 m³ vody. Fúzní zdroje energie nebudou vytvářet žádné emise. Jde o bezuhlíkovou metodu výroby elektrické energie, při které se neuvolňují žádné skleníkové plyny. Odpadem fúzní reakce bude přírodní inertní plyn helium, kterého je na Zemi nedostatek. Fúzní elektrárna o elektrickém výkonu 1 GW_e vyprodukuje 0,5 - 1,5 kg helia denně. Helium je základním chladivem používaným v kryogenní technice a ve fúzních elektrárnách se bude používat především pro chlazení supravodivých magnetických cívek. Vyprodukované helium proto bude využito přímo v elektrárně na doplnění chladicích systémů.

Protože jaderná fúze probíhá při jakémkoliv množství reaktantů, bude důležitým aspektem inherentní bezpečnosti fúzních reaktorů malé množství fúzního paliva v reaktoru v řádu gramů. Palivo bude do reaktoru průběžně doplňováno a v případě zastavení palivového systému dojde k přirozenému zastavení fúzní reakce. Malé množství paliva v reaktoru také umožní rychlé a nedestruktivní ochlazení paliva prostým kontaktem s konstrukcí reaktoru. Vzhledem k malému množství paliva nepředstavuje bezpečnostní riziko ani jeho havarijní únik z reaktoru.

Podobně jako u štěpných jaderných elektráren bude fúzní reaktor umístěn v ochranném kontejnmentu, jehož úkolem bude zabránit při mimořádných událostech rozšíření radioaktivních látek (tritia a sekundárně aktivovaných materiálů reaktoru) mimo kontrolovaný prostor. V druhém ochranném kontejnmentu bude umístěno tritiové hospodářství. V tritiovém kontejnmentu bude probíhat extrakce deuteria a tritia z transportních médií, uskladnění provozní zásoby deuteria a tritia, uskladnění ${}^3\text{He}$ vznikajícího rozpadem tritia a příprava fúzního paliva. V obou ochranných kontejnmentech bude probíhat kontinuální detritiace vzduchu.

Pro provoz fúzní elektrárny bude nezbytné udržovat provozní zásobu fúzního paliva. V první generaci fúzních elektráren využívajících DT reakci si provozní zásoba paliva vyžádá uskladnění několika kg tritia v tritiovém kontejnmentu. Uskladněné tritium s aktivitou na úrovni $\sim 10^6$ TBq bude představovat největší bezpečnostní riziko fúzních elektráren první generace. Tritium je velice slabý β zářič, který se s poločasem 12,3 let rozpadá na stabilní izotop helia ${}^3\text{He}$. K jeho

odstínění stačí 6 mm vzduchu nebo 1 μm kovu. Zdravotní nebezpečí však hrozí při jeho požití, vdechnutí, anebo pokud se jinou cestou dostane do organismu, kde se může hromadit a z blízkosti ozařovat tělesné tkáně. Důležitou vlastností tritia, stejně jako všech izotopů vodíku, je vysoká permeabilita, která znesnadňuje jeho skladování. Úniku tritia ze skladovacích nádrží lze ale efektivně zabránit vícestěnnými zásobníky. V případě úniku plynného tritia mimo kontejnment bude hrát roli, že jde o velmi lehký plyn, který bude přirozeně stoupat vzhůru a rychle se rozptylovat do atmosféry.

3. VYSOKÁ TEPLOTA PALIVA

Fundamentálním rysem termojaderné fúze je, že probíhá pouze při velmi vysokých teplotách paliva. Optimální teplota paliva pro DT reakci je 163 milionů $^{\circ}\text{C}$, optimální teplota jiných fúzních reakcí je ještě vyšší [3]. Při poklesu teploty paliva klesá četnost fúzních reakcí, až se při teplotě několika desítek milionů $^{\circ}\text{C}$ reakce zcela zastaví. Vysoká teplota paliva determinuje celý návrh fúzního reaktoru. Zjednodušený strom kauzálních vztahů vysoké teploty paliva ukazuje obr. 3.



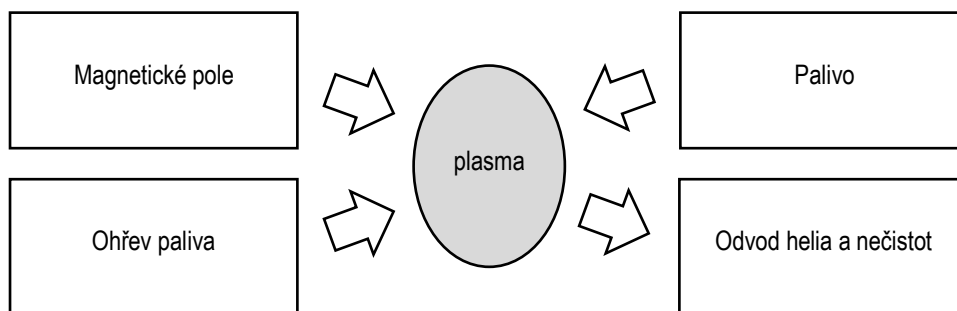
Obr. 3. Zjednodušený strom kauzálních vztahů vysoké teploty paliva.

Vysoká teplota paliva na úrovni stovek milionů $^{\circ}\text{C}$ vyžaduje zamezení kontaktu horkého paliva s konstrukcí reaktoru. Projektované reaktory typu tokamak pro tento účel využívají magnetické pole. Fyzika termojaderného plazmatu v magnetickém poli je ale velmi komplikovaná a vyžaduje náročný výzkum. Nestability plazmatu se projevují stochastickým zatěžováním komponent obklopujících plazma výkonovými špičkami, které mohou lokálně poškodit povrch komponent. Velmi malé množství horkého paliva v reaktoru a celkově nízká energie plazmatu ale zaručují okamžité ochlazení paliva pouhým kontaktem s povrchem komponent obklopujících plazma.

Ohřev paliva na vysoké teploty vyžaduje sofistikovaný systém ohřevu, jehož spotřeba bude hrát významnou roli ve výkonové bilanci elektrárny. Výkon ohřevu absorbovaný v plazmatu však bude z velké části vyzářen zpět jako součást tepelného výkonu reaktoru a znovu využit pro výrobu elektrické energie. Čistá účinnost elektrárny proto nebude snížena spotřebou systému ohřevu, ale pouze ztrátami při recirkulaci výkonu ohřevu.

Úplná vnitřní jaderná bezpečnost fúzních reaktorů vychází z toho, že dosažení a udržení teploty paliva v reaktoru vyžaduje aktivní činnost řady reaktorových technologií. V případě selhání těchto technologií dojde pouhým kontaktem horkého plazmatu s první stěnou reaktoru k jeho prudkému ochlazení a jaderná reakce se okamžitě ukončí (obr. 4). Stejně tak lze fúzní reakci kdykoliv podle potřeby zastavit například vstříknutím inertního plynu do plazmatu, který

vyvolá ochlazení plazmatu.

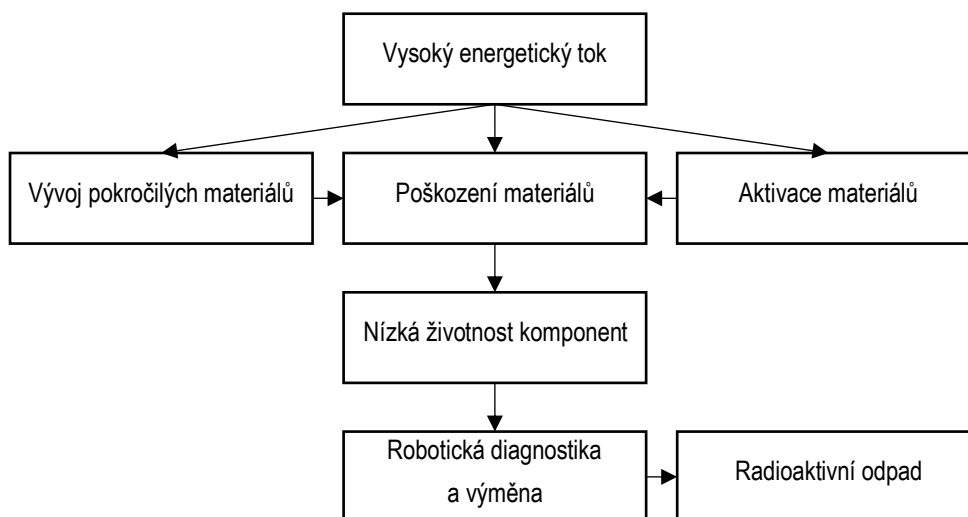


Obr. 4. Nezbytná sofistikovaná podpora fúzní reakce.

Protože ve fúzním reaktoru nemůže jaderná reakce z fyzikálních důvodů probíhat bez externí podpory reaktorových technologií, je fúzní reaktor inherentně (vnitřně) bezpečný zdroj energie. To přinese zásadní změnu do bezpečnosti jaderných elektráren. Fúzní reaktory budou stejně jako štěpné reaktory uvolňovat vazebnou energii atomového jádra, avšak odlišný způsob jejího uvolňování odstraní riziko nekontrolované jaderné reakce.

4. VYSOKÝ ENERGETICKÝ TOK

Jaderné komponenty budou vystavené vysokému energetickému toku z plazmatu tvořenému vysokoenergetickými fúzními neutrony, tepelnou radiací z horkého plazmatu a tepelnou kondukcí při přímé interakci s horkým plazmatem. Tento tok způsobí degradaci konstrukčních materiálů komponent. Zjednodušený strom kauzálních vztahů vysokého energetického toku ukazuje obr. 5.



Obr. 5. Zjednodušený strom kauzálních vztahů vysokého energetického toku.

Neutronové zatížení jaderných komponent fúzními neutrony o energii 14 MeV dosáhne 10^{17} - 10^{18} n/m²s a za 40 let provozu reaktoru může způsobit poškození materiálu komponent až 500 dpa (displacement per atom), pokud by nedošlo k jejich výměně [8].

Tepelné zatížení první stěny bude v rozmezí 0,5–5 MW/m² v závislosti na poloze v reaktoru. Při některých nestabilitách plazmatu může tepelný tok na velice krátkou dobu vzrůst až na 300 GW/m² a způsobit natažení nebo vypaření povrchové vrstvy první stěny [9]. Nominální tepelná zátěž divertorových terčů bude 5-10 MW/m². Pulsní výkonové špičky v divertoru mohou při nestabilitách plazmatu dosáhnout několikanásobně vyšších hodnot [10].

Materiálový výzkum radiačně a tepelně odolných materiálů se soustředí na pokročilé materiály na bázi wolframových kompozitů, laminátů nebo funkčně gradovaných materiálů a na nízkoaktivovatelné feriticko-martenzitické oceli RAFMS. Současné technologické možnosti ale neumožňují zajistit životnost jaderných komponent po celou dobu provozu elektrárny. Průměrná životnost divertorových terčů se odhaduje na 4,5 roku, životnost modulů první stěny a blanketu přibližně na 10 let. Při pravidelných odstávkách elektrárny bude prováděna detailní prohlídka jaderných komponent v reaktoru a poškozené nebo limitně opotřeбенé moduly budou dálkovými manipulatory vyjmuty z reaktoru a nahrazeny novými moduly.

Vyjmuté moduly budou tvořit radioaktivní odpad. Budou převezeny do skladu radioaktivního odpadu a později recyklovány. Komponenty jaderné zóny vyrobené z wolframových materiálů a RAFMS umožní recyklaci po 50-100 let od vyjmutí z reaktoru [7].

5. ZÁVĚR

Klíčové rysy fúzních zdrojů energie determinují jejich jadernou bezpečnost a vliv na životní prostředí. Z pohledu jaderné bezpečnosti budou fúzní elektrárny inherentně bezpečné a budou uvolňovat jadernou energii bez rizika neřízené fúzní reakce a bez vytváření radioaktivních odpadů s dlouhým poločasem rozpadu.

Fúzní elektrárny poskytnou stejně bezpečnou a ekologickou produkci elektřiny jako fotovoltaické nebo větrné elektrárny, avšak s vysokým a konstantním elektrickým výkonem. Budou proto vhodným průmyslovým protějškem malých decentralizovaných obnovitelných zdrojů energie a umožní sestavit energetické mixy z nízkoemisních zdrojů s minimálním vlivem na životní prostředí a s prakticky nevyčerpatelnými zásobami paliva.

LITERATURA

- [1] DONNE, T. A DALŠÍ. *Fusion Electricity, a Roadmap to the Realization of Fusion Energy*. Garching: EUROfusion 2018, https://www.euro-fusion.org/fileadmin/userupload/EUROfusion/Documents/2018_Rearch_roadmap_long_version_01.pdf
- [2] ENTLER, S., DOSTÁL, V. Jaderná bezpečnost fúzních elektráren a jejich vliv na životní prostředí. *Bezpečnost jaderné energie*. 9/10 (2017), pp. 262-268.
- [3] ENTLER, S., MLYNÁŘ, J., DOSTÁL, V. Základy fúzní energetiky II. – Základní fyzika fúzních reaktorů. *TZB-info* 32 (2016). http://energetika.tzb-info.cz/elektro_energetika/14538-zaklady-fuzni-energetiky-ii-zakladni-fyzika-fuznich-reaktoru.
- [4] ENTLER, S., MLYNÁŘ, J., DOSTÁL, V. Základy fúzní energetiky III. – Reaktorové technologie. *TZB-info* 34 (2016). <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/14587-zaklady-fuzni-energetiky-iii-reaktorove-technologie>.
- [5] ENTLER, S. Fúzní palivo a obnovitelné zdroje. *Energetika* 5 (2015), pp. 249-252.
- [6] UN. *The World at Six Billion*. New York: UN DESA, Population Division 1999.
- [7] DETLEF, P. VAN VUUREN, ET AL. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109 (2011), pp. 5–31.
- [8] FEDERICI, G., BIEL, W., GILBERT, M. R., KEMP, R., TAYLOR, N., WENNINGER, R. European DEMO design strategy and consequences for materials. *Nucl. Fusion* 57 (2017) 092002.
- [9] ENTLER, S., MLYNÁŘ, J., DOSTÁL, V. Základy fúzní energetiky IV. – Jaderné komponenty. *TZB-info* 37 (2016), <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/14669-zaklady-fuzni-energetiky-iv-jaderne-komponenty>.

- [10] HORACEK, J., DOBIAS, P., CUNNINGHAM, G., DUBAN, R., IMRISEK, M., MARKOVIC, T., HAVLICEK, J., VLCEK, J., ENTLER, S. Feasibility study of fast swept divertor strike point suppressing transient heat fluxes in tokamaks DEMO and COMPASS-Upgrade. *Fusion Eng. Des.*, DOI 10.1016/j.fuseng-des.2017.01.027.

ROZMACH VYUŽITÍ PRAVDĚPODOBNOSTNÍCH METOD V PROCESECH ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI PROVOZU JADERNÝCH ZAŘÍZENÍ I DALŠÍCH SLOŽITÝCH MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ

APPLICATION OF PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT IN THE PROCESSES ORIENTED TO INCREASING SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS AND OTHER COMPLEX TECHNOLOGIES

Jaroslav Holý

ÚJV Řež, 250 68 Husinec-Řež, Jaroslav.holy@ujv.cz

Abstrakt: Článek popisuje využití metod pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti při dokladování a zvyšování bezpečnosti provozu českých jaderných elektráren. Seznamuje s metodami, modely a projekty PSA reprezentujícími moderní způsob zajištění exaktních podkladů pro rozhodování opírající se hodnocení rizik při výstavbě nového energetického zdroje i v každodenním provozu jaderné elektrárny. Zdůrazňuje komplexnost metod PSA a jejich potenciál pro využití i pro zvyšování bezpečnosti provozu dalších nejaderných složitých moderních technologií.

Klíčová slova: PSA; riziko; bezpečnost; moderní složitá technologie; jaderná elektrárna.

Abstract: The article describes the processes of using the methods of probabilistic safety assessment for documentation and increasing safety of operation of nuclear power plants in Czech Republic. It provides information about PSA methods, models and projects representing current state-of-the-art of development and using of sophisticated inputs for risk-oriented decision making both for newly built nuclear power plants and for the plants, which have been operated for a long time. The complexity of PSA methods and their potential to be used for solution of safety related matters in non-nuclear area, as well, is emphasized in the article.

Key words: PSA, risk, safety, modern complex technology, nuclear power plant.

1. ÚVOD

Bezpečnostní analýzy předkládané v současné době pro podporu provozu moderních složitých technologií se tradičně rozdělují na deterministické a pravděpodobnostní. Deterministické analýzy mají mnohaletou tradici a byly už nedílnou a nutnou součástí procesu výstavby a zahájení provozu jaderných elektráren v Československu v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století (nejprve JE Jaslovské Bohunice a zhruba o dekádu později JE Dukovany). Moderní pravděpodobnostní přístupy byly do procesů zajištění bezpečného provozu jaderných elektráren implantovány později – ve světě od počátku sedmdesátých let, v České republice na počátku let devadesátých.

Současné analýzy podporující bezpečnost provoz jaderné elektrárny ve fázi její výstavby, ale i během celého provozního života jsou typické mixem navzájem propojených deterministických a pravděpodobnostních přístupů. Deterministické analýzy čerpají pro své zaměření a efektivní využití do nich vkládaných prostředků inspiraci u pravděpodobnostního zhodnocení portfolia rizik celé složité technologie, které mimo jiné definuje priority pro zaměření těchto analýz. Pravděpodobnostní analýzy naopak čerpají z výsledků deterministických analýz cenná zpřesnění odhadovaného charakteru a parametrů havarijních scénářů, která umožňují nahradit zčásti

subjektivní předpoklady fyzikálními modely blízkými realitě a hrubé odhady parametrů stále zpřesňovanými exaktnějšími hodnotami.

Novou hodnotou vnesenou do procesů zajištění bezpečného provozu jaderné elektrárny (a i jakékoli další složité moderní technologie) je cílené uvažování a zvládání systematické analýzy všech možných kombinací poruch zařízení (čerpadlo sekundárního okruhu nenastartuje), selhání obsluhy (operátor sekundárního okruhu nenastartuje záložní čerpadlo) a meta nedostatků organizačního charakteru (obsluha blokové dozorny při nízké kultuře bezpečnosti neregistruje výpadek čerpadla, protože neplní jí přidělené úkoly) a kvantifikace rizika ve smyslu pravděpodobnosti vzniku kritické nežádoucí události spojené s únikem štěpných produktů přes pokrytí palivových článků, z aktivní zóny reaktoru nebo až do životního prostředí. Především propojení příspěvku k riziku spojeného s poruchovostí zařízení s příspěvkem od selhání obsluhy k riziku do jediného modelu využívajícího pro oba základní případy stejnou míru, totiž pravděpodobnost vzniku, je unikátním způsobem, jak vytvořit realistický model tak složité struktury a procesů, jaké reprezentuje jaderná elektrárna (analýza zmíněných faktorů organizačního charakteru je při své obtížnosti na hraně možnosti zahrnutí do modelu rizik současné jaderné elektrárny). Sdružený komplexní model bezpečnostně propojených procesů probíhajících na JE pak umožňuje spojit všechny prvky portfolia rizik do jediného seznamu, navzájem porovnat potenciál rizik všech jeho prvků a definovat krátkodobé a dlouhodobé priority procesu zvyšování anebo alespoň udržování dosažené úrovně bezpečnosti.

Zásadním, v praxi prokázaným prvkem pravděpodobnostních metod hodnocení bezpečnosti (PSA) je jejich flexibilita při hodnocení navrhovaných modifikací provozu JE, které nemusejí být nutně orientovány na zvýšení bezpečnosti, ale mohou mít za cíl prostě zvýšení efektivity, kdy je cílem bezpečnost významněji nesnížit, hodnocení dopadů nových událostí z reálného provozu (jež mohou zpochybnit dříve zformulované předpoklady a odvozené hodnoty rizika) anebo prostě zahrnutí nových poznatků vědy a techniky ke zobektivnění složitého modelu.

Speciálním, ale stále dobře zvládaným případem je definování bezpečnostně orientovaných požadavků pro novou JE ve stadiu výstavby, kdy je objem nové informace při tvorbě pravděpodobnostního modelu výrazně vyšší než při aplikacích pravděpodobnostních metod uprostřed provozního období dlouhodobě provozované technologie. Zde se spojení deterministických a pravděpodobnostních metod při uplatnění principů inženýrství založeného na řízení rizik plně uplatní i v procesech verifikace a validace designu a navrhovaného způsobu provozování oproti požadavkům dozorného orgánu. O tom, že toto uplatnění pravděpodobnostních metod není pouhou fikcí nebo možností vzdálenější budoucnosti svědčí i zapojení metod pravděpodobnostní analýzy do velmi časných fází přípravy výstavby nového jaderně-energetického zdroje v ČR. Podle respektovaného stanoviska MAAE z roku 2019 [1], které je dále rozvedeno v návodech SÚJB „*Podrobné hodnocení bezpečnosti, zahrnující deterministickou a pravděpodobnostní bezpečnostní analýzu, je nutné provést pro potvrzení splnění platnosti všech bezpečnostních požadavků kladených na projekt JE dle národních a mezinárodních standardů, zákonů a vyhlášek*“.

2. PSA JAKO SOUČÁST PROCESŮ ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNÉHO PROVOZU JE V ČESKOSLOVENSKU A V ČR

Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti se v České republice od časných devadesátých let minulého století stalo nedílnou součástí vývoje a užití principů zajišťujících bezpečný provoz JE. Tento fakt se odráží například v pravidelných aktualizacích základní bezpečnostní dokumentace JE–Provozní bezpečnostní zprávy (PrBZ). Od roku 2018 je pravděpodobnostnímu hodnocení bezpečnosti v PrBZ věnována speciální samostatná kapitola 19.1, ale

pravděpodobnostní metody generují důležité podklady i pro další kapitoly PrBZ (spolehlivost zařízení, potenciál rizik od vnějších ohrožení nebo problematika lidského faktoru).

Od roku 1998 realizuje JE Dukovany ve spolupráci s ÚJV Řež (dříve Ústav jaderného výzkumu Řež) každoročně bez výjimky projekt Living PSA EDU, jehož cílem je udržet model PSA zcela aktuální a připravený pro aplikace. PSA model pro JE Temelín nebyl ve své historii takto pravidelně aktualizován, ale proběhlo zde několik velkých jednorázových aktualizací ve speciálních oblastech PSA (analýza spolehlivosti lidského činitele, analýza provozní zkušenosti, zahrnutí vnějších přírodních a člověkem způsobených ohrožení do modelu PSA) V roce 2016 byla zorganizována dvoutýdenní mise osmi expertů MAAE, která velmi detailně zhodnotila aktuální stav modelu PSA JE Dukovany a zformulovala doporučení pro jeho další zdokonalení v souladu s celosvětovou dobrou praxí rizikového inženýrství. Rozhodující většina těchto doporučení byla vypořádána do konce roku 2019.

Dalším projektem zásadního významu pro uplatnění (nejen) pravděpodobnostních metod analýzy rizika provozu českých JE byl projekt Stress testů evropských JE vzniklý v odezvě na události na JE Fukušima. Projekty využití pravděpodobnostních metod v ČR zde nebyly subjektem analýzy a hodnocení, ale samy poskytly pro stress testy užitečné vstupy, například pro zhodnocení vlivu navrhovaných opatření a jejich alternativ na zvýšení bezpečnosti provozu JE. Tento proces byl zkombinován s dalšími aktivitami realizovanými s cílem udržet a zvýšit bezpečnost provozu JE Dukovany a JE Temelín. Obě české JE realizují například v pravidelných pětiletých cyklech projekty Periodického hodnocení bezpečnosti, kde tvoří hodnocení uplatnění pravděpodobnostních metod analýzy jednu z patnácti samostatných oblastí. Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti poskytuje též důležité vstupy do projektu LTO (Long term operation), ve kterém se prověřuje, jak jaderná elektrárna (v daném případě Dukovany) splňuje podmínky pro pokračování v provozu za rámec své plánované životnosti.

Současné studie PSA v ČR i ve světě jsou typické velmi širokým záběrem hodnocených scénářů bezpečnostního významu. Historicky nejstarší analýzy rizika poškození aktivní zóny reaktoru od vzniku vnitřních událostí (poruch zařízení) při provozu na plném výkonu byly postupně rozšiřovány o analýzy poškození aktivní zóny při provozu v přechodových stavech, na nízkém výkonu a při odstávce JE. Do rozsahu analýz byly přidány scénáře iniciované projevy vnitřních a vnějších ohrožení a bylo zhodnoceno i riziko provozu dalšího zdroje potenciálně uniklých radionuklidů v lokalitě JE – bazénu skladování vyhořelého palivu. Scénáře poškození aktivní zóny reaktoru jsou v současných analýzách již standardně dále rozvíjeny po časové ose, kdy je hodnoceno riziko úniku radionuklidů z poškozené zóny do prostoru jaderné elektrárny. Další rozšíření časového záběru analýzy o hodnocení rizika úniku štěpných radionuklidů vně elektrárny se v ČR pro obě JE připravuje (ani v zahraničí nebyla pro většinu JE tato část analýzy rizika doposud zpracována).

3. ÚJV JAKO HLAVNÍ ZPRACOVATEL PSA STUDIÍ PRO ČESKÉ JE

V ÚJV se využití pravděpodobnostních metod k hodnocení rizika provozu JE, ale i dalších moderních složitých technologií, věnuje oddělení „Spolehlivost a rizika“, které je součástí divize „Jaderná bezpečnost a spolehlivost“. Během posledních tří dekád specialisté oddělení převzali a rozvinuli metody pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti a propojili je do širšího rámce bezpečnostních analýz. Mezi nejdůležitější řešená témata patřila:

- analýzy spolehlivosti a rizika složitých moderních technologií s vysokými požadavky na spolehlivost a bezpečnost, včetně identifikace slabých míst v projektu a provozu a návrhů modifikací projektu a zdokonalení procesů spojených s provozem jaderné elektrárny z hlediska bezpečnosti,

- aplikace metod rozhodování založeného na hodnocení rizik v každodenním provozu složité moderní technologie s důrazem na specifika provozu jaderných elektráren (takovým charakteristickým rysem, na rozdíl od mnohých jiných složitých technologií, je například kampaňový provoz),
- „klasické“ spolehlivostní analýzy komponent a systémů provozovaných na JE, v současné době orientované například na systémy kontroly a řízení a vzájemné vazby mezi spolehlivostí lidského prvku a automatických prostředků řízení,
- detailní zpětné analýzy rizika zaznamenaných provozních událostí a návrhy opatření zamezujících jejich výskytu nebo snižujících potenciál pro jejich opakování,
- analýzy potenciálu rizik vnitřních a vnějších ohrožení,
- analýzy potenciálu rizik násobných poruch se společnou příčinou (poruch, které jsou schopny vyřadit vícero nezávislých větví bezpečnostně významného systému, zásadně snížit bezpečnostní rezervu a narušit principy ochrany do hloubky),
- analýzy spolehlivosti lidského činitele a vlivu lidského faktoru na bezpečnost provozu, včetně potenciálu lidského faktoru způsobit násobné poruchy.

Důležitou charakteristikou všech uvedených aktivit je jejich primární zaměření na integrované riziko provozu JE s výraznou orientací na vnější subjekty. Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti nenahrazuje klasické přístupy BOZP ani se jim systematicky nevěnuje, přestože jim poskytuje jako vedlejší produkt užitečné vstupy, ale analyzuje riziko provozu technologie především z pohledu ohrožení životního prostředí a populace vně technologie.

Pro uplatnění metod PSA ÚJV disponuje desetičlenným týmem specialistů, který je kromě přímé podpory zajištění bezpečnosti provozu českých JE zapojen do bilaterální spolupráce s řadou zahraničních subjektů a do mnoha mezinárodních projektů při stále se zvyšujícím uplatnění PSA, jako například:

- spolupráce s MAAE, US DOE, US NRC, EPRI, IFE Halden, spoluúčast na projektech EUROATOM and EuropeAid (Arménie, Čína, Írán, aktuálně výběrové řízení pro Bělorusko),
- účast na práci pracovních skupin a projektů OECD NEA (pracovní skupiny WGRISK, WGOE, WGHOF,) projekty (FIRE, ICDE, OPDE, DIGMAP),
- bilaterální kontrakty a spolupráce se zahraničními JE a dozornými orgány (Slovensko, Turecko, Ukrajina, Arménie, Finsko, Írán atd.),
- školení zahraničních expertů a příprava spolupráce s jejich organizacemi při hodnocení bezpečnosti provozovaných nebo budovaných JE (Čína, Jižní Korea, Jordánsko, Pákistán apod.).

4. BEZPEČNOSTNÍ STANDARDY SE VZTAHEM K PSA A ROLE DOZORNÉHO ORGÁNU V ČR

Z pohledu Státního úřadu pro jadernou bezpečnost zůstávala po dlouhou dobu metodologie PSA pouze doplňkem při uplatnění tradičních deterministických metod hodnocení bezpečnosti. Situace se však výrazně změnila v posledních letech.

Speciální kapitoly vyhlášky SÚJB 162/2017 [2] shrnují požadavky na hodnocení bezpečnosti provozu JE a reprezentují i velmi detailní soubor přístupů k uplatnění pravděpodobnostního hodnocení. Užití PSA pro hodnocení rizika poškození pokrytí paliva v aktivní zóně i v bazénu skladování a šíření radionuklidů v prostoru JE se stalo povinnou součástí zajištění bezpečného provozu jak u v současnosti provozovaných JE, tak pro nově budovaný jaderně-energetický zdroj, v rozsahu pokrývajícím všechny provozní stavy, vnitřní události i vnitřní a vnější ohrožení. Podle této vyhlášky musí být PSA použita při zpracování podkladů pro každý návrh změny v projektu nebo provozu JE s potenciálním vlivem na bezpečnost. Pro zajištění aktuálnosti PSA modelu jako zdroje podkladů pro rozhodování založené na hodnocení rizik se

požaduje pravidelná aktualizace studie PSA (včetně modelu PSA) každých pět let. Podrobný metodický popis postupů doporučených a vyžadovaných ze strany SÚJB při vývoji a aplikacích PSA pro české JE se nachází v návodu BN-JB-2.7 [3], vydaném v roce 2017.

Zvýšený důraz na uplatnění metod PSA v procesech zajištění bezpečnosti provozu JE vedl k posílení činností hodnotících kvalitu modelů PSA a jejich aplikací na českých JE. V roce 2016 byla PSA studie JE Dukovany podrobena dvoutýdennímu review za účasti osmi expertů MAAE. V roce 2018 bylo zorganizováno tematické review využití specifické provozní zkušenosti z provozu JE Dukovany v PSA studii EDU, zajišťované slovenskou firmou VUJE. V letech 2019-2020 proběhlo obsáhlé review zahrnutí vnitřních ohrožení do PSA studie ETE, organizované ve spolupráci s německou firmou GRS. Aktuálně, v roce 2021, zpracovává GRS review další části PSA studie ETE orientované na vnější ohrožení.

5. ZAHRNUTÍ VNĚJŠÍCH OHROŽENÍ DO MODELU PSA

Zdokonalování metodologie PSA je součástí dlouhodobého procesu rozšiřování a zpřesňování modelu PSA. Velkou, relativně novou oblastí PSA, je zahrnutí vnějších ohrožení. Jedná se o analýzu těch havarijních scénářů, kde iniciující příčinou není primárně porucha zařízení JE, ale výskyt vnějšího extrémního jevu, který nepohotovost bezpečnostně významného zařízení JE může mít za následek. Externí ohrožení lze rozdělit do dvou základních kategorií:

- ohrožení přírodního původu,
- ohrožení způsobená člověkem.

Ohrožení přírodního původu jsou výrazně svázána s geografickým pozadím lokality provozované JE (jiná ohrožení budou vykazovat lokality na severu a na jihu Evropy). Pro české JE mezi bezpečnostně významná ohrožení patří například extrémní vítr, tornádo (bylo pokládáno za vnější ohrožení a modelováno v PSA studii JE Dukovany ještě před výskytem tornáda velikosti F4 na jihu Moravy v létě 2021) nebo extrémní sníh. Typické přírodní ohrožení, které bylo ve většině studií PSA ve světě analyzováno jako první, zemětřesení, nepřináší českým JE velký potenciál rizika vzhledem ke stabilitě geologického podloží na území ČR.

Typickým vnějším ohrožením způsobeným člověkem, často analyzovaným v PSA studiích a platným i pro ČR, je (nezáměrný) pád letadla. I další vnější ohrožení člověkem uvažovaná ve studiích PSA jsou spojena s dopravou – ať už s využitím aktivních prostředků přemístění nebezpečných látek (hrozcích například výbuchem) nebo i s využitím „pasivních“ stabilních prostředků (plynovod). Do rozsahu PSA studie však naopak nepatří záměrná vnější ohrožení (terroristický útok), který je z logických důvodů obvykle řešen při zpracování utajovaných skutečností, zatímco studie PSA má za jeden z cílů právě prezentovat bezpečnost provozu JE veřejnosti.

Významnou problémovou oblastí analýzy rizika přírodních vnějších událostí je odhad frekvence jejich vzniku. Zde je nutné spojit (velmi nízkou) frekvenci vzniku extrémní události s hodnotou fyzikálního parametru dané události na základě analýzy specifických dat o výskytu přírodních událostí v lokalitě elektrárny. Vzhledem k tomu, že dostupná data (záznamy z meteorologických stanic o výskytu extrémní události – větru, sněhu apod.) pokrývají v lepším případě časové období o délce cca 50 let (a poměrně častá je situace, kdy se taková data pro konkrétní lokalitu začínou ukládat a zpracovávat až po zahájení provozu JE v lokalitě), je nutné extrapolovat z nich odvozené parametry při běžně užívaných hodnotách frekvencí vzniku extrémních událostí cca 10^{-4} na období až 10 000 let i výše.

Vnější přírodní ohrožení byla (kromě seismického) celosvětově po dlouhou dobu považována za nadbytečný článek studie PSA a ani na počátku tohoto milénia nebyla zahrnuta do rozsahu mnohých zahraničních studií PSA. Tento stav se významně změnil po výskytu událostí na JE

Fukušima. Zatímco PSA studie japonských JE byly typické řádově nižšími odhady rizika než u evropských nebo amerických JE, k události se zásadním dopadem na jadernou energetiku došlo právě v Japonsku. Příčinou podcenění rizika bylo právě nezahrnutí možného účinku externích ohrožení na bezpečnost JE do portfolia rizik, které tvořily pouze poruchy zařízení, vůči nimž jsou japonské JE projektově dobře chráněny, a to ani do deterministického hodnocení bezpečnosti.

Základním rysem Fukušimského scénáře je kompletní ztráta zdrojů elektrického napájení, která při přetrvání zablokuje odvod tepla vyvíjeného v aktivní zóně reaktoru. Každá současná jaderná elektrárna je proti tomuto scénáři vybavena předimenzovanými diverzibilními náhradními zdroji zahrnujícími sestavu výkonných diesel generátorů. Diesel generátorové stanice jsou na obrázku 1 malými objekty, nacházejícími se „ve třetí řadě“ v prostoru stožárů ve stejné vzdálenosti od moře. Při posunutí alespoň některých z těchto objektů o 40 a více metrů od moře by nebyly zdevastovány vlnou tsunami a ke kritickému scénáři dlouhodobého výpadku zdrojů elektrické energie by vůbec nedošlo.



Obr. 1. JE Fukušima před zásahem tsunami – odhadované riziko provozu bylo velmi nízké, ale externí ohrožení nebyla do PSA studie zahrnuta.

Vnější ohrožení v PSA studiích v ČR i v zahraničí doplňují vnitřní ohrožení analyzovaná již dříve. Mezi typická vnitřní ohrožení patří požáry, záplavy, vystřelení letícího předmětu vysoké kinetické energie (lopatka turbíny), výbuchy, švihy potrubí a pády těžkých břemen (i přímo do reaktoru při výměně paliva). U vnitřních ohrožení je obvykle porucha zařízení iniciátorem vzniku havarijního scénáře, ale nepohotovost poruchou dotčeného zařízení není vlastní příčinou možného poškození paliva v aktivní zóně. Utržená lopatka turbíny sama o sobě výrazně nesnižuje potenciál pro úspěšné dochlazení bloku, ale jako letící předmět může sekundárním efektem poškodit zařízení, které se na odstavení bloku přímo podílí. Podobně prasknutí potrubí cirkulační vody na strojovně samo o sobě nebrání dochlazení bloku, ale vzniklá záplava může vyřadit

komponenty systémů a řízení na nižších patrech hlavního výrobního bloku, bez kterých se odstavení a dochlazení bloku výrazně komplikuje.

Dalším krokem v analýze vnějších ohrožení je zvážení možnosti výskytu kombinací těchto ohrožení a jejich vlivu na bezpečnost provozu. Intuitivně je zřejmé, že kombinace vnějších ohrožení má obvykle větší devastující účinek než individuální ohrožení. Na druhé straně je odhad roční frekvence výskytu kombinace nezávislých vnějších ohrožení určité intenzity obvykle řádově nižší než frekvence výskytu každého z nich. Pro riziko provozu pak zůstávají důležité kombinace závislých ohrožení. Obecně však platí, že i když jednotlivá „single“ ohrožení mají nevýznamný bezpečnostní dopad, může jejich kombinace představovat mnohem výraznějšího přispěvatele k riziku provozu.

6. APLIKACE PSA PŘI ZAJIŠŤOVÁNÍ BEZPEČNOSTI PROVOZU JE V ČR

Hlavním cílem PSA studií v jejich počátcích a prvních dekáдах bylo číselné vyjádření rizika provozu JE, využitelné k porovnání rizik spojených s další průmyslovou nebo jinou lidskou činností, a dokladování splnění kritérií na velikost rizika zformulovaných orgány jaderného dozoru. Další rozvíjení a zpřesňování PSA modelů postupně ale vytvořilo potenciál pro mnohem širší využití PSA studií při každodenním rizikově orientovaném rozhodování.

Základní přímočarou aplikací PSA je (i pro české JE) zhodnocení vlivu modifikace v projektu nebo způsobu provozování JE na stávající hodnoty rizika. Takové hodnocení je možné provádět po realizaci modifikace, kdy jsou ve velmi konkrétní formě k dispozici všechny podklady, ale i při jejím formování a hledání optimální varianty, kdy se pomocí PSA porovnává riziko po předpokládané realizaci těchto alternativ.

V případě, že je modifikace prováděna s cílem dále zvýšit bezpečnost provozu, se hodnotí absolutní a relativní velikost snížení rizika, včetně toho, zda případně i ekonomicky náročná modifikace vůbec k měřitelnému snížení rizika provede (z praxe lze snadno dojít k závěru, že se řada modifikací vůbec nemusí dotknout měřitelných příspěvků k riziku). V případě, že je cílem modifikace zvýšit efektivnost provozu JE se prokazuje, že modifikace, která není primárně bezpečnostně zaměřená, nevede ke zvýšení rizika. Příkladem modifikace zhodnotitelné z pohledu vlivu na riziko může být náhrada čerpadla staršího typu modernějším a spolehlivějším, úprava pojistných ventilů parogenerátoru pro havarijní chlazení nebo zpracování nové procedury pro konkrétní havarijní scénář, které pomůže obsluze BD se ve scénáři lépe orientovat, identifikovat symptomy aktuálního stavu a optimálně načasovat odezvu na projevy havarijního stavu, a ve svém dopadu sníží pravděpodobnost lidského selhání.

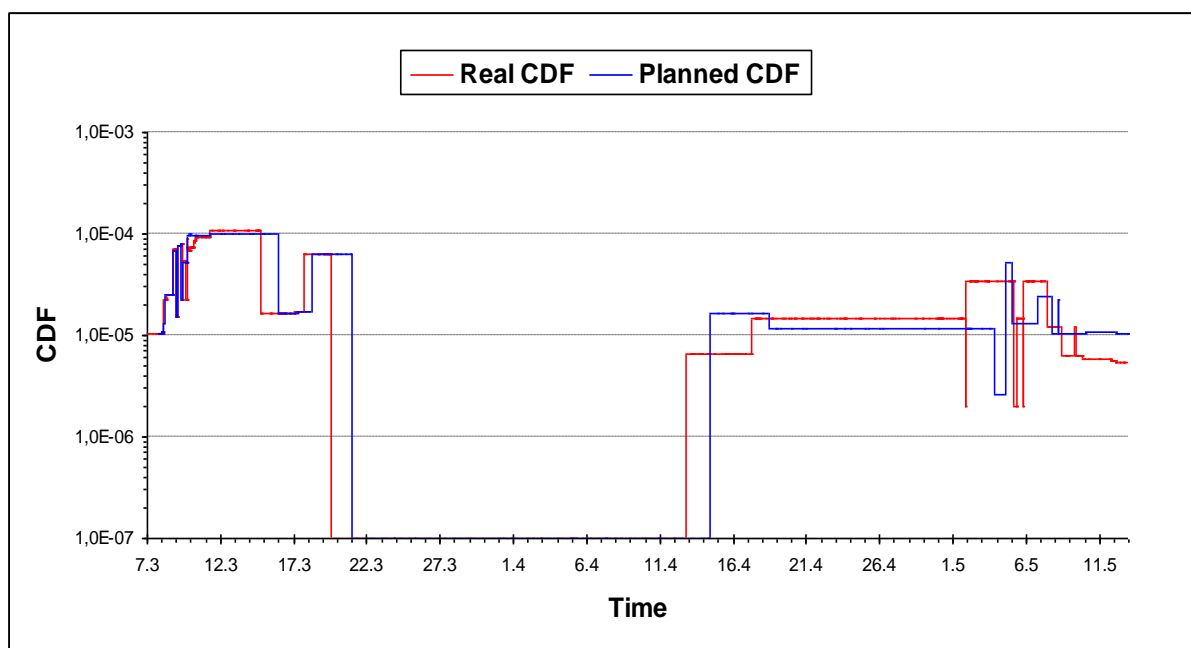
Při hodnocení a kvantifikaci rizika provozu JE využívá základní varianta PSA studie (PSA-1) pro měření rizika tradičně jako výstupní hodnotu odhad roční frekvence poškození paliva v aktivní zóně. Tato hodnota však nevypovídá dostatečně o aktuálním riziku v daném okamžiku provozu. Současné aplikace PSA ve formě tzv. monitorů rizika odvozují jeho hodnotu právě pro daný okamžik a konfiguraci zařízení JE. Jejich nasazení je zvláště užitečné nikoli během běžné kampaně a provozu na plném výkonu, kdy JE pracuje víceméně „samospádem“, ale pro období přechodu do odstávky, její realizace a návratu do výkonového provozu.

Současná praxe zajištění bezpečného provozu na nízké úrovni rizika i při odstávce JE využívá při každé odstávce monitor rizika nejméně třikrát – poprvé ve větším časovém odstupu před odstávkou, kdy se připravuje její plán, podruhé pro prověření plánu v kratším odstupu před odstávkou a nakonec po odstávce, pro zhodnocení jejího skutečného průběhu, který málokdy bezvýhradně odpovídá plánu. Ve všech případech je cílem identifikovat špičky znatelného nárůstu rizika a odhalit a odstranit jejich příčiny. V praxi bývá často příčinou vzniku špiček velikosti rizika pro danou odstávku příliš těsný plán, kdy se z důvodu úspory času zvažuje možnost

údržby širšího souboru zařízení. Monitor rizika prověří, zda taková varianta zkracující odstávku a zvyšující produkci není v rozporu s požadavky na bezpečnost.

Speciálním, novátorským případem využití monitoru rizika jsou projekty on-line údržby, kdy se vybrané zařízení udržuje namísto odstávky při běžném provozu JE s cílem ekonomicky výhodného zkrácení odstávky. Povolení k takovéto provozní změně je nutné podpořit analýzou rizika a prokázáním jeho zanedbatelného nárůstu, a doprovodit dalším organizačním opatřením, kdy je při jakékoli poruše zařízení v období on-line údržby je vliv poruchy okamžitě kvantifikován a pokud by došlo k výraznějšímu nárůstu rizika, je on-line údržba co nejrychleji přerušena nebo ukončena.

Reálný příklad vývoje okamžitého rizika během odstávky je uveden na obrázku 2. Modrá křivka reprezentuje odhad úrovně rizika během celé odstávky, červená křivka pak reálný vývoj rizika během odstávky, tak, jak byl učiněn po odstávce. Z obrázku je dobře vidět, že posun mezi odhadem a skutečností je dán řádově denními korekcemi termínů údržby jednotlivých zařízení, což je na tak složité udržované technologii, jako je jaderně-energetický blok, zcela běžný a akceptovatelný jev. Oblast „bez“ rizika uprostřed časové osy reprezentuje střední část odstávky s úplným vyvezením paliva z aktivní zóny reaktoru (když není v reaktoru jaderné palivo, nemůže dojít k havarijnímu scénáři spojenému s jeho poškozením).



Obr. 2. Plánovaný a skutečný profil rizika během konkrétní odstávky reaktoru VVER.

LITERATURA

- [1] IAEA. *Design of nuclear power plants*. <https://www.iaea.org/topics/design>
- [2] SÚJB. *Vyhláška č. 162/2017 Sb., požadavcích na hodnocení bezpečnosti podle Atomového zákona*.
- [3] SÚJB. *Využití PSA v rizikově orientovaném rozhodování při hodnocení trvalých i dočasných změn LaP a hodnocení adekvátnosti LaP, Bezpečnostní návod BN-JB-2.7*. Praha: SUJB 2018.

NASAZOVÁNÍ NOVÝCH TECHNOLOGIÍ A OPATŘENÍ NA ROZHŘANÍ ČLOVĚK – STROJ KE ZMÍRNĚNÍ RIZIK V PROSTŘEDÍ DRÁŽNÍ DOPRAVY

DEPLOYMENT OF NEW TECHNOLOGIES AND MEASURES AT THE HUMAN-MACHINE INTERFACE TO MITIGATE RISKS IN THE RAIL TRANSPORT ENVIRONMENT

Peter Hrmel

VŠB TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Ostrava, phrmel@seznam.cz

Abstrakt: Příspěvek je reakcí na zhoršující se trendy vývoje bezpečnosti železniční dopravy a zabývá se problematikou snižování rizik selhání lidského činitele, které bývá v praxi příčinou mnoha závažných nehod s dopady na životy a zdraví osob nebo velké materiální škody. Cílem článku je poukázat na potřebu eliminace vlivu lidského faktoru úpravou rozhraní člověk-stroj v běžné provozní praxi a zavádění automatizovaných bezpečnostních úprav. Součástí zpracování je náhled do problematiky možné odezvy na vznik nehodového děje v podobě lidské obsluhy nebo automatizovaného systému u vybraných mimořádných událostí posledních let. Autor se zabývá i možnými negativními dopady automatizace do provozu při stávající úrovni zabezpečení drážní dopravy a možnostmi využití nově zaváděných bezpečnostních systémů na půdorysu Evropské unie.

Klíčová slova: Drážní doprava; riziko; nehoda; lidský činitel; mimořádná událost.

Abstract: The paper is a response to the deteriorating trends in railway safety and deals with the issue of reducing the risks of human error, which in practice is the cause of many serious accidents with impacts on human lives and health or major property damage. The aim of the article is to point out the need to eliminate the influence of the human factor by modifying the human-machine interface in common operating practice and the introduction of automated safety modifications. Part of the processing is an insight into the issue of possible response to the occurrence of an accident in the form of human operation or an automated system for selected emergencies in recent years. The author also deals with the possible negative effects of automation into operation at the current level of rail transport security and the possibilities of using newly introduced safety systems on the floor plan of the European Union.

Key words: Rail transport; risk; accident; human factor; extraordinary event.

1. ÚVOD

Převažující oblastí drážní dopravy v České republice je doprava železniční, splňující kritéria klíčového dopravního odvětví pro zabezpečení přepravy osob a nákladní přepravu k zásobení průmyslových podniků země. Zejména logistika výrobních podniků je závislá na dostupné a dobře fungující drážní dopravě, která je schopná pokrýt potřeby zásobování a dopravní obslužnosti jednotlivých segmentů výrobního procesu. Podstatným hlediskem při výběru způsobu a druhu dopravy je kromě schopnosti uspokojit potřeby zadavatele poptávky i bezpečnostní aspekt zvoleného způsobu dopravy. Všeobecně platí, že drážní doprava představuje vyšší bezpečnostní spolehlivost oproti jiným způsobům dopravy a tvoří komplexní spektrum dopravních služeb pro náročné odběratele a velkoobjemové dodávky nebo dopravní služby.

Cílem příspěvku je v návaznosti na vývoj spolehlivosti lidského činitele v drážní dopravě diskutovat na téma ošetření rozhraní člověk – stroj k dosažení vyšší bezpečnosti drážní dopravy a případné nežádoucí účinky některých přijatých opatření.

Bezpečnost železniční dopravy v České republice ovlivňuje více faktorů, které mohou být vzájemně propojeny a mají úzkou vazbu na kapacitu a výkonnost dopravní infrastruktury, použitou úroveň zabezpečovacího zařízení, typ organizace dopravního provozu a v neposlední řadě i na spolehlivost lidského činitele všech zúčastněných stran. U některých nehod na drážní infrastrukturu má riziko selhání lidského faktoru klíčový význam a je oprávněná snaha orgánů, které odpovídají za bezpečnost drážního provozu nebo provádějí odborný dohled a šetření vzniklých nehod, vydávat opatření ke snížení podílu lidského činitele na úroveň bezpečnosti procesu dopravního provozu [1]. Dalším faktorem mohou být technické stavební a fyzikální podmínky, na jejichž základě lze definovat potenciál možného nebezpečí, spočívající v jednotlivých traťových úsecích nebo železničních stanicích [2]. Úroveň zabezpečení jízd drážních vozidel v železničních stanicích a navazujících traťových úsecích má významnou roli při samotném organizování drážní dopravy a je určujícím pro řadu podmínek, které musí být splněny ve stanoveném čase a rozsahu, pracovníky provozovatele dráhy a pracovníky provozovatele drážní dopravy, případně třetími osobami [3].

2. METODOLOGIE

Príspevek je zpracován za použití následujících metod. Metodou *rešerše* je provedeno mapování stávajícího stavu problematiky, zejména legislativních východisek, které se rámcově dotýkají bezpečnosti drážní dopravy a nastavují legislativní mantinely oboru. Na několika místech příspěvku se objevuje *deskripce* systému a fungování drážní dopravy. Pro výčet zdrojů rizik je užitá metoda *klasifikace*, třídění z hlediska příslušnosti a následně vnitřní struktury vlastníka. Při představení vybraných mimořádných událostí je uplatněna *analýza* možného použití dotčených metod k ošetření rozhraní člověk - stroj.

3. REŠERŠE STÁVAJÍCÍHO STAVU

Česká republika (ČR) disponuje jednou z nejhustších sítí železnic na světě a zaujímá klíčovou pozici v zásobování průmyslových podniků a celé společnosti nezbytnými surovinami a dodávkami zboží a služeb. Bezpečnostní aspekty drážní dopravy jsou svázány legislativními východisky [4], které tvoří páteř bezpečnostního systému drah a jejichž základními dokumenty jsou:

Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách ve znění pozdějších předpisů, účinný od 1. 1. 1995, představuje výchozí dokument, z něhož vycházejí navazující dokumenty, prováděcí vyhlášky a další legislativa. Zákon o dráhách prodělal do dnešního dne 30 novelizací, korespondujících s vývojem v oboru drážní dopravy na území ČR v období přechodu od plánovitého řízení státem do podoby dnešního liberalizovaného odvětví se svobodným přístupem k provozované dopravní cestě všem subjektům, splňujícím předepsané podmínky. Zákon o dráhách definuje základní pojmy v drážní dopravě, základní vztahy, povinnosti a postupy ve vztahu k existenci, ochraně, provozování a užívání dráhy [4].

Vyhláška Ministerstva dopravy České republiky č. 17/1995SB., kterou se vydává **dopravní řád drah**, ve znění pozdějších předpisů, je zpřesňující dokument, stanovující základní pravidla pro obsluhu dráhy, provozování dráhy a drážní dopravy. Vyhláška rovněž definuje pojmy neobsažené v zákonu o dráhách, které se vztahují k zabezpečení dopravního provozu a přístupu na dopravní cestu dráhy [4].

Směrnice o bezpečnosti železnic je dokument na půdorysu EU, známý jako Směrnice Evropského parlamentu a rady č. 49 ze dne 29. dubna 2004 o bezpečnosti železnic Společenství a změně směrnice Rady 95/18/ES o vydávání licencí železničním podnikům a směrnice 2001/14/ES o přidělování kapacity železniční infrastruktury, zpoplatnění železniční

infrastruktury a o vydávání osvědčení o bezpečnosti, je zaměřen především na harmonizaci podmínek členských států při zajišťování a zvyšování bezpečnosti železniční dopravy, tvorby legislativy a opatření k eliminaci a šetření mimořádných událostí. Cílem směrnice je definování bezpečnostních metod, ukazatelů a cílů pro všechny unijní železniční podniky [5].

Směrnice o železniční přepravě nebezpečných věcí je dokument s plným názvem Regulations Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail, uváděný ve zkratce RID, tvořící přílohu C v Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě, v originále Convention concerning International Carriage by Rail (COTIV), představuje hlavní legislativní východisko pro prevenci závažných havárií v železniční dopravě. Směrnice obsahuje závazná ustanovení pro přepravu, používané obaly, označování a další nakládání s nebezpečnými chemickými látkami, zakládá povinnosti zúčastněných stran v dopravním procesu a ukládá zpracování bezpečnostních plánů zúčastněných železničním správám a jimi řízeným nižším organizačním složkám [4].

Bezpečnostní plán Správy železnic pro přepravu vysoce nebezpečných věcí. Jedná se dokument provozovatele dráhy, vydaný na základě požadavků směrnice RID, vztahný k železniční přepravě vysoce nebezpečných věcí. Účelem je zabezpečení nebezpečných přeprav proti zneužití třetími osobami, vzniku mimořádných událostí a zvýšení bezpečnosti samotných přeprav. Bezpečnostní plán definuje základní rizika při přepravě a opatření pro jejich snižování. Ukládá nižším organizačním složkám vypracovat bezpečnostní plány těchto složek [4].

Vyhláška č. 376/2006 Sb., o systému bezpečnosti provozování dráhy a drážní dopravy a postupech při vzniku mimořádných událostí na dráhách, ve znění pozdějších předpisů, definuje hlavní náležitosti a základní pojmy systému zajišťování bezpečnosti provozování dráhy a drážní dopravy [4]. Upravuje postupy při vzniku mimořádných událostí na železnici, způsob a rozsah jejich ohlašování, základní opatření v místě nehody a způsob a postupy šetření událostí.

K zabezpečení chodu drážní dopravy se v historickém kontextu vyvíjela oblast legislativních a normativních parametrů, upravujících podmínky zabezpečení provozování dráhy, provozování drážní dopravy, zabezpečení provozuschopnosti dráhy, obslužných funkcí a služeb. Vyjmenovaný výčet představuje pouze reprezentativní vzorek dokumentů vztahných k drážní dopravě.

4. DESKRIPTIVE VYBRANÝCH POJMŮ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

Česká republika (ČR) disponuje dráhami s různou úrovní zabezpečení a z toho vyplývající mírou podílu odpovědnosti lidského činitele za bezpečnost drážní dopravy. Převažujícím trendem posledních let je maximalizace investic do modernizace zabezpečení jízdních cest, směřující k celkově vyšší bezpečnosti drážní dopravy, v souladu s požadavky Evropské unie (EU) a Evropské agentury pro železnice (ERA), která vznikla v roce 2004 a má v prostoru EU řídicí a koordináční úkoly v oboru železniční dopravy a interoperability evropského systému řízení železničního provozu, harmonizace podmínek bezpečnosti a technických norem na půdě evropských železnic [6].

V souvislosti se schopností převážet velké objemy nejrůznějších substrátů a zboží a zabezpečit relativně plynulé zásobování řady průmyslových podniků, má železnice v České republice nezastupitelnou roli. K zajištění bezpečného a plynulého provozu drážní infrastruktury je vytvořeno legislativní prostředí, které přesně stanovuje všechny potřebné povinnosti, technologické postupy a veškerá další související opatření. V historickém kontextu se v oboru železniční dopravy vypracoval systém interních předpisů, vycházejících ze státní a evropské legislativy, pokrývající všechny oblasti související s organizováním drážní dopravy, respektujícím požadavky na bezpečnost a plynulost drážního provozu. Železniční doprava představuje specifické prostředí s výskytem pojmů vyžadujících bližší definici:

Nedovolená jízda drážního vozidla za návěstidlo zakazující jízdu je projetí návěstidla zakazujícího jízdu a

- ohrožení dovolené jízdy jiného drážního vozidla,
- bez ohrožení jízdy jiného drážního vozidla. Za projetí návěstidla se nepovažují případy, kdy vozidlo bez připojené trakční jednotky nebo vlak bez obsluhy projedou návěstidla zakazující jízdu, nebo případy, kdy z jakéhokoli důvodu není návěst změněna na zákaz jízdy včas tak, aby mohl strojvedoucí vlak před návěstidlem zastavit [7].

Projetím návěstidla se rozumí projetí:

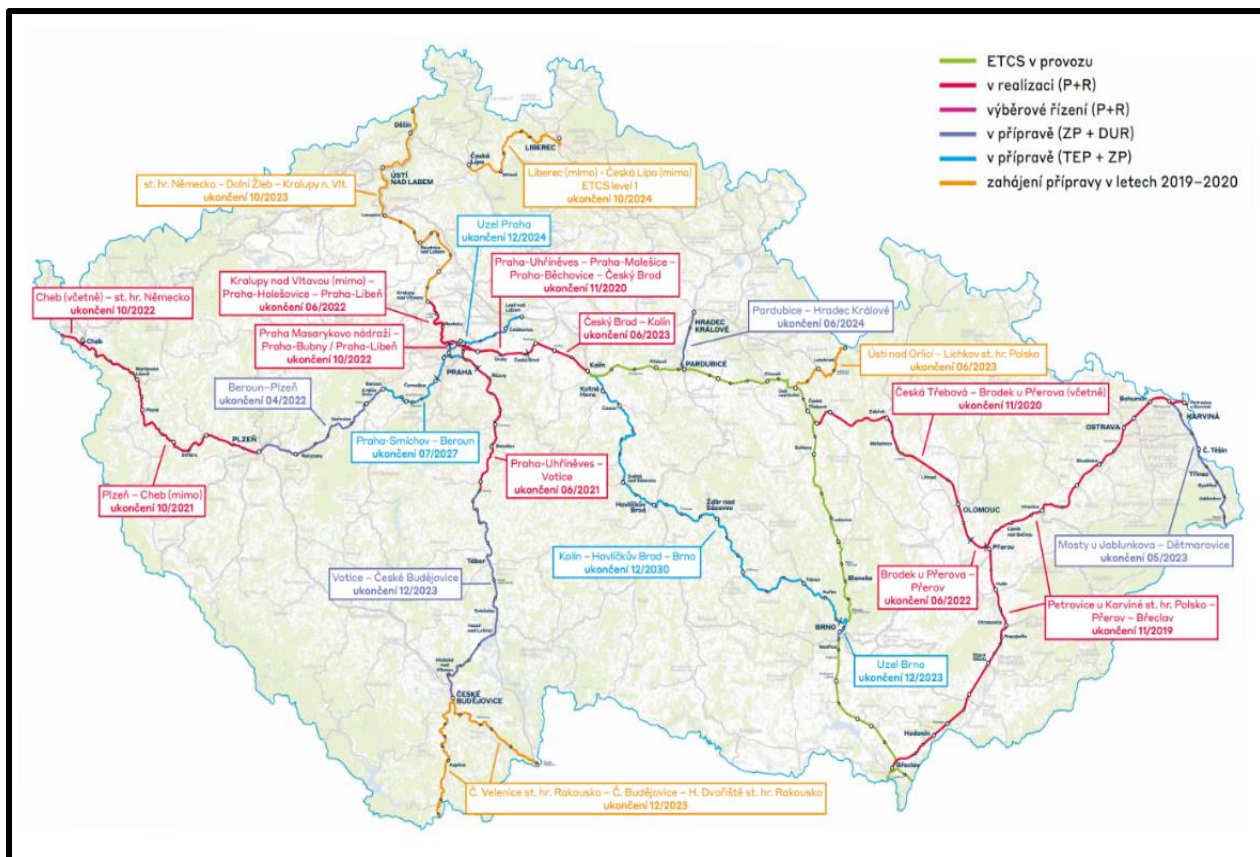
- traťové světelné návěsti nebo návěstidla zakazujícího jízdu nebo návěsti „Stůj“ v případě, kdy nefunguje vlakový zabezpečovač,
- konce bezpečného úseku dopravní cesty stanoveného vlakovým zabezpečovačem,
- místa oznámeného ústně nebo písemně v souladu s vnitřními předpisy,
- ostatních návěstidel (kromě zarážedel) nebo ručních návěstí zakazujících jízdu [7].

Kolejový obvod je soubor zařízení, který vyhodnocuje volnost a obsazení dané části kolejiště. Spolupracuje se zabezpečovacím zařízením, které tímto zjišťuje pohyb železničních vozidel a na základě těchto informací zabezpečuje provoz v dopravnách, na tratích, přejezdech apod. Na správné funkci kolejových obvodů závisí bezpečnost dopravy, a proto je spolehlivost tohoto zařízení klíčová. Postupem času se vyvinuly různé typy kolejových obvodů specializované k součinnosti s dotčeným typem zabezpečovacího zařízení [8,9].

Počítač náprav je technické zařízení nové generace, které umožňuje sledovat volnost a obsazení dotčeného úseku. Pracuje na principu načtení počtu náprav do sledovaného úseku vstupujícího ve vstupním bodě a odečtení počtu náprav ze sledovaného úseku vystupujícího v bodě výstupním. V případě nulového rozdílu počtů je kolejový úsek vyhodnocen jako volný. Počítač náprav bývá považován za levnější náhražku kolejového obvodu a je schopen sledovat i několik kilometrů dlouhý úsek. Toto zařízení na rozdíl od kolejového obvodu nedetekuje celistvost kolejnice a bývá nasazováno na méně výkonných a vedlejších tratích [9]. Pro účely nasazení automatizovaných systémů zastavení vlaku lze počítač náprav a kolejový obvod považovat za obdobné.

Námezník je nepřenositelné návěstidlo pro stanovení hranice mezi dvěma kolejemi, přes kterou nesmí přesahovat vozidlo, aby nebyla ohrožena jízda vozidel po sousední koleji. Je tvořen bílým trámecem se dvěma příčnými černými pruhy a je umístěn v kolejišti kolmo k ose kolejí, před jejich souběhem ve výhybce [3]-

ERTMS – European Rail Traffic Management System představuje systém umožňující vysokou interoperabilitu v rámci EU i u nečlenských zemí. Z hlediska schopnosti vyhodnocení nežádoucího stavu v drážní dopravě se jeví jako nejúčinnější prostředek k zajištění komplexní bezpečnosti železniční dopravy. V současné době se nachází v režimu budování a postupné aktivace jednotlivých prvků systému v kolejišti a na hnacích drážních vozidlech a v prostředí drážní dopravy v ČR probíhá zkušební provoz s prvními dopravci. V rámci EU je odsouhlasený přesný harmonogram budování a nasazení systému ERTMC a je patrný z obrázku 1 [10]. Jednotlivé řídicí jednotky vlaků budou vysílat svému okolí, tedy pevným traťovým zařízením a ostatním mobilním řídicím jednotkám na vlcích informace o směru, rychlosti a trase pohybu a existují předpoklady sdílení dalších potřebných informací. Ty budou průběžně vyhodnocovány a zařízení bude následně nejen zaznamenávat nedovolenou jízdu za návěstidlo zakazující jízdu a tuto interpretovat svému okolí včetně ovlivnění jízd případných kolizních drážních vozidel, ale bude zároveň schopno na základě dynamických vlastností předmětného vlaku takováto rizika predikovat ještě před faktickým projetím návěstidla [11].



Obr. 1. Plán pokrytí železniční sítě systémem ETCS do roku 2024 [10].

5. ZDROJE RIZIK V DRÁŽNÍ DOPRAVĚ

Při hodnocení rizik drážní dopravy se setkáváme s celou řadou náhledů na třídění zdrojů rizik. Jednotlivá hlediska třídění zdrojů rizik zpravidla vyplývají z pohledu na původ posuzovaných rizik. Tato jsou následně členěna do několika množin a podmnožin rizik, v závislosti na úhlu pohledu autora na danou problematiku. Pohlédneme-li na rizika drážní dopravy v kontextu oblastí odpovědností subjektů (vlastníků rizik), můžeme se dopracovat členění, uvedené v tabulce 1. Rovněž i následné podmnožiny zdrojů rizik do určité míry zohledňují uspořádání vnitřní struktury subjektů dráhy (vlastníků rizik) [12].

Tabulka 1. Rozdělení zdrojů rizik dle vlastníků rizik [12].

Vlastník rizik	Jednotlivé zdroje rizik
Provozovatel dráhy	<p>Poruchy nebo poškození trakčního vedení. Závady napájení trakčního proudové soustavy. Závady celistvosti a geometrické polohy kolejí železničního svršku. Mechanické závady výhybek, kolejových křižovatek a výkolejek. Poruchy staničních zabezpečovacích zařízení. Poruchy traťových zabezpečovacích zařízení. Poruchy přejezdových zabezpečovacích zařízení. Poruchy sdělovacích systémů. Chyby lidského činitele provozovatele dráhy. Mimořádné události v důsledku závad zařízení nebo pracovníků provozovatele dráhy.</p>
Provozovatel drážní dopravy	<p>Závady hnacích a tažených drážních vozidel. Ložné závady nákladních vlaků. Závady způsobené zákazníky.</p>

	Kompenzace předchozího zpoždění vlaků. Nedodržení podmínek přístupu na dopravní cestu. Mimořádné události vlivem provozovatele drážní dopravy. Chyby lidského činitele provozovatele drážní dopravy.
Externí osoby a prostředí	Překážky v dopravní cestě dráhy. Požadavky na součinnost se složkami IZS. Události způsobené vlivem lidského faktoru třetích stran Mimořádné události a provozní mimořádnosti vlivem vnějšího prostředí.

Obecně platí, že mimořádné události a provozní mimořádnosti (MU) v drážní dopravě vznikají zejména vlivem těchto příčin:

- technický stav železničního svršku,
- selhání a poruchy zabezpečovacích systémů
- technický stav kolejových vozidel
- povětrnostní vlivy
- chyby lidského činitele
- překážky v průjezdném profilu dráhy
- vlivy vnějšího prostředí (události mimo dráhu, součinnost s IZS, teroristický čin)
- kombinované působení uvedených příčin.

Uvedené příčiny se v největší míře podílejí na vzniku mimořádných událostí v železniční dopravě. Kolize drážních vozidel, střetnutí s překážkami v dopravní cestě dráhy a podobné následky MU mají devastující účinky na konstrukci dráhy i železniční vozidla. Pokud jsou navíc přepravovány zásilky s nebezpečnými látkami, mohou tyto vlivem působení nebezpečných vlastností vyvolat mnohonásobné dopady takovýchto mimořádných událostí na osoby, majetek a životní prostředí. Toto členění ovšem nerozděluje příčiny rizik podle příslušnosti k účastníkům dopravního procesu a třetím stranám, které je z velké části uplatňováno i při analýze plnění platného grafikonu vlakové dopravy.

5.1. Mimořádné události v drážní dopravě

Vyhláška MD 376/2006 Sb., o systému bezpečnosti, vztahná k provozování dráhy a drážní dopravy, definuje mimořádné události v drážní dopravě (MU) jako „nehodu nebo incident, ke kterým došlo v souvislosti s provozováním drážní dopravy na dráze nebo pohybem drážního vozidla na dráze nebo v obvodu dráhy a které ohrožily nebo narušily [7]:

- bezpečnost dráhy nebo drážní dopravy,
- bezpečnost osob
- bezpečnou funkci staveb nebo zařízení, nebo
- životní prostředí.

5.2. Nedovolená jízda drážního vozidla

Vývoj v oblasti vzniku mimořádných událostí v drážní dopravě je poznamenán zjevnými posuny v četnosti některých typů nehod. Drážní inspekce ČR každoročně předkládá výčty tohoto vývoje a z některých čísel jednoznačně vyplývá nepříliš příznivý trend. Zatímco ubývá případů najetí na překážku v dopravní cestě dráhy, zejména způsobených spadlými stromy vlivem povětrnostních jevů, oblast spolehlivosti lidského činitele, způsobující určité typy MU, má naopak vzestupnou tendenci. Řada nehod s fatálními následky má prvotní příčinu v nerespektování pokynů dávaných návěstidly, zejména nedovolená jízda drážního vozidla za návěstidlo v poloze zakazující jízdu. Výsledná klasifikace těchto nehod se stanovuje po skončení vyšetřování a odpovídá konečné výši dopadů, základní členění uvádí tabulka 2 [7]. Vývoj v této oblasti má po

celou dobu evidence těchto nehod jednoznačně negativní trend a tento nebyl zvrácen ani v čase omezení dopravy za pandemie COVID 19 v roce 2020, tedy v době, kdy došlo k úbytku počtů nehod většiny ostatních kategorií. Celkový přehled vývoje v oblasti nedovolené jízdy za návěstidlo zakazující jízdu předkládá tabulka 3 [1,13].

Tabulka 2. Členění nehod dle dopadů [7].

Druh MU	Výše dopadů na chráněné zájmy
Vážná nehoda Kategorie A	Nehoda, způsobená srážkou nebo vykolejením drážních vozidel, jejímž následkem je smrt, újma na zdraví alespoň 5 osob nebo škoda velkého rozsahu podle trestního zákoníku na drážním vozidle, dráze nebo životním prostředí nebo jiná nehoda s obdobnými následky
Nehoda Kategorie B	Událost, jejímž následkem je smrt, újma na zdraví nebo jiná újma, značná škoda podle trestního zákoníku na drážním vozidle, dráze nebo životním prostředí nebo jiná nehoda s obdobnými následky
Incident Kategorie C	Jiná událost, jejímž následkem je menší újma než u vážné nehody a nehody

Tabulka 3 Vývoj a dopady nedovolených jízd drážních vozidel v letech 2009–2020 [1,13].

Rok	Počet případů	usmrceno	zranění	Celková škoda v Kč
2009	69	0	60	29 414 169
2010	86	0	0	10 305 685
2011	86	0	12	52 830 494
2012	88	0	0	5 153 839
2013	83	0	0	1 611 519
2014	91	0	1	21 505 651
2015	92	0	4	131 024 330
2016	122	0	2	11 483 456
2017	127	0	33	115 817 270
2018	148	0	22	30 179 171
2019	149	0	23	11 544 011
2020	153	0	22	31 683 269

Detailní rozbor všech případů ukazuje, že většina případů nedovolených jízd je zapříčiněna okamžitou nepozorností obsluhy a většina strojvedoucích si pochybení uvědomila ještě před projetím samotného návěstidla a vyvinula intenzivní snahu situaci napravit. Z tohoto důvodu se u 41 % všech případů podařilo zastavit drážní vozidla do 40 metrů od úrovně předmětného návěstidla a naprostá většina projetých drážních vozidel zastavila do 400 metrů od návěstidla [1]. Ve společnosti ovšem nejvíce rezonují události, kdy dojde po obdobném selhání lidského činitele k usmrcení nebo zranění osob a vážným materiálním újmám

5.2. Lidský faktor v drážní dopravě

Ve všech oblastech členění rizik se objevuje vliv selhání lidského činitele. Odhadovaný podíl těchto selhání na celkové incidenci činí dle některých zdrojů [14] kolem 85–98 % všech případů. Při detailním zkoumání materiálů z vyšetřování železničních nehod v Austrálii byl vytvořen nástroj Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), sloužící k identifikaci selhání lidského faktoru v železniční dopravě nikoli jen při organizování a provozování drážní dopravy, ale i v technickém zabezpečení, oblasti údržby a monitoringu zařízení, procesní shody v managementu kvality, případně dodržování technologických postupů výroby, obsluhy, údržby, návodů k použití, a podobně. Výsledky prokázaly mnohonásobně vyšší význam selhání lidského činitele, než bylo původně odhadováno a jeho zastoupení ve všech oblastech drážní dopravy.

5.3. Faktory ovlivňující práci obsluhy

Pro efektivní prevenci rizik selhání lidského činitele je potřeba pracovat s faktory, které významně ovlivňují práci pracovníka v pracovním procesu. Vzhledem k faktu, že se spolehlivost lidského činitele dává obecně do souvislosti se spolehlivostí obsluhy v jaderné elektrárně, lze si pod pojmem „obsluha“ představit jakéhokoli zúčastněného zaměstnance zúčastněné firmy, který může v kritickém okamžiku selhat s následkem fatálních dopadů na osoby a chráněné zájmy. V dotčeném kontextu prostředí železniční dopravy může obsluhu představovat traťový dispečer řídící provoz na určitém traťovém úseku nebo strojvedoucí ovládající jízdní parametry jednotlivého vlaku. Mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující práci obsluhy lze zařadit [15]:

- dostupný čas,
- stres a stresory,
- složitost úkolu,
- zkušenost a trénink,
- procedurální podpora,
- ergonomie a rozhraní člověk – stroj,
- pracovní postupy.

V jednotlivých případech selhání lidského faktoru lze snadno dosadit, dle vývoje nehodového děje, stav jednotlivých faktorů: Následně lze analyzovat možné příčiny selhání lidského činitele, případně stanovit možná opatření, vedoucí k nápravě nežádoucího stavu.

6. VYBRANÉ MOŽNOSTI OŠETŘENÍ RIZIK NEDOVOLENÉ JÍZDY

Po každé dopravní nehodě dochází k šetření a vypracování možných opatření k nápravě nebo prevenci v úvahu přicházejících rizik. Zároveň se objevují nejrůznější teze, co mělo být učiněno, aby k proběhlé nehodě nedošlo. Zejména u nedovolených jízd drážního vozidla za návěstidlo zakazující jízdu je prioritní okamžité zastavení pohybu drážního vozidla předmětného vlaku a následně i všech jízd vlaků v okolí MU, jejichž jízdní cesta může být ohrožena vzniklou MU. K tomuto účelu může být použito:

1. Individuální spojení telekomunikačním zařízením.
2. Selektivní zastavení drážních vozidel v ohrožených jízdních cestách.
3. Funkce „Generální STOP“ komunikačního systému.
4. Automatické zastavování provozu prostřednictvím zabezpečovacího zařízení.
5. Programované zastavení vlaků prostřednictvím ERTMS.

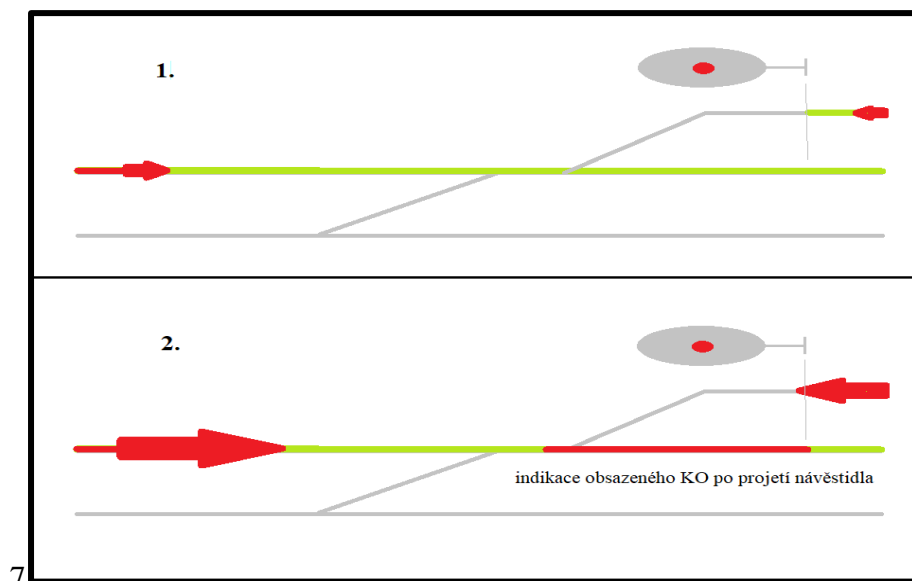
6.1. Reakce obsluhy při zjištění vzniku nehodového děje

Individuální spojení telekomunikačním zařízením je použitelné za všech rizik, Nevýhodou tohoto způsobu eliminace je nízká rychlost navázání spojení a závislost na reakci lidského činitele provozovatele dráhy.

Obdobně se jeví selektivní volba na komunikačním systému k zastavení vlaku. Tento způsob je rovněž závislý na rychlosti reakce lidského činitele provozovatele dráhy a správném nastavení komunikačního zařízení lidským faktorem provozovatele drážní dopravy.

Jedním z možných způsobů zastavení provozu je použití funkce „Generální STOP“ v aktuálně prioritním komunikačním systému jiným lidským činitelem. To ve svém důsledku předpokládá vysokou úroveň bdělosti pracovníků obsluhy se schopností rychlé, včasné, přesné a účinné reakce na fakt, že provozní děj nese symptomy děje nehodového.

V případech projetí návěstidla zakazující jízdu je potřeba neprodleně zastavit dopravní provoz alespoň v rozsahu, který vytváří riziko možné kolize s nedovoleně jedoucími drážními vozidly. Výše uvedené případy představují závislost reakce na bdělosti lidského činitele provozovatele dráhy. Při obsazení kolejových obvodů po nedovolené jízdě vlaku za návěstidlo má navíc obsluha ztíženou roli z hlediska rozpoznání příčin indikace obsazeného kolejového obvodu, která zejména u výhybkových obvodů indikuje polohu výměny dle její skutečné polohy, přestože nedovoleně jedoucí vlak obsadí kolejový obvod z větve, ze které aktuálně není postavena a zajištěna jízdní cesta. Na obrázku 2 je znázorněna indikace obsazení kolejového obvodu po projetí úrovň návěstidla.



Obr. 5. Indikace obsazení kolejového obvodu při nedovolené jízdě vlaku.

Obsluha tuto indikaci zpravidla primárně vyhodnocuje jako obsazený kolejový obvod vlivem poruchového stavu a možnost nedovolené jízdy vlaku je zřejmá až po ztrátě kontroly polohy výměny, při jejím násilném přestavení jedoucími drážními vozidly. V tomto případě se od okamžiku projetí návěstidla v poloze zakazující jízdu jedná o ohrožení již postavené jízdní cesty a událost je v souladu s vyhláškou 376/2006 Sb. o systému bezpečnosti při provozování dráhy, šetřena jako mimořádná událost v drážní dopravě [7].

Obsluhující zaměstnanec má v okamžiku projetí návěstidla a za předpokladu okamžité reakce, minimální čas na provedení jakéhokoli úkonu vedoucího k zastavení provozu, které je účinné a bez dopadů za předpokladu, že po projetí návěstidla bude vlak bezpečně zastaven před prvním kolizním bodem. Za kolizní bod lze považovat např. úroveň námezdníku výměny, kde dojde k vjetí do průjezdného profilu ohrožené jízdní cesty nebo za námezdník výměny, která není přestavena do polohy pro tuto jízdu a lze předpokládat její násilné přestavení. Bezpečné zastavení drážního vozidla je možné, pokud bude vzdálenost od okamžiku započetí brzdění ke koliznímu bodu větší než brzdná dráha zastavovaného vlaku. Proto je žádoucí, aby obsluha učinila kroky k zastavení provozu neprodleně po zjištění, že probíhá nehodový děj.

Při plnění si běžných povinností spojených s organizováním drážní dopravy dochází velmi často ke stavům, kdy pracovník obsluhy musí řešit jiné, neméně důležité provozní úkony spojené s pracovními povinnostmi a reakce na zjištění nehodového děje započne s určitým zpožděním, které může mít za následek vznik nebo navýšení dopadů mimořádné události. Tyto důvody vedou k zavádění nástaveb zabezpečovacího zařízení, které spustí proces zastavení provozu při identifikaci nestandardního průběhu provozního děje bez zbytečného prodloužení.

Typickým příkladem může být obsazení kolejového obvodu v zabezpečené jízdě, znázorněné na obrázku 2, které neodpovídá standardnímu průběhu a tím spuštěná aktivace zastavení provozu v určené oblasti, například prostřednictvím funkce „Generální Stop“ systému GSM-R nebo dříve vyvinutého traťového radiového systému.

6.2. Příklady MU po nedovolené jízdě drážního vozidla N1

Z velkého množství projetých návěstidel v poloze zakazující jízdu lze vybrat případy, na kterých lze dokumentovat potřebu ošetřit rozhraní člověk – stroj adekvátními způsoby, za účelem zvýšení bezpečnosti drážní dopravy a snížení podílu lidského činitele na vzniku těchto nehod. Některé z vybraných případů měly výrazný dopad na veřejné mínění a průběh jejich šetření vyvolával otázky zavedení automatizovaného systému zastavení provozu v ohrožených kolizních bodech, případně v celých opravných nebo traťových úsecích. Mezi laickou i odbornou veřejností se do popředí dostávají otázky schopnosti lidského činitele adekvátně a účinně reagovat na selhání jiného lidského činitele, případně tuto problematiku zastřešit nějakou formou automatizace. Naproti tomu šetření některých MU jsou uzavřeny bez dopadů, které jsou nulové jen díky souhře šťastných náhod a okolností.

6.2.1. Nedovolená jízda DV v Jablonném nad Orlicí

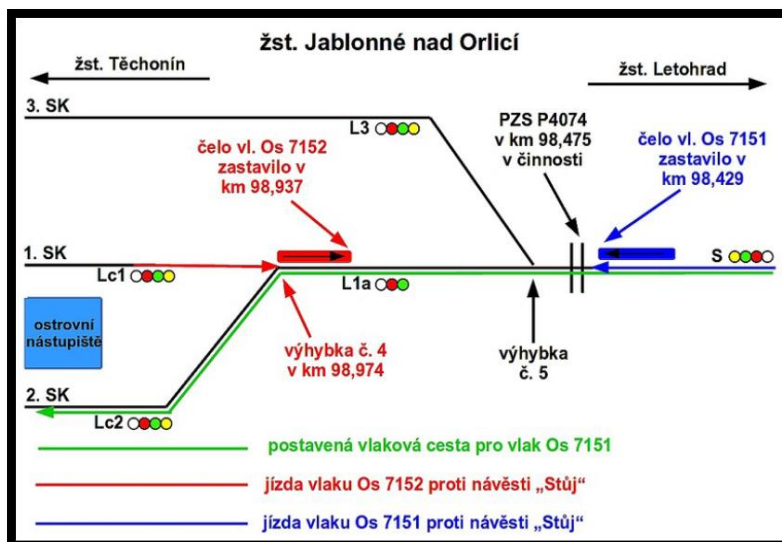
Dne 2. 7. 2020 v 7:12 hodin. Za jízdy vlaku Os 7151, který měl postavenou jízdě cestu od Letohradu na staniční kolej č. 2, došlo k projetí vlakem Os 7152 návěstidlo Lc1 z 1. staniční koleje a násilné přestavení výměny č. v km 98,937 a zastavení na této výměně. U vlaku Os 7151 došlo ke změně návěstního znaku na návěstidlo S na stůj, došlo k jeho projetí a zastavení na záhlaví stanice v km 98,429. Bez dopadů na životy a zdraví osob, hmotné škody minimální; obrázek 3 [16].

Chronologie nehodového děje ukazuje na souhru šťastných náhod, které děj provázely:

- uvědomění si nedovolené jízdy strojvedoucím vlaku Os 7152,
- projetí návěstidla Lc1 v čase, kdy došlo k ovlivnění návěstidla S a jeho zpozorování strojvedoucím vlaku Os 7151,
- nízká vjezdová rychlost vlaku Os 7151 vzhledem k pravidelnému zastavování vlaku ve stanici a navěštěné vjezdové rychlosti 40 km/hod.

Stanice Jablonné nad Orlicí je vybavena zařízením elektronickým stavědlem ESA 11 obsluhovaným dálkově z Centrálního dispečerského pracoviště v Praze. Je zjevné, že vjíždějící vlak zaregistroval přestavení vjezdového návěstidla na návěst zakazující jízdu a použil neprodleně rychločinné brzdění, které ve spojení s nízkou rychlostí na vjezdovém zhlaví, pomohlo k zastavení vlaku bez dalších dopadů na chráněné zájmy.

V případě, že by došlo k projetí návěstidla vlakem Os 7152 až po minutí vjezdového návěstidla vlakem Os 7151, byla by pravděpodobnost vzniku dalších dopadů přímo úměrná době, za kterou by strojvedoucí Os 7151 zpozoroval vznik nehodového děje. I v tomto případě se jeví systém ERTMS se subsystemy ETCS a GSM-R jako nejspolehlivější.



Obr. 3. Situační schéma nehody v Jablonném v Podještědí [16].

6.2.3. Srážka vlaků v Němčicích nad Hanou

Dne 31. 7. 2021 ve 13:28 hodin se v Němčicích nad Hanou srazil lokomotivní vlak jedoucí z Havlíčkova Brodu do Ostravy s osobním vlakem jedoucím z Olomouce do Nezamyslic. V důsledku srážky vykolejily dva vozy osobního vlaku a byly zraněny dvě osoby (strojvedoucí a cestující). Na místě mimořádné události byly škody odhadnuty celkem na 10,3 milionu korun (3 mil. osobní vlak, 5 mil. lokomotiva, 2,3 mil. trať). Dosud probíhá šetření okolností nehody [17]. V tomto případě zabránit střetnutí drážních vozidel je vzhledem k prostorovým dispozicím takřka nemožné. Lokomotivní vlak projel návěstidlo v poloze „Stůj“ umístěné v km 66,849 a kolizní bod se nachází v km 66,919. Lokomotivní vlak urazil 70 m od projetého návěstidla ke koliznímu bodu za dobu kratší než 20 sekund. Výpravčí stanice nemohl z indikace staničního zabezpečovacího zařízení vysledovat nehodový děj vzhledem ke skutečnosti, že kolejový obvod za projetým návěstidlem byl v čase projetí současně obsazen vjíždějícím osobním vlakem opačného směru. Stanice Němčice nad Hanou je vybavena zabezpečovacím zařízením typu TEST 14 s kolejovými obvody a je obsazena jedním pracovníkem na pozici výpravčí. Chronologie obsazení jednotlivých kolejových obvodů v jízdní cestě odpovídala jízdě vlaku a nastalé dopady by nemohly být zmírněny ani instalací automatického zařízení k zastavení provozu na základě nekorektně se obsazujících kolejových obvodů. V případě vybavení dotčené tratě a drážních vozidel systémem ETCS by mohla interní komunikace pevných a mobilních částí systému predikovat nekorektní jízdu lokomotivního vlaku s projetím návěstidla, spustit proces zastavení provozu v čase před samotným okamžikem projetí a zmírnit tak dopady pravděpodobného selhání lidského činitele.

6.2.4. Srážka vlaků u obce Milavče na Domažlicku N2

Z pohledu dopadů patří k nejtragičtějším nehodám na železnici v posledních letech. K události došlo dne 4. 8. 2021 kolem osmé hodiny ranní u obce Milavče na Domažlicku a zemřeli při ní 3 lidé a 67 bylo zraněno. Podle prvních zjištění nehodu způsobil zřejmě mezinárodní expres, který vjel na úsek bez povolení. Osobní vlak „RegioShark“ náraz odrazil desítky metrů od místa srážky. Mohlo jít o chybu strojvedoucího nebo závadu techniky. Materiální škody přesáhnou 100 milionů korun. Kriminálníisté zahájili trestní řízení pro podezření ze spáchání trestného činu obecné ohrožení z nedbalosti a stejně jako Drážní inspekce událost dále vyšetřují. Bez ohledu

na výsledky šetření a stanovení skutečných příčin lze alespoň teoreticky pohlédnout rovnou na možnou prevenci v duchu potřebné eliminace dopadů na minimum.

Vzhledem k místu kolizního bodu, které bylo vzdáleno od projetého návěstidla zhruba na vzdálenost 200 metrů, nelze očekávat za situace, kdy expresní vlak stanicí projede nejvyšší dovolenou rychlostí, tedy když se nerozjíždí po zastavení ve stanici, účinnost kterékoli z reakcí jiného lidského činitele obsluhy. V tomto případě by bylo možné očekávat jisté zmírnění dopadů od zařízení k automatickému zastavení provozu, pracující na bázi sledování nekorektního chování kolejových obvodů a spuštění rychločinného brzdění všech drážních vozidel v definovaném obvodu dle místních poměrů. V tomto případě by došlo k započetí procesu zastavování provozu ihned po projetí návěstidla v poloze zakazující jízdu.

Naproti tomu systém ERTMS je schopen pracovat a vyhodnocovat rychlostní parametry vlaku, který jím je vybaven a tyto informace poskytnou i pro účely predikce, že nehodový děj nepochybně nastane ještě před samotným projetím návěstidla [18].

7. ZÁVĚR

Automatické zastavení provozu z rozhraní člověk – stroj se jeví jako nejdokonalejší způsob ošetření selhání lidského faktoru, kdy k aktivaci brzdících sil dochází prakticky ihned po první indikaci nežádoucího vývoje v dopravním provozu. Automatizované zařízení je schopno reagovat na každý podnět okamžitě a odbourat ztrátové časy od vzniku nežádoucího stavu k jeho zaregistrování obsluhou a následné identifikace nehodového děje. Problematické může být i vyhodnocení vhodného způsobu zastavení provozu v prostředí, kde se nachází více možností, např. generální STOP, selektivní volba, radiostanice nebo vyhodnocení časových rezerv vzhledem k poloze drážních vozidel a kolizního bodu.

Lidská chyba je neodmyslitelně spjata se všemi oblastmi lidského konání a nelze jednoznačně tvrdit, že každé selhání lidského činitele musí být doprovázeno fatálními následky. Řada selhání končí více či méně uvědoměním si lidské chyby a možným případným efektem do budoucího jednání a bez dalších dopadů na zdraví osob nebo chráněné zájmy. Příklady selhání lidského činitele s následky lze nejlépe demonstrovat na již vzniklých a důkladně vyšetřených mimořádných událostech v drážní dopravě. Závěry vyšetřování těchto nehod zpravidla obsahují výčet příčin jejich vzniku a nejúčinnější možnosti prevence a ochranných opatření k předcházení možného opakování podobných případů. Z úrovně Drážní inspekce ČR, nezávislého národního orgánu pro odborné šetření příčin MU, dochází k uzavírání šetření jednotlivých nehod vydáním závěrečné zprávy a v případech, kdy to je účelné i stanovením bezpečnostních doporučení k zamezení rizika vzniku podobných případů [1].

Rizika selhání lidského faktoru lze optimalizovat a eliminovat vhodně uspořádaným rozhraním člověk – stroj. Nastavení tohoto rozhraní musí splňovat určitá kritéria, aby nedocházelo k nadlimitnímu zatížení psychiky osoby obsluhy, které může mít za následek zhoršení výkonu lidského činitele, případně zvýšení míry stresu, při výkonu služby. Člověk by měl rozhraní vnímat jako prostředí podporující jeho inteligenční potenciál a nezatěžující lidský výkon. Zároveň musí být kladen důraz na srozumitelnost a snadnou čitelnost automatizovaných úkonů umělé inteligence k posílení schopnosti reakce lidského činitele na vzniklou situaci. Rovněž je důležité věnovat pozornost použití informačních technologií a úpravě rozhraní člověk – stroj tak, aby nedocházelo k rutinnímu výkonu kritických činností při obsluze zabezpečovacích zařízení.

LITERATURA

- [1] DRÁŽNÍ INSPEKCE ČR. *Výroční zpráva 2020*, http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/VZ_2020_DI_fin.pdf
- [2] SLIVKOVÁ, S. Určování kritických prvků v oblasti železniční dopravy. *Disertační práce*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2018, 123 s.

- [3] SPRÁVA ŽELEZNIC. *D1 Dopravní a návěstní předpis*. <http://provoz.spravazeleznic.cz/portal/ViewArticle.aspx?oid=869998>
- [4] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. *Legislativa v drážní dopravě*. <https://mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Legislativa-v-drazni-doprave>
- [5] EUROPA.EU. *Eur-lex*. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/49/ES. Copyright © 2004. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0049&from=CS>
- [6] EUROPEAN UNION. *European Union Agency for Railways (ERA)*. https://europaeu/european-union/about-eu/agencies/era_cs
- [7] SPRÁVA ŽELEZNIC. *D17 Předpis pro hlášení a šetření mimořádných událostí*. <https://adoc.pub/7-praha-1-pedpis-pro-hlaeni-a-eteni-mimoadnych-udalosti.html>
- [8] CHUDÁČEK, V. a kol. *Detekce kolejových vozidel v železniční zabezpečovací technice*. 2021 ADOC.PUB All rights reserved. <https://adoc.pub/detekce-kolejovych-vozidel.html>
- [9] PAVLAS, J. *Zabezpečovací technika v dopravě. Projekt: Podpora přírodovědného a technického vzdělávání na středních školách v Jihomoravském kraji*. ISBN 978-80-88058-17-5. Brno. 2015. <https://publi.cz/books/191/Cover.html>
- [10] SPRÁVA ŽELEZNIC. *Proč ETCS*. Praha 2021. <https://www.spravazeleznic.cz/digitalizace/etcs/proc-etcs>
- [11] EUROPEAN UNION. *Mobility and Transport. ERTMS – What is ERTMS?* https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms/what-is-ertms_en
- [12] HRMEL, P. *Mimořádné události v drážní dopravě jako zdroj poznání rizik*. In: *Sborník příspěvků konference ExFoS 2020*. ISBN 978-80-214-5729-1. Brno: VUT Ústav soudního inženýrství v Brně 2020, pp.342-352. <http://exfos.cz/wp-content/uploads/2020/04/Sborn%C3%ADk-ExFoS-2020.pdf>
- [13] DRÁŽNÍ INSPEKCE ČR. *Výroční zpráva 2016*. http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/VZ_2016_DI_fin.pdf
- [14] BAYSARI, M., MCITOSH, A., WILSON, J. *Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia*-ScienceDirect. *ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books*. Elsevier Ltd. 2008. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457508001061>
- [15] TOMÁŠŮ, P. *Posouzení spolehlivosti lidského činitele v pracovním procesu systému řízení BOZP*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB TU Ostrava 2010, 64 s. <https://core.ac.uk/download/pdf/8981931.pdf>
- [16] DRÁŽNÍ INSPEKCE ČR. *Závěrečná zpráva o výsledcích šetření mimořádné události*, http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/MU/DI_Jablonne_200722.pdf
- [17] DRÁŽNÍ INSPEKCE ČR. *Krátké zprávy: Srážka vlaků v Němčicích nad Hanou*, <http://www.dicr.cz/srazka-vlaku-v-nemcicich-nad-hanou#article>
- [18] EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS. *European rail traffic management system*, https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en

ŘÍZENÍ BEZPEČNOSTI TECHNICKÝCH DĚL Z POHLEDU SYSTÉMU SYSTÉMŮ

SAFETY MANAGEMENT OF TECHNICAL FACILITIES FROM THE SYSTEM OF SYSTEMS POINT OF VIEW

Tomáš Kertis¹⁾, Dana Procházková²⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Konviktská 20, Praha 1

²⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, Praha 6

Abstrakt: Technická díla jsou složité systémy jejichž struktura je v současnosti popisována pomocí systémového inženýrství jako Systémy systémů (SoS), tj. množina nezávislých systémů, integrovaných do většího systému, který poskytuje unikátní služby. Proces řízení bezpečnosti složitých technických děl má vzhledem k uvedenému popisu jistá specifika, která jsou dána především vlastností, že čas od času dochází k výskytu náhlého neočekávaného jevu, který potřebuje včasnou detekci a eliminaci nepříznivého chování systémů. Z hlediska bezpečnosti je nutné zvažovat nouzové situace, které souvisí s výskytem škodlivých jevů, jako jsou selhání systému a ohrožení veřejných aktiv, tj. např. životy a zdraví lidí, jejich majetek, kritická infrastruktura. Předložené sdělení obsahuje základní definice a vlastnosti systému systémů, aspekty řízení jejich bezpečnosti, techniky pro snížení kritičnosti technických děl, tj. ke zvýšení jejich bezpečnosti. Práce obsahuje také výsledky pro systém pražského metra.

Klíčová slova: Systém systémů; emergence; řízení bezpečnost; kritičnost; technická díla.

Abstract: Technical facilities are complex systems, which structure is currently described using the system engineering as Systems of Systems (SoS) i.e., set of independent systems integrated into higher super ordinary system that provides the unique services. It follows that process of safety management of complex technical facilities has certain specific properties that are mainly implied by occurrence of sudden unexpected phenomena, which adjures timely detection and elimination of adversely behaviour of system. From the safety point of view, it is necessary to consider also emergency situations that are connected with dangerous events such as system failures and endangering the public assets i.e., e.g., human lives and health, their property, critical infrastructure. The present contribution contains the basic definitions and features of Systems of Systems, aspects of their safety management, techniques for decreasing the criticality of technical facilities i.e., increasing their safety. The work also contains the results the system of metro in Praha.

Key words: System of systems; emergency; safety management; criticality; technical facilities.

1. ÚVOD

Zajištění bezpečnosti technických děl je postupem času stále složitější a obtížnější úkol, protože dochází ke zvyšujícímu zavádění nových neozkoušených technologií a jejich propojování. Propojováním systémů vznikají tzv. složité (komplexní) systémy a nové funkce, které by za normálních okolností jednotlivých nepropojených systémů nevznikly, proto se jedná o takzvaný systém systémů (SoS) [1]. Proces řízení bezpečnosti složitých technických děl má vzhledem k uvedenému popisu jistá specifika, která jsou dána především vlastností, že čas od času dochází k výskytu náhlého neočekávaného jevu, který potřebuje včasnou detekci a eliminaci nepříznivého chování systémů. Z hlediska bezpečnosti je nutné zvažovat nouzové situace, které

souvisí s výskytem škodlivých jevů, jako jsou selhání systému a ohrožení veřejných aktiv, tj. např. životy a zdraví lidí, jejich majetek, kritická infrastruktura.

Při řízení bezpečnosti technických děl je nutné také počítat s aktivy, které zahrnují vazby a toky mezi systémy a subsystémy. Vazby a toky mohou za určitých podmínek vést k selhání systému, proto je nutné zahrnout vazby a toky v analýze aktiv a jejich kritičností a definovat pravidla pro práci s nimi [2]. Současné znalosti, metody a nástroje umožňují zajištění bezpečnosti systémů na jisté úrovni, ale z důvodu neustálého rozvíjení technologií, nároků na rozhraní mezi systémy i provozovanými komponentami se stále ukazuje, že existují nezajištěná místa. Oblast bezpečnosti a zabezpečení systémů se kvůli jejich složitosti vyznačuje prací s mnoha měkkými faktory, objekty a subjekty v rámci systému systémů (dále jen SoS). Z důvodu rozsahu a složitosti mnoha vnitřních propojení (interdependence [4]) ve studovaném objektu lze systém analyzovat pouze expertními a heuristickými metodami. Existuje mnoho metod a nástrojů systémové analýzy a inženýrství, ale neexistuje formalizovaný metodický postup pro stanovení kritičnosti jednotlivých prvků (aktiv) kritické infrastruktury, míry bezpečnosti a návrh opatření pro zvýšení bezpečnosti. Uvedenou problematikou pro drážní systémy se zaměřením na provoz metra se zaměřují především práce [1,2,4]. Předložená práce závěry předchozích výsledků zobecňuje a nabízí řešení pro zvýšení bezpečnosti technických děl v dalších oblastech, a to pomocí technik pro zvýšení znalosti systému systémů, posouzení kritičností a interpretaci výsledků pro ošetření slabých míst a primárních rizik technických děl.

2. SYSTÉMY SYSTÉMŮ (SOS), PROJEKTOVÉ A NAD-PROJEKTOVÉ JEVY, ŘÍZENÍ BEZPEČNOSTI SOS

Systém systémů (SoS) je v oblasti systémového inženýrství [5] definován jako množina nezávislých systémů, integrovaných do většího systému, který poskytuje unikátní služby. Nezávislé tzv. složkové (angl. constituent) systémy spolupracují na produkci globálního chování, které nemohou sami produkovat. V souladu se zdrojem [6] se klasické pojetí systému a SoS liší především v následujících elementech:

- **autonomie** – autonomie je vykonávána složkovými systémy, aby splnila účel globálního systému, tj. SoS,
- **příslušnost** – jednotlivé složkové systémy volí příslušnost dle poměru nákladů a přínosů, kvůli naplnění svého vlastního účelu a ve víře v supra-účel SoS; u klasického pojetí systému je příslušnost daná dle jejich povahy a nemůže ji svévolně změnit (např. jako člen jedné rodiny),
- **konektivita** – nespočetné možné propojení systémů a jejich částí pro zlepšení schopností SoS,
- **diverzita** – vyšší diverzita (rozmanitost) v schopnostech SoS dosažená pomocí autonomie různých složkových systémů, zaujaté příslušnosti a otevřené konektivity,
- **emergence** – v pojetí SoS má zvýšena záměrná nepředvídatelnost systému a vytvoření podmínek pro možnost emergence (tj. vzniku) zásadní význam ve smyslu negativním (vznik nepředvídatelných negativních událostí, pohrom) i pozitivním (včasná detekce a eliminace nepříznivého chování systémů).

Element emergence má zásadní vliv pro volbu metod pro práci se systémy, převaha metod exaktních pro klasické systémy, a převaha metod heuristických pro SoS, tj. včetně použití umělé inteligence (angl. Artificial Intelligence – AI), apod. SoS lze tedy chápat jako množinu otevřených vzájemně propojených systémů [7], dále složených z podsystémů a objektů (komponent) různých vlastností i jejich umístění. Vazby mezi subsystémy a objekty zajišťují potřebné funkce a chování celého SoS [8]. Vzájemné vazby a závislosti, tj. interdependence, jsou dle jejich

povahy fyzické, kybernetické, místní a logické [9]. Dále lze dle [1] interdependence SoS rozdělit na:

- žádané, které zlepšují vlastnosti systémů, zařízení a infrastruktur,
- nežádané:
 - za normálních a abnormálních podmínek: jsou ošetřené projektem dle požadavků legislativy [10],
 - za podmínek kritických (nad-projektových):
 - vedou ke ztrátám systému,
 - způsobují, že systémy řádně neplní svoje funkce,
 - způsobují, že systémy ohrožují sebe a své okolí.

Při zajištěných jistých podmínkách řešeního systému, lze dle [1] některé situace řešit exaktními metodami. Uvedené podmínky pro zajištění bezpečnosti jsou stanovené v projektu s ohledem na požadovanou životnost a kritičnost, v tomto případě hovoříme o projektových kritériích. V případě, že nastanou nepříznivé jevy, resp. nehody, po kterých nedojde k překročení projektových kritérií, resp. podmínek, jde o tzv. projektové jevy (nehody). Bezpečnost zasahuje především do oblastí mimo uvedené limity a podmínky systémů, tj. nad-projektové jevy, resp. havárie [1].

Pojmy projektové (angl. Design Basis Accident) a nad-projektové (angl. Beyond Design Basis Accident) nehody jsou například formálně definované Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) [11], ovšem jsou běžně používané i v dalších oblastech řízení bezpečnosti technických děl [10].

V moderním pojetí řízení bezpečnosti se pro složitá technická díla, tedy SoS, používá dvou principů, a to *All-Hazards-Approach* a zobecněná „ochrana do hloubky“ (angl. *Defence-In-Depth*) [1].

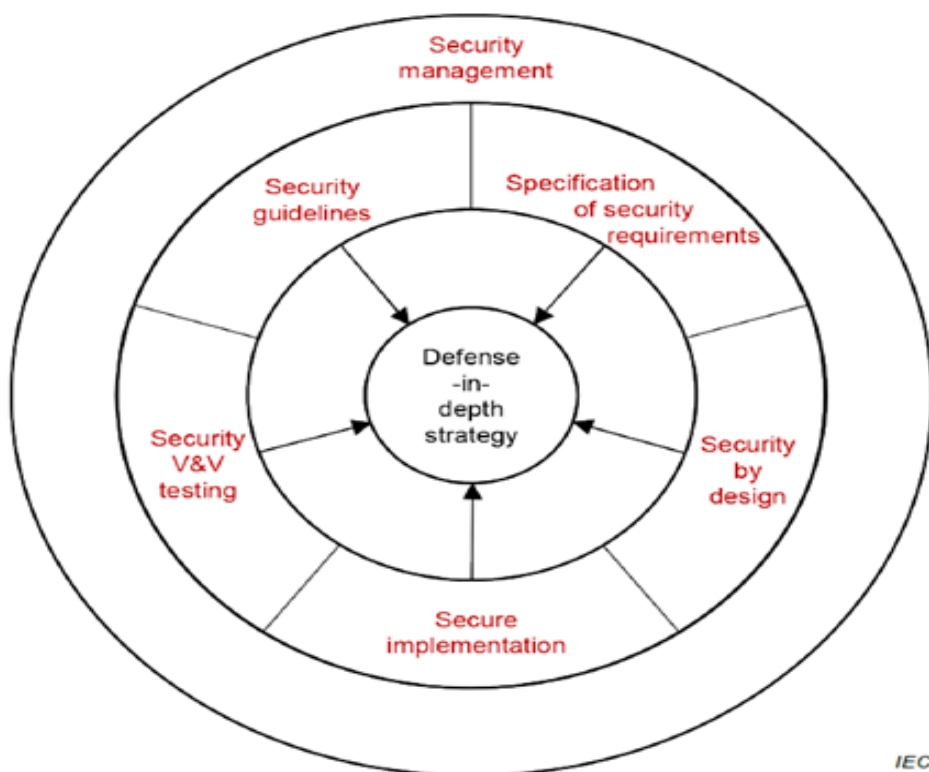
Přístup All-Hazard-Approach definovaný v [12] znamená zvažovat při řízení bezpečnosti všechny možné druhy pohrom, tj. jevů, které mohou způsobit škody, ztráty a újmy sledovaným aktivům, tj. lidem i příslušným entitám v daném území [13].

Přístup Defence-In-Depth (ochrana do hloubky) lze v obecné rovině chápat jako ochranu systému za pomoci opatření ve více vrstvách systému [1]. Na základě [11] Defence-In-Depth představuje komplexní přístup, který zajišťuje, že lidé i životní prostředí budou ochráněny i při kritických podmínkách v objektu. Přístup zahrnuje všechny činnosti zacílené na bezpečnost objektu i území, ve kterém se objekt nachází, a to počínaje umístěním, přes navrhování a projektování, výstavbu, konstrukci, uvedení do provozu, provoz a odstavení objektu z provozu. Pro zajištění bezpečného systému systémů se používají systémy bariér a režimová opatření [1].

Přístup Defence-In-Depth je známý také v kybernetice a zabezpečení řídicích systémů např. dle [14]; obrázek 1. Předmětný obrázek znázorňuje přístup Defence-In-Depth jako strategii pro řízení zabezpečení zahrnující následující oblasti:

- směrnice pro zabezpečení,
- specifikace požadavků na zabezpečení,
- zabezpečení pomocí návrhu (designu),
- zabezpečená implementace,
- verifikace a validace zabezpečení,
- strategie Defence-In-Depth.

Obecný koncept ochrany do hloubky pro technologické systémy byl definován v práci [15]. Obrázek 2 znázorňuje implementaci uvedeného modelu konkrétně pro drážní systém v kontextu s vyššími úrovněmi řízení dle [16].



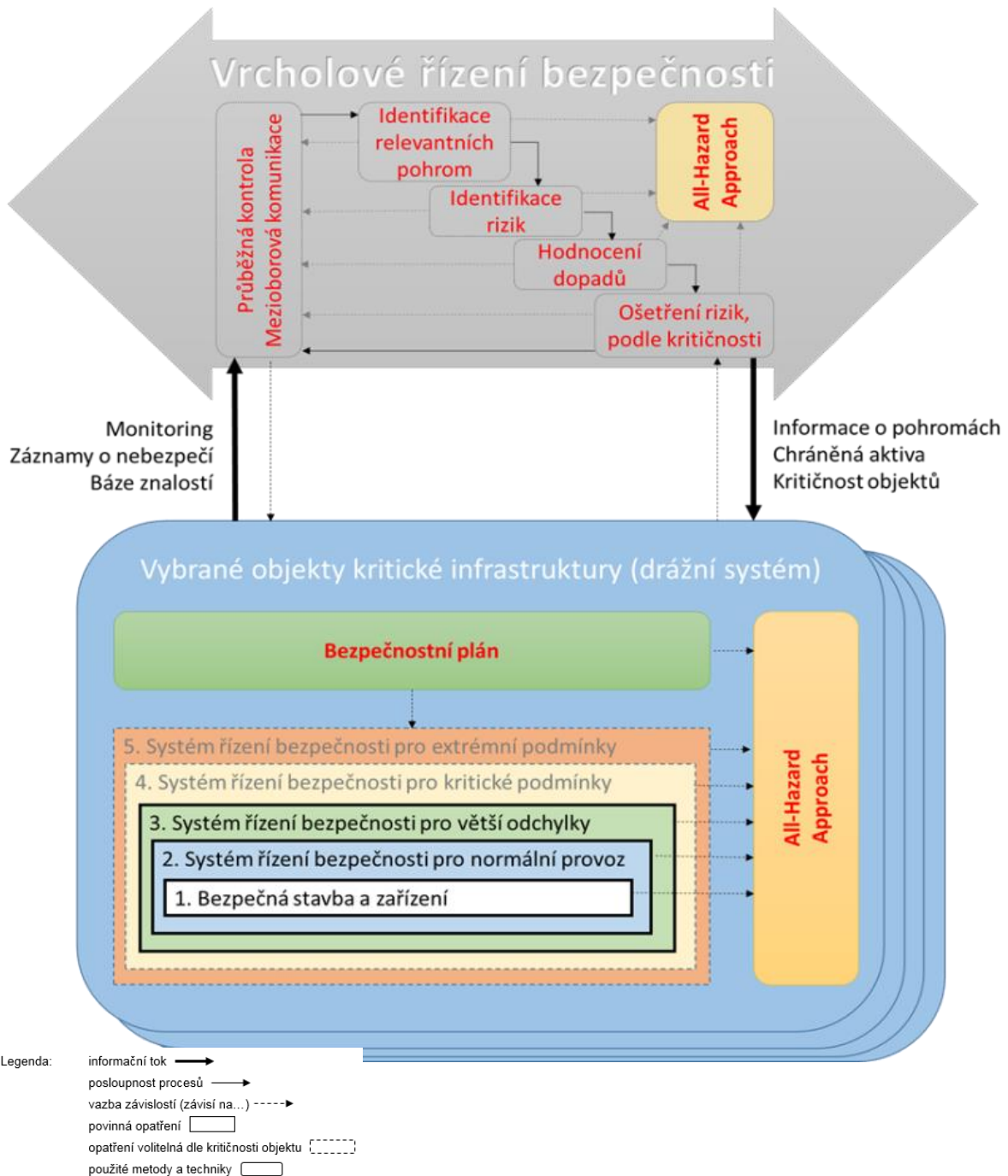
Obr. 1. Strategie Defence-In-Depth dle [14].

Při rozlišení míry bezpečnosti objektů a infrastruktur se dle zdroje [15] používá bezpečnostní charakteristika, dle které má objekt jedноступňovou nebo až pětistupňovou ochranu do hloubky, obrázek 2. Jednotlivé systémy řízení bezpečnosti zajišťují aplikaci technických, provozních a organizačních opatření a činností, které jsou navrženy tak, aby buď zabránily iniciaci řetězce škodlivých jevů, anebo ho zastavily [1].

3. DATA O SYSTÉMECH NA ZÁKLADĚ ZNALOSTÍ A PRAXE Z DRÁŽNÍHO PROSTŘEDÍ A PROVOZU METRA

Na základě analýz v předchozího výzkumu uvedeného v práci [1] založeného na: modelových případech (modelová stanice metra); případových studií; analýz příčin a následků železničních nehod; porovnání shody normativu a současné praxe v dopravě a průmyslu s legislativou a jejich kritické posouzení; induktivních a deduktivních analýz, lze konstatovat, že principy řízení bezpečnosti nejsou v praxi plně praxi implementované a ani vymahatelné legislativou, tj. chybí nebo je nedostatečné:

- vrcholové řízení s proaktivním přístupem a přístupem k integrálnímu riziku,
- mezioborová komunikace a vazba mezi jednotlivými vrstvami systémů řízení bezpečnosti (SMS),
- komplexní řešení bezpečnosti (neidentifikovaná významná rizika),
- nezvažují se všechny relevantní pohromy (All-Hazard-Approach),
- chybí aplikace koncepce ochrany do hloubky (Defence-In-Depth),
- legislativa pro řešení problematiky vazeb mezi bezpečností a zabezpečením,
- normy pro zabezpečení drážního systému,
- zvažování vazeb a toků v systému a jeho okolí.



Obr. 2. Pětistupňový model řízení bezpečnosti SoS [16].

Z hlediska systému řízení byly v práci [1] identifikovány následující organizační zranitelnosti:

- špatně nastavené procesy a pracovní instrukce,
- nedostatečná a neflexibilní organizační struktura,
- neznalosti či nepochopení požadavků z vyšších vrstev SMS,
- nedostatečná mezioborová komunikace (různé terminologie),
- nedostatečný monitoring,
- matoucí informace o zdrojích rizik systému směrem k vyšším vrstvám řízení a naopak,
- nedefinované vazby mezi procesy a rolemi v projektu, nekompetence.

Současná legislativa požaduje rozsáhlou množinu technických i organizačních opatření pro zmírnění známých slabin systému, zejména pokud se jedná o řízení provozu za normálních podmínek, případně při výskytu známých nepříznivých událostí a chyb systémů. Jestliže okolní podmínky přesáhnou limity stanovené v projektu, například při kritických pohromách, tak technické i organizační schopnosti podniků selžou.

Případové studie zacílené na systém řízení z pohledu kyber-fyzických systémů [1] dále ukazují na následující zranitelnosti dané nízkým informačním výkonem v systémech:

- nekoncepční implementace prvků aktivní a pasivní bezpečnosti,
- omezená dostupnost systémů vůči velkému množství subjektů,
- opožděné a nevalidní zprávy o poruchách,
- nepřesnost systému.

Práce [1] na základě analýzy příčin a následků železničních nehod dále uvádí:

1. Problémy na rozhraní člověk – stroj (HMI, angl. Human Machine Interface).
2. Problémy na rozhraních systémů kybernetických a fyzických, tj. kyber-fyzických.
3. Problémy na rozhraních systémů sociálních a technických, tj. socio-technických.
4. Stanovení odpovědností, a to nejenom mezi subjekty, ale také mezi procesy systémů technologických děl.

Výše uvedené skutečnosti, zranitelnosti a problémy ukazují právě na složitost SoS, které jsou charakteristické svojí provázaností (např. fyzické, kybernetické, místní a logické), tj. interdependence. Zvláštní problémy v uvedených analýzách, které v systémech interagují, jsou:

- nehomogenity a anizotropie systémů a jejich prostředí – vedou k hysterezím,
- rozhraní systémů a procesů (HMI, kyber-fyzické, socio-technické, různé kritičnosti, aj.),
- různé povahy rozhraní a jejich neurčitost stavů za jistých podmínek vedou k selháním,
- kaskádové jevy – vedou k eskalaci a vyšším dopadům selhání.

4. METODY PRO SBĚR DAT, POSOUZENÍ KRITičNOSTI A PRO PODPORU ŘÍZENÍ BEZPEČNOSTI

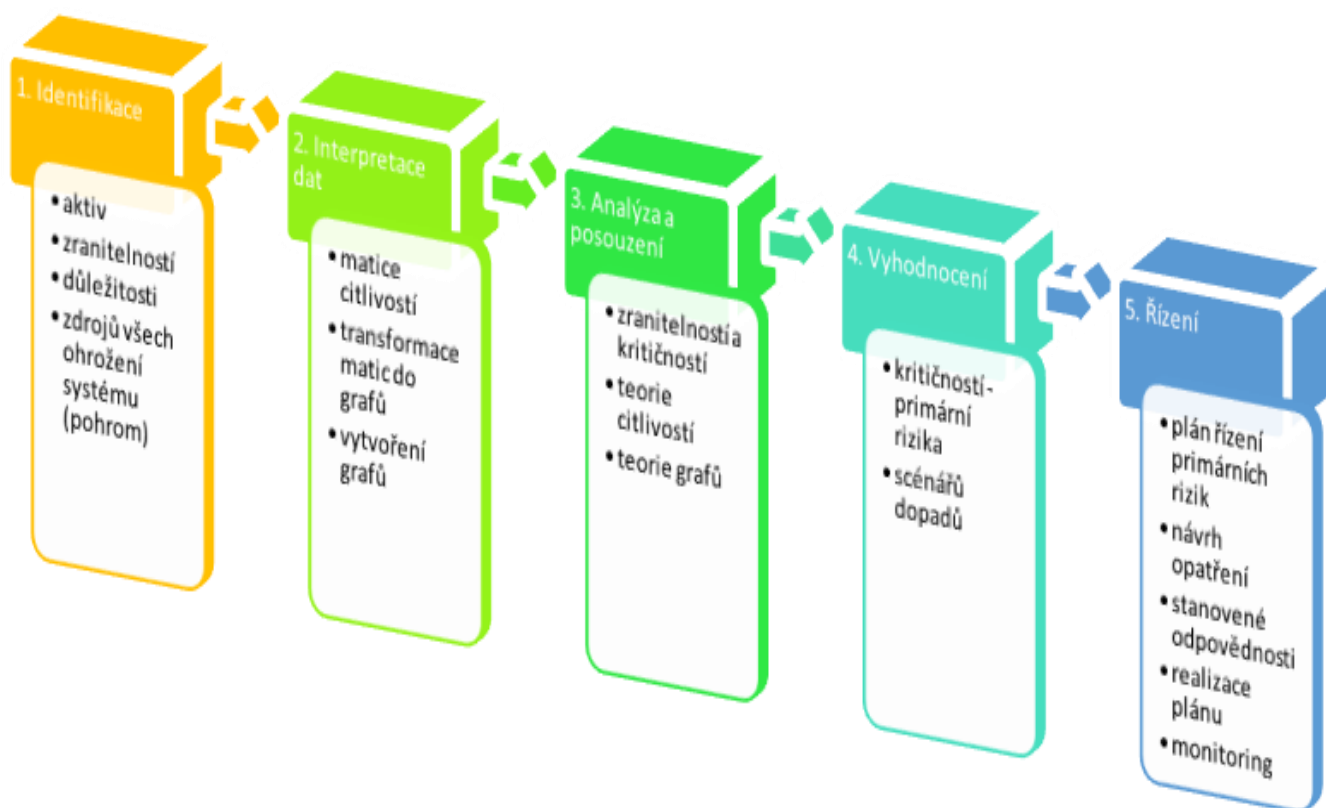
Hlavním cílem řízení bezpečností technických děl je zvýšení bezpečnosti, proto je především o systému systémů nutné stanovit dílčí cíle, které definují procesní model k dosažení hlavního cíle, tj. snížení kritičnosti díla, čímž zvýšíme bezpečnost díla. Uvedené dílčí cíle lze stanovit např. jako v práci [1], tj.:

1. Zvýšit znalost o problémech, rizicích systémů a jejich zvládnání.
2. Získat data o sledovaném problému.
3. Stanovit metodický postup, popsat metody a nástroje pro práci s aktivy.
4. Identifikovat a určit kritičnosti aktiv pro bezpečné řízení provozu technických děl.
5. Vhodně interpretovat a vyhodnotit výsledky pro další práci s aktivy.
6. Transformovat výsledky do grafů s cílem najít slabá místa provozu technického díla z hlediska bezpečnosti.
7. Analyzovat a vyhodnotit vybrané scénáře dopadů pohrom na aktiva.
8. Navrhnout opatření pro snížení kritičností aktiv technického díla a tím snížit jeho celkovou kritičnost a zvýšit jeho bezpečnost.

Při řízení bezpečnosti technického díla definovaného jako systém systémů musíme vycházet z předpokladu jeho komplexity (složitosti) a vlastností emergence. Předmětný systém nelze řešit primárně exaktními a od určité míry ani pravděpodobnostními metodami. Pro systém systémů musíme tedy zvažovat použití heuristik mezi které patří i expertní šetření. Exaktní a pravděpodobnostní metody lze poté použít pro analýzu a posouzení lokálních výsledků použité heuristiky. Proto volíme následující metody:

1. **Sběr dat** – identifikaci systému, tj. identifikace aktiv (včetně interdependencí) a jejich zranitelnosti a důležitosti: expertní šetření metodou **DELPHI s vhodnou sadou otázek** reflektující přístupy a pětistupňový model uvedené v kapitole 2, detailní popis v [17].
2. **Práce s daty** – stanovení kritičností, posouzení dopadů pohrom na systém: zápis pomocí matic citlivostí dle teorie citlivostí (zranitelnost = citlivost), transformace matic citlivostí do grafů dle teorie grafů, analýza citlivostí a grafů s využitím vybraných teoretických nástrojů, detailní popis v [2,4].
3. **Interpretace dat** – zápis dat: kodifikace názvů, matice citlivostí, grafy, dle [2,4,17].
4. **Posouzení scénářů dopadů** – s využitím metod sběru, práci a interpretaci dat uvedenými výše, tj. expertní metody, např. metoda DEPHI nebo moderovaná (panelová) expertní diskuse na základě získaných interpretovaných dat.
5. **Řízení rizik** – aplikace plánu řízení rizik, např. dle [18].

Procesní model k dosažení hlavního cíle, tj. snížení kritičnosti díla a zvýšení bezpečnosti, je znázorněn na obrázku 3, který je sestaven syntézou znalostí z prací [2,4,17,19].



Obr. 3. Procesní model k snížení kritičnosti technického díla.

5. VÝSLEDKY IMPLEMENTACE PROCESU KE SNÍŽENÍ KRITičNOSTI

Jednotlivých cílů uvedených v předchozí kapitole bylo dosaženo implementací jednotlivých nástrojů na konkrétním případě, tj. výzkumu bezpečnosti provozu pražského metra. Detailní popis výsledků jednotlivých kroků je uveden v [1] a v následujících pracích:

1. *Identifikace*, v práci [17].
2. *Interpretace dat*, v pracích [2,4,19].
3. *Analýza a posouzení*, v pracích [2,4,19].
4. *Vyhodnocení*, v pracích [2]
5. *Řízení*, příklad návrhu opatření v [2,4,19].

Aktivita 1. Identifikace v bezpečnostním výzkumu metra poskytla seznam následujících aktiv, detailně v pracích [1,17]:

- konstrukce (stavby a konstrukční technologie),
- technika (vzduchotechnika, osvětlení, energetika, dopravní zařízení, dopravní prostředky, informační systémy, signalizační, sdělovací a zabezpečovací zařízení, vodohospodářství a kanalizace, kolejová technika, zařízení Ochranného systému metra a jiné),
- personál (staniční, depa, traťová a ostatní, dispečink I. až III. stupně),
- místa (veřejné prostory stanice, ostatní veřejné prostory, jiné neveřejné prostory stanice, technologické prostory, prostory dispečinku, tunely, prostory depa),
- funkce (staniční, technologické, personální),
- vazby a toky (informační, energetické, materiálové),
- organizace a ekonomika (jednotky a odbory, předpisy a plány, procesy, vlastnosti řídicích a odpovědných pracovníků, záchranné a bezpečnostní sbory, ekonomika).

Aktiva, která nebyla dostatečně identifikována, tj. lze zde očekávat slabá místa, jsou například:

- některé obecné plány pro zvládnutí kritických podmínek, tj. obecné plány kontinuity, plány čištění a dekontaminace apod., simulace mimořádných událostí a trénink,
- ekonomické – fondy, hmotné rezervy, rozpočet pro pravidelné kontroly, přezkoumávání a hodnocení organizačních, technických a procesních parametrů, rozpočet pro zajištění zabezpečení kritických aktiv (tj. pro kontinuální snižování kritičnosti = ochrana a zabezpečení výše uvedených aktiv).

Z hlediska dílčích kritičností, tj. součin výsledné důležitosti a zranitelnosti aktiva na funkci aktiv okolních, lze na základě výstupů výzkumu [1,17] uvést jako nejkritičtější následující aktiva: osvětlení, vzduchotechnika, dopravní zařízení, veřejné prostory a zabezpečení únikových východů, informační a materiálové toky (především ve vztahu k vzduchotechnice a technickému stavu objektů dopravních prostředků a zařízení), součinnost a kvalita (přípravenost) záchranných a bezpečnostních sborů. Pohromy, které ohrožují systém byly podobně jako aktiva rozděleny do skupin:

- výsledky procesů probíhající vně i uvnitř Země,
- výsledky procesů v lidském těle, v chování lidí a procesů v lidské společnosti,
- výsledky procesů a činností instalovaných lidmi,
- interakce planety Země a životního prostředí na činnost lidí,
- vnitřní závislosti v lidském systému přirozené nebo lidmi vytvořené.

Aktivita 2. Interpretace dat Data získaná studiem systému metra a jeho chování využívá matice citlivost. Matice, která obsahuje všechna kritická aktiva, pohromy a jejich vazby, je velmi rozsáhlá a nečitelná, a proto byla rozdělena do několika dílčích matic dle:

- skupin aktiv,
- citlivostí (aktiva, pohromy),

Aktivita 3. Analýza a posouzení pracuje s výše uvedenými maticemi a grafy na kterých lze dle [4] provádět příslušné operace s využitím nástrojů teorie citlivostí a teorie grafů. Uvedená aktivita je důležitá pro následující krok vyhodnocení.

Aktivita 4. Vyhodnocení poskytuje seznam prioritních rizik, kterými jsou následující slabá a kritická místa či vybraná ohrožení dle [1]:

1. Vnější citlivost, tj. zranitelnost vůči pohromám ukazuje, že
 - nejcitlivější je personál a technologická aktiva,
 - nejkritičtější pohromy jsou: epidemie a pandemie, které nejvíce postihují personál, který je na ně zranitelný; organizační havárie, na které je zranitelné největší množství aktiv; teroristický útok.
2. Vnitřní citlivosti, tj. zranitelnost na výpadek funkce okolních aktiv ukazuje, že:
 - nejcitlivější jsou vazby a energetické toky (napájecí systémy, distribuce elektrické energie k technologiím ve stanicích a nouzové napájecí systémy),
 - na technologii energetiky je závislý největší počet aktiv.

Dle výsledků bezpečnostního výzkumu v aktivitě 1, největší kritičnost u aktiva „vazby a toky“ má distribuce vzduchu. Analýza grafu pro vnější citlivosti na rozdíl od analýzy matice citlivostí ukazuje vysokou kritičnost pohrom, jako jsou:

- destabilizace lidské společnosti,
- kriminalita,
- teroristický útok.

Na grafech v pracích [1,2,4,19] mají uvedené pohromy nejvyšší počet výstupních hran s nejvyšší vahou, tj. mají dopad na velký počet aktiv, která jsou na uvedené jevy nejvýše citlivá (zranitelná). Destabilizace lidské společnosti a kriminalita jsou dle předchozích analýz pohromy specifické, tj. nespádají do kategorie kritických pohrom, ale vyžadují speciální pozornost. Analýza grafu pro vnější citlivosti popsána v pracích [1,2,4,19] ukazuje, že:

- aktiva s nejvyšším počtem vstupních hran jsou informační toky, distribuce vzduchu a provozního materiálu; vzhledem ke kritičnosti uvedených aktiv je vhodné ověřit, zda jsou uvedené vazby redundantní nebo zda systém závisí na každé zvlášť,
- technologie zabezpečovacích zařízení, energetiky a vlakový dispečer jsou aktiva na kterých závisí nejvíce aktiv ze skupiny Vazby a toky,
- u personálu jsou vedle vlakového dispečera nejkritičtější: strojvedoucí, výpravčí a ostatní dispečeri.

Aktivita 5. Řízení. Opatření pro snížení kritičnosti jsou následující:

1. Pro nejvíce kritická aktiva snížit jejich kritičnost zavedením redundancí a segmentací tak, aby byla redundantní aktiva na sobě co nejvíce nezávislá.
2. Pro nejvíce kritická aktiva ošetřit společné příčiny selhání a snížit jejich zranitelnost (tj. zabezpečit vůči pohromám).
3. Pro ostatní kritická aktiva zavést plán řízení rizik.
4. Ošetřit relevantní pohromy dle jejich kritičností (relevantní, specifické, kritické), dle přístupu All-Hazard-Approach.
5. Konkrétní opatření pro vybrané scénáře dopadů.

Příkladem konkrétních opatření pro vybraný scénář pandemie [2] je:

- pravidelné čištění vzduchu (např. ozónem, hodnotit účinnost),
- zajistit základní hygienická preventivní opatření (ve formě zajištění prostředků, pravidel jejich používání, monitoringu/kontroly a jejich vynucení),

- nastavení pravidel pro monitoring a vyhodnocování situace,
- rozšířená hygienická opatření pro technologický dispečink – zajištění technologického dispečera,
- zajištění dostatečných personálních kapacit z hlediska dispečinku, komunikací a obsluhy vzduchotechnických zařízení,
- plány pro pravidelnou dekontaminaci – dezinfekce vstupu a výstupu, distribučních cest a stykových ploch konstrukcí, míst a technologií s personálem, popř. veřejností,
- případná další opatření pro veřejnost jako možný zdroj kontaminace.

7. ZÁVĚR

Předložená práce na základě výsledků předchozích výzkumů autorů předkládá procesní model k snížení kritičnosti technického díla, tj. zvýšení jeho celkové bezpečnosti. Uvedený model respektuje specifika složitých (komplexních) systémů definovaných systémovým inženýrstvím jako systémy systémů, a to implementací heuristik, konkrétně expertní metody podpořené teoriemi poskytujícími exaktní metody pro následnou práci a interpretaci dat pro jejich opětovné vyhodnocení pomocí expertů.

Pro řízení bezpečnosti je nezbytné znát slabá místa systémů, tj. technických děl, jejich aktiva a kritičnosti aktiv technických děl, pro následnou práci s primárními riziky a jejich řízení, tj. řízení bezpečnosti na všech úrovních dle přístupu Ochrany do hloubky. Vedle shrnutí konkrétních výsledků aplikace jednotlivých metod na výzkum bezpečnosti pražského metra, práce dále poskytuje i teoretický rozbor a definice používaných přístupů. Znalost problematiky sama o sobě vede k lepšímu poznání systémů, tj. technických děl, a společně s implementací předloženého procesního modelu také k potlačení nepřijatelných vlivů výskytu náhlých neočekávaných nežádoucích jevů, a k včasné detekci a eliminaci nepříznivého chování systémů. Se uvažováním interdependencí, např. jako samostatnou skupinu aktiv „Vazby a toky“, ošetřujeme i jejich nežádané vlivy (projektové a nad-projektové při implementaci All-Hazard-Approach) a zvláštní problémy systémů.

LITERATURA

- [1] KERTIS, T. *Disertační práce: Posouzení bezpečnosti vybraného kritického objektu z pohledu integrální bezpečnosti a návrh na snížení kritičnosti objektu*. Praha: ČVUT 2021. 124 p.
- [2] KERTIS, T., PROCHÁZKOVÁ, D. Aplikace teorie citlivosti pro zvýšení bezpečnosti kritické infrastruktury. *RRTD 2020*. ISBN 978-80-01-06786-4. Praha: ČVUT 2020, pp. 37-65.
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D. Krizové řízení pro technické obory. ISBN 978-80-01-05292-1. Praha: ČVUT 2013, 303 p.
- [4] KERTIS, T., PROCHÁZKOVÁ, D. Techniques for Assets' Criticality Judgement. In *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL 2021)*. ISBN: 978-981-18-2016-8. Angers (Francie): Research Publishing Services 2021. pp. 1830-1837.
- [5] INCOSE. [<https://www.incose.org/products-and-publications/sos-primer>]
- [6] BOARDMAN, J., SAUSER, B. System of Systems – the Meaning of. In: *V: IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering*. Los Angeles: CA 2006. 6 p.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost kritické infrastruktury*. ISBN: 978-80-01-05103-0. Praha: ČVUT v Praze 2012. 318 p.
- [8] KERTIS, T., PROCHÁZKOVÁ, D. Reduce of Criticality of Critical Infrastructure Facilities in the Railway Domain. In: *Smart Cities Symposium Prague 2015 Proceedings, CTU in Prague*. Praha: IEEE 2015. 4 p.
- [9] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN 978-80-01-06180-0. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [10] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., BERAN, V., ŠINDLEROVÁ, V. *Řízení rizik procesů spojených se zhotovením technického díla a jeho uvedením do provozu*. ISBN 978-80-01-06609. Praha: ČVUT 2019, 207 p.

- [11] IAEA. *Safety Glossary: 2018 Edition*. Vienna: IAEA 2018. 261 p. <https://www.iaea.org/publications/11098/iaea-safety-glossary-201>.
- [12] FEMA. *Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning*. Washington, DC: FEMA 1996. <http://www.fema.gov/pdf/plan/slg101.pdf>
- [13] PROCHÁZKOVÁ, D. *Strategické řízení bezpečnosti a udržitelného rozvoje území*. ISBN 978-80-7251-243-0. Praha: PA ČR 2007, 202 p.
- [14] IEC. *ISA IEC 62443-4-1. Security for Industrial Automation and Control Systems, Part 4-1: Secure Product Development Lifecycle Requirements*. Geneva: IEC 2018.
- [15] PROCHÁZKOVÁ, D. *Safety of Complex Technological Facilities*. ISBN 978-3-659-74632-1. Saarbruecken: Lambert Academic Publishing 2015. 244 p.
- [16] KERTIS, T. Introduction of Modern Approaches of Ensuring Safety into Business Processes in Railway Industry. V: *Vybraná rizika podnikových procesů 2015*. ISBN 978-80-01-05831-2. Praha: ČVUT, pp. 26-38.
- [17] KERTIS, T. PROCHÁZKOVÁ, D. Identification of Assets of Metro Operation in Praha and Determination of their Criticality. In: *Proceeding of the 29th European Safety and Reliability Conference*. Singapore: Research Publishing Services 2019.
- [18] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p.
- [19] KERTIS, T., PROCHÁZKOVÁ, D. Posouzení kritičnosti aktiv provozu pražského metra. V: *JUFOS 2021*. Brno: VUT 2021. 10 p.

SPOLEHLIVOST LIDSKÉHO ČINITELE JAKO KLÍČOVÝ FAKTOR BEZPEČNOSTI

HUMAN FACTOR RELIABILITY AS KEY FACTOR OF SAFETY

Jiří Kruliš

Nezávislý specialista.

Abstrakt: Článek shrnuje celoživotní zkušenosti autora o lidském faktoru a jeho řízení, a uvádí doporučení pro praxi.

Klíčová slova: Lidský faktor; rizika; spolehlivost; bezpečnost; klíčový faktor.

Abstract: The article summarises the author's lifelong experience on the human factor and its management, and provides recommendations for practice.

Key words: Human factor; risks; reliability; safety; key factor.

1. ÚVOD

Lidský faktor je souhrn lidských vlastností, schopností a zkušeností, které mají v dané situaci vliv na výkonnost, efektivnost a spolehlivost systému, na který působí a jsou hodnoceny z psychologického, fyziologického a fyzického hlediska [1].

2. POPIS SOUČASNÉ SITUACE

Při zajišťování komplexní bezpečnosti jak prostředí, tak technického díla s důrazem na ochranu osob a majetku je třeba docílit správného rozhodnutí, anebo alespoň takového rozhodnutí, které nepovede dříve či později ke zkáze, a to i při rozhodování pod tlakem. Rozhodování v tomto pojetí se stává sociálním procesem. A právě zde se uplatňuje intelekt člověka a určité inherentní (vrozené, tacitní) znalosti a dovednosti člověka. Do popředí vystupují vlastnosti člověka jako: odpovědný přístup k problému a k výsledkům jeho řešení s ohledem na veřejné či jiné zájmy; morální vlastnosti jako rozvážnost, smysl pro povinnost a důslednost; schopnost: analyzovat problém či situaci, kreativně přistupovat k řešení problému, umět anticipovat další vývoj, využívat analogie apod.; a také schopnost uplatnit zkušenosti a sociální dovednosti, umožňující mu regulovat činnost a jednání podřízených. Právě uvedená fakta formují charakteristiku lidského faktoru správného řídicího pracovníka a měla by být zvažena při práci s lidskými zdroji [1].

Z hlediska zajištění bezpečnosti je třeba zvláštní pozornost věnovat rozhodování situací, ve kterých jsou nejistoty a neurčitosti [2], tj. zpravidla je málo dat a výsledek je nejistý a nezřetelný; to znamená nelze použít ani deterministické a pravděpodobnostní přístupy, ale je třeba aplikovat vhodné heuristiky, ve kterých právě hraje roli lidský intelekt, ve kterém jsou propojeny, znalosti, zkušenosti a intuice, tj. také charakteristika lidské osobnosti označovaná jako lidský faktor. Člověk, který uvedené schopnosti má, je velmi důležitý pro každou organizaci a toho si je vědom typ řízení nazývaný „Knowledge Management (řízení znalostí nebo též management znalostí)“.

Lidský faktor ve smyslu lidské chyby (selhání člověka) dělíme na úmyslné a neúmyslné. Dochází k nim při provádění činností (jejich zdrojem je: rutíněství; nedodržení provozních a

bezpečnostních předpisů; opomenutí; špatný zdravotní stav; špatné podmínky na pracovišti; atd.); a chyby v řízení (jejich zdrojem je neznalost; nerespektování zákonitostí přírodních, technických, ekonomických a sociálních; arogance; apod.) [1].

Při analýze složitých rozhodovacích situací si každý odpovědný a znalý člověk velmi brzy uvědomí, že lidský intelekt je nezastupitelný, a to hlavně při nedostatku dat, nejistotách a neurčitostech v datech. Proto vznikla disciplína „řízení znalostí (knowledge management)“, která si zakládá na lidském intelektu. Lidský intelekt (rozum) je schopnost lidské mysli zobecňovat zkušenosti, pracovat s abstraktními pojmy a činit závěry z předpokladů [1].

Jeden z nejdůležitějších legislativních dokumentů v této oblasti vznikl v roce 1982 v reakci na havárii chemické továrny na pesticidy a herbicidy v Sevesu poblíž italského Milána v roce 1976 (směrnice Evropského společenství o závažných rizicích při průmyslových činnostech, známá pod názvem „Seveso direktiva“). Provedené analýzy více než sta nejzávažnějších havárií, ke kterým došlo po uvedení této směrnice v platnost, ukázaly, že v postižených podnicích byly odhaleny závažné chyby managementu, přičemž rozhodujícím faktorem bylo právě nedostatečné docenění úlohy lidských selhání. Proto novelizace této směrnice kladou velký důraz na povinnost provozovatelů nebezpečných činností rozšířit obsah bezpečnostních zpráv o analýzy potenciálních chyb člověka při obsluze bezpečnostně závažných zařízení a o přehledy personálních a jiných opatření, jejichž cílem je snížení následků takových selhání.

3. LIDSKÝ FAKTOR A ORGANIZAČNÍ HAVÁRIE

Moderní řízení veřejných i privátních organizací, které jsou chápány jako otevřené systémy, má tři základní hierarchické úrovně, které se liší cíli, viz výše. Mezi pohromy (škodlivé jevy všeho druhu), které způsobují nouzové situace v organizaci a jejím okolí patří i tzv. lidský faktor, který je také příčinou lidských chyb. Nové pojetí řízení lidských zdrojů [3] rozděluje funkce řízení do dvou oblastí, a to: zajištění personálu (Staffing), které zahrnuje řízení (Controlling); a vedení lidí (Leading), které zahrnuje: stimulaci a motivaci zaměstnanců, hodnocení zaměstnanců, odměňování zaměstnanců, komunikaci. Uvedené činnosti tzv. „měkkého řízení“ se orientují na schopnosti / umění vedoucích pracovníků vést, usměrňovat, stimulovat a motivovat své spolupracovníky ke kvalitnímu a dnes i tvořivému plnění své práce. Je zcela zřejmé, že to jde jen v bezpečném prostředí, které lze dosáhnout jen kvalifikovaným systémovým řízením bezpečnosti, do kterého řízení lidských zdrojů patří [4]. Současným cílem EU i České republiky je bezpečné území i bezpečná organizace, které mají potenciál udržitelně se dále rozvíjet. Jak již bylo výše uvedeno bezpečná entita znamená, že všechny její chráněné zájmy jsou v bezpečí.

Výklad bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP) [1] respektuje: celosvětové odborné poznání (koncepty OSN a OECD); požadavky EU (rámcová směrnice č. 89/391/EHS); požadavky české legislativy (zákon č. 262/2006 Sb. a související předpisy); odborné zaměření projektu EU „řízení lidských zdrojů“, na jehož základě byl zpracován poslední zákoník práce (zákon č. 262/2006 Sb.); a logický požadavek, že pro praxi není důležitý popis, ale znalost a ovládnutí nástrojů, kterými se cíl dosahuje. BOZP je součástí celkové / integrální / komplexní / celistvé bezpečnosti, tj. není zvláštní disciplínou, což je v souladu se současnou platnou českou legislativou. Patří do komplexního systému řízení bezpečnosti, protože se podílí na zajišťování integrální bezpečnosti a navíc lidský faktor, ke kterému se vztahuje, není zanedbatelný při zajišťování bezpečnosti, a to v kladném i záporném smyslu. Podle dnešního pojetí řízení bezpečnosti se každý zúčastněný se musí podílet na zajišťování bezpečnosti, tj. i na BOZP, a to přesto, že v příslušné platné legislativě pro BOZP se především rozpracovávají úkoly zaměstnavatelů.

Hlavním cílem zajišťování BOZP je omezovat rizika ohrožující životy a zdraví zaměstnanců při práci. Povinnosti a odpovědnost zaměstnavatele zajistit bezpečnost a ochranu zdraví při práci.

práci je zakotvena v zákoníku práce a v zákonech, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovně právních vztazích a o zajištění BOZP při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovně právní vztahy. Na ustanovení zákoníku práce navazují prováděcí a další související předpisy.

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci nabývají stále většího významu. Podle publikace [5] si dnes velká část zaměstnavatelů již uvědomuje, že dobré a zdravé neohrožující podmínky jsou jak jedním z předpokladů konkurenceschopnosti, tak předpokladem pro spokojenost zaměstnanců, která se pak odráží v kvalitě práce. Řada podniků se zapojila do preventivních programů „Bezpečný podnik“, „Správná praxe“, „Podnik podporující zdraví“ atd. BOZP je také prioritou odborových organizací. Zatímco dříve za plnění úkolů BOZP bylo považováno jen plnění pokynů a pravidel vydaných ministerstvem, dnes jsou na úseku BOZP důležité dva aspekty, a to odpovědnost zaměstnavatele a opatření zaměstnavatele v oblasti prevence rizik [6,7]. Dle dnešního pojetí se na zajišťování BOZP musí podílet všichni zúčastnění, tj. jak zaměstnavatelé, tak zaměstnanci, kontraktori, návštěvníci apod.

Velkým problémem je selhání lidského činitele při řízení procesů či podniků [1]. V praxi se používá také pojem „organizační havárie“. Při zkoumání zavádění směrnice Seveso I byly na základě analýzy závažných havárií, které byly nahlášený od zavedení směrnice, identifikovány oblasti pro nová ustanovení v nové směrnici. Jednou z těchto oblastí jsou přístupy k řízení (koncepte řízení) a systémy řízení. Z analýzy vyplynulo, že *selhání systému řízení přispělo k příčinám více než 85 % nahlášených havárií*. Model organizační havárie je v práci [8]. Organizační havárie se skládá ze tří základních prvků: organizačních procesů; podmínek, které působí vznik chyb nebo porušení předpisů; a chyb a/nebo porušení předpisů

Omezování rizik v rámci řízení bezpečnosti pokrývá několik okruhů: bezpečnost procesů, ochrana zdraví a bezpečnost zaměstnanců (bezpečnost práce) a omezování vlivů na životní prostředí [9]. Analýza dopadů řízení na bezpečnost podniku či území musí vycházet z modelu organizační havárie.

4. DOPORUČENÍ NA ZÁKLADĚ ZKUŠENOSTÍ Z PRAXE

Interakce organizačních, technických a lidských rizik jde dle [10] zřejmě z analýzy závažných nehod z různých zemí a různých oblastí průmyslu, které ukazují, že byly vyvolány kombinací nepříznivých manažerských, organizačních a technických faktorů a chyb člověka. A to zjevných i skrytých, latentních, tj. těch, které nejsou na první pohled viditelné a většinou bezprostředně nezhoršují funkci systému, ale v kombinaci s jinými událostmi, jako jsou např. chyby lidí nebo nečekané změny vnějších vlivů, mohou vyvolat nehodový děj. Jejich příčinou tedy nebyla náhodná selhání zařízení, čili technické závady, jak se často snaží bezpečnostní analýzy dokazovat.

Podniky provozující bezpečnostně nebezpečné procesy zpravidla mají zavedeny systémy analyzování poruch a nehod. Zkušenost však ukazuje, že obecně jsou sice používané metody dobré pro zjišťování technických problémů, nevyhovují však často právě pro identifikaci organizačních a lidských selhání a jejich příčin. Koncepte účinného managementu rizik by vždy měla být založena na tom, že dojde-li v organizaci ke vzniku nějaké nežádoucí situace a rozborem jsou zjištěny chyby nebo nedostatky v práci lidí, pak tato osobní selhání nemají být považována za primární příčiny, ale pouze za důsledky procesních a technických příčin, na něž je třeba zaměřit nápravná opatření. Zaměřování se výhradně na tyto symptomatické faktory (vnější projevy, příznaky) není cestou k účinnému předcházení nežádoucích událostí.

Při hledání příčin je dle poznatků v [10] důležité řídit se zásadou, že jednotlivé faktory nesmí být analyzovány izolovaně. Že vždy fungují *synergicky*, tzn. že jejich výsledný dopad je větší

než by byl součet dopadů každého zvlášť. A navíc je vždy třeba počítat s dalšími procesy jejich interakcí, jako jsou *domino efekty*, *efekty lavinové*, „*poslední kapky*“, „*nejslabšího článku*“.

O přístupy založené na hodnocení a identifikaci organizačních, manažerských a lidských faktorů roste na jedné straně všeobecný zájem, na straně druhé však zůstávají překvapivě často podceňovány a metodicky nezvládnuty. Poruchy a nehody bývají analyzovány bez kvalifikované snahy odhalit a pojmenovat jejich skutečné kořenové příčiny a nespokojit se s povrchní identifikací bezprostředních spouštěcích jevů. Navrhovaná nápravná a preventivní opatření pak bývají zaměřena převážně na řešení viditelných projevů, nikoliv primárních příčin nežádoucích událostí.

Rozbory důvodů tohoto neuspokojivého stavu většinou vedou ke zjištění, že managementy často nemají přehledně popsanou strukturu faktorů, jimiž je bezpečnost ve standardních i mimořádných provozních situacích ovlivňována, ani procesů, jimiž by se mělo výskytu nežádoucích událostí předcházet. A nevyužívají **komplexní metody identifikace rizik**.

Na základě údajů v práci [10] spolehlivostní koncepce managementu rizik by měla být postavena na následujících východiskách, poznatcích a zkušenostech:

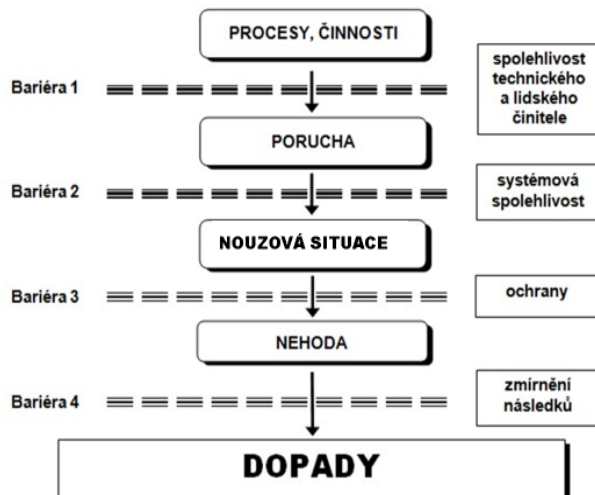
1. Každá organizace je systémem lidských a technických zdrojů, který může pracovat efektivně, spolehlivě a bezpečně jen tehdy, když funguje spolehlivě jak lidská, tak technická složka a když je zajištěna funkčnost a spolehlivost jejich vzájemné součinnosti. *V mnohých organizacích byly např. uplatněny principy decentralizace organizačních struktur s akcentem na koncept vlastníků procesů, jejichž účelem je kromě jiného zvýšit motivační předpoklady pro spolehlivou práci lidského činitele. Ukazuje se, že tam, kde tyto změny, jinak velmi žádoucí, nevycházely z komplexního pochopení lidských a technických faktorů a jejich interakcí v daném organizačním kontextu, nebylo dosaženo očekávaných zlepšení.*
2. Prakticky každé selhání techniky je iniciováno nebo nějak spojeno se selháním lidské složky systému-je důsledkem konkrétních chyb lidského činitele (LČ). *Příklad: V důsledku poruchy došlo k odstavení technologického zařízení. Bylo provedeno přezkoumání poruchy s tímto závěrem: za příčinu byla označena závada na výrobním zařízení. Nebylo zjištěno žádné zavinění ze strany zaměstnanců. Jako opatření k nápravě byla určena pouze oprava zařízení. Lze tento výsledek považovat za dostatečný? Může být využit pro formulaci preventivních opatření, která zabrání dalšímu výskytu podobných událostí? Pokud by pracovníci provádějící šetření měli být pochváleni, muselo by hledání příčin pokračovat až do chvíle, kdy by bylo věrohodně zjištěno např. že konstruktér zvolil špatný typ součástky a montér či technolog tuto chybu neodhalil. Nebo životnost součástky vypršela a příslušný pracovník údržby ji včas nevyměnil. Nebo nedodržováním provozních reglementů obsluhou bylo zařízení dlouhodobě přetěžováno, čímž došlo ke zhoršení jeho technického stavu a porušení součástky. atd. Často se tyto události také zařazují do kategorie, jejíž původ leží mimo vlastní organizaci, přičemž se zapomíná na to, že organizace si dodavatele technického zařízení špatně vybrala, že neměla správně zformulované požadavky na dodávané produkty, nebo si nedostatečně ověřila jejich kvalitu před uvedením do provozu, nezajistila jejich náležitou provozní kontrolu, údržbu, včasnou výměnu. Svědčí to o tom, že v těchto analýzách nebylo důsledně zjišťováno kdo, v které fázi (konstrukční, výrobní, montážní, provozní, kontrolní atd.) a z jakých příčin vznik této poruchy umožnil nebo ji přímo způsobil. Nebyly pojmenovány konkrétní procesní nedostatky ani nebyla zhodnocena účinnost preventivních opatření.*
3. Selhání člověka, stejně jako techniky, má vždy své příčiny. Člověk selhává buď proto, že mu objektivní organizační, technické nebo např. ergonomické podmínky neumožňují pracovat spolehlivě, nebo proto, že jeho **subjektivní** osobnostní nebo kvalifikační předpoklady,

postoje či momentální psychosomatický stav mu brání vyhovět všem na něj kladeným nárokům.

4. Často se v praxi setkáváme s pojetím založeným na předpokladu, že selhání LČ jsou způsobena výhradně nedostatky v jednání a schopnostech člověka. Potřebná pozornost pak není věnována sběru informací o skutečně relevantních okolnostech událostí čili podmínkách, které v daném kontextu přispívaly, nebo mohly přispívat, ke vzniku selhání. Důsledkem pak jsou tendence svalovat vinu na konkrétní „viníky“, např. na jejich nedbalost nebo ojedinělé opomenutí, aniž by analýza pokračovala s cílem zjistit, proč k takové chybě došlo. *K předešlému příkladu: Na diagnózu odhalující selhání v činnostech a procesech musí navázat další otázky: Jaké příčiny vedly k tomu, že konstruktér nebo technolog nebo údržbář nebo montér nebo pracovník obsluhy opominul některé ze svých povinností? Nebyly tyto povinnosti opomenuty v příslušných pracovních předpisech? Stala se chyba při vyškolení nebo závniku? Byl někdo ustanoven jako odpovědný za kontrolu? Chyběly pracovníkům potřebné informace? Nejsou špatně nastaveny motivační stimuly? Atd.*
5. Řízení spolehlivosti má vždy být důsledně založeno na významu objektivně existujících faktorů a procesů vedoucích k realizaci rizika, které mají potenciál způsobit selhání LČ. *Zaměstnanec, který „způsobil“ selhání procesu kupříkladu neměl potřebné informace, nebo byl k nesprávnému postupu vyzván či přinucen okolnostmi, možná dokonce, že „správný“ způsob v daných podmínkách vůbec neexistoval (k mnoha chybám např. dochází po odstavení technologického zařízení v období znovunajíždění do normálního provozu nebo v jiných nestandardních situacích a podmínkách). Je možné, že zaměstnanec byl v danou chvíli soustředěn na něco jiného. Nebo byl nadměrně unaven, rozrušen či naopak psychicky utlučen předchozí stereotypní činností. Taky si mohl sníženou výkonnost (pozornost, reaktivitu, adaptabilitu atd.) přinést zvenku jako důsledek nějakých stresujících vlivů. Dokonce i v případě nedbalosti nebo úmyslu je třeba zjistit příčiny nevyhovujících postojů (demotivátorů), zhodnotit proceduru výběru a přípravy zaměstnanců pro danou funkci, stav podnikové kultury atd. Ilustrativním příkladem může být případ havárie letadla, jehož vyšetřování jednoznačně prokázalo, že příčinou byla závažná chyba pilota. Zároveň se ukázalo, že tentýž pilot se v poslední době dopustil nebezpečné chyby již dvakrát, přičemž jen shodou okolností nedošlo k závažné nehodě. Případ byl uzavřen tím, že byl pilot potrestán. Ale položme si otázky: Jak je možné, že pilotovi s tak nedostatečnými schopnostmi bylo povoleno létat? Kdo jej cvičil, že výsledek je tak špatný? Neměl by být potrestán zkušební inspektor, který nedokázal odhalit závažné nedostatky v jeho znalostech a dovednostech? Nebo o nich věděl a z nějakého důvodu „zamhouřil oči“? ...*
6. Příčiny každého selhání se nějak týkají fungování managementu. A ten je také prostorem, kde musí být připravována a realizována preventivní opatření. Prvořadým úkolem managementu je vyvolat žádoucí chování lidského činitele na všech místech a úrovních.
7. Obecně využitelný **model proaktivní prevence** rizik je založen na čtyřstupňové prevenci nežádoucích událostí a jejich dopadů. Předmětem analýzy a opatření jsou faktory, které rozhodují o propustnosti čtyř bariér; obrázek 1:
 - **Bariéra 1** - personální, technické, organizační a ergonomické faktory, které snižují pravděpodobnost selhání technického a lidského činitele a jejich součinnosti, jež by mohlo vyvolat poruchu systému.
 - **Bariéra 2** - kontrolní a korektivní prostředky a postupy a jiná systémová opatření, jejichž cílem je zabránit, aby selhání přerostlo v rizikovou situaci ohrožující systém.
 - **Bariéra 3** - ochranné, protiporuchové prostředky (technické, organizační bezpečnostní zábrany), protinehodové zásahy lidského činitele, nápravné postupy, výstrahy, zásahy

a jiná opatření, která mají v případě vzniku nouzové situace odvrátit vznik nežádoucí události-nehody.

- **Bariéra 4** - soubor prostředků, opatření, procesů, činností, jejichž cílem je snížit nežádoucí dopady nastalých nehod (škody, úrazy, ztráty zákazníků, nepřijatelné dopady na zaměstnance atd.).



Obr. 1. Používaný princip bariér.

Pro prevenci selhávání lidského činitele dle [10] platí, že dominantním úkolem podnikového managementu je prevence selhávání lidského činitele, jako příčiny procesních závad, nehod a jiných nežádoucích událostí. Jinými slovy management musí řídit chod organizace tak, aby byla minimalizována pravděpodobnost selhání jeho řídicích i provozních složek, a to při důsledném respektování existujících vnitřních i vnějších rizik.

Jako selhání člověka při pracovní činnosti se označuje jakékoliv nedodržení požadovaného rozsahu či kvality plnění určených pracovních úkolů a postupů (výstupů), např.:

- opomenutí důležitých předpisů, příkazů, instrukcí, pravidel, informací, signálů apod.,
- neprovedení požadovaných úkonů, nesplnění stanovených úkolů, povinností (při realizaci produktů, řízení procesů, péči o technická zařízení atd.) – opomenutí, přehlédnutí, vynechání,
- nesplnění požadovaných časových parametrů (např. úkol nebyl splněn včas, operace nebyla provedena přesně ve správný okamžik, byla vykonána mimo správné pořadí),
- nesprávné provedení požadovaného úkonu, použití nesprávných pracovních postupů (např. v důsledku mylné interpretace informací),
- vykonání nepožadovaného úkonu – mimo stanovený algoritmus, mimo pověření, zmocnění, oprávnění,
- nedodržení požadovaných ukazatelů kvality (procesů a produktů),
- nebezpečné jednání s následkem ohrožení lidí, životního (pracovního) prostředí, poškození technického zařízení nebo snížení jeho životnosti,
- narušení týmové spolupráce,
- neposkytnutí požadovaných informací atd.

Dále se rozlišují selhání

- přímé, které se bezprostředně projevují svými negativními důsledky,
- nepřímé, které se uplatňují zprostředkovaně prostřednictvím negativního dopadu chyb na činnost dalších lidí, technických zařízení, provozů,
- latentní, jejichž následky se mohou projevit po určitém čase,

- chyby při nápravě potenciálně napravitelných selhání tím, že nejsou zjištěny nebo není nápravná akce včas provedena atd.

V některých situacích je vhodné klasifikovat chyby podle míry, v jaké jsou prováděné činnosti řízeny vědomě, s důrazem na nové přístupy, využití znalostí, zpětné vazby, myšlení, rozhodování, improvizace, nebo jsou naopak výsledkem návyků, automatických rutin a pravidel. Někde mezi těmito možnostmi je jednání založené na naučených postupech, které jsou v konkrétních situacích aplikovány v závislosti na výskytu relevantních okolností (symptomů).

V oblasti analýzy spolehlivosti lidského činitele je dle [10] klíčovým úkolem podnikového managementu předcházet selháním lidského činitele, a to průběžně a systematicky. Postupy vyšetřování a dokumentování poruchových stavů a nehod v podnicích vznikají často živelně a na základě tradičních přístupů. Nejsou prováděny tak, aby poskytly využitelné podklady pro rozhodování o preventivních opatřeních. Je běžné, že nejsou předem jasně specifikovány cíle vyšetřování, kritéria pro posuzování zjištěných skutečností, ani forma a obsah povinných závěrů. Převažuje snaha hledat a nalézat jednoduchá řešení, spočívající v označení izolovaných závad v jednání obsluhy a opomíjení širších souvislostí. Typické je ukončení rozboru na úrovni určitých zavedených, zpravidla obecně formulovaných příčin, aniž by byly zjišťovány skutečnosti a okolnosti, které k jejich vzniku vedly. Dalším nedostatkem je tendence soustřeďovat se na pracovníky, kteří stojí na konci řetězce událostí vedoucích k nežádoucí události a přehlížet chyby dřívější.

Výsledkem pak jsou zákonitě neúplné závěry, které opomíjejí kořenové příčiny selhání, čili primární příčiny a zdroje rizik, které stojí na začátku vzniku nežádoucích událostí.

Analýzy mimořádných událostí přinesou užitečné informace a podněty pro preventivní opatření jen tehdy, jsou-li osoby pověřené šetřením schopny mít na mysli různé přístupy k problematice příčinnosti vzniku a průběhu nehodových dějů a vybírat ty, které mohou být v daném případě nejužitečnější.

Odhalení primárních příčin selhání je možné pouze pomocí kauzálních rozborů sledu událostí a řetězců příčin a následků. Základním a jedině správným pojetím analýz selhání je zaměření na jejich systémové příčiny, podle něž zdrojem lidských selhání není člověk (lidé), ale kombinace faktorů a situací, které vytvářejí rizikové podmínky. Často se při tom musí bojovat s obrannými mechanismy a s neochotou hledat a pojmenovávat nastalé chyby, ať už své vlastní nebo spolupracovníků. Vyšetřování mimořádných událostí může přinést užitečné informace a podněty pro prevenci jen tehdy, jsou-li osoby provádějící šetření schopny zohledňovat co nejvíce aspektů, které se mohou při vzniku těchto událostí uplatnit. Nutným předpokladem je, že k tomu jsou vybaveny potřebnými schopnostmi, znalostmi, pravomocemi a metodickými pomůckami.

Pokud není šetřením zjištěno, jaká kombinace příčin selhání způsobila (které manažerské a zdrojové procesy fungovaly neefektivně nebo vůbec nebyly implementovány atd.), nelze účinná preventivní opatření navrhnout, natož úspěšně zavést do praxe.

Hodnocení způsobilostí, které vytvářejí předpoklady pro spolehlivé vykonávání pracovních činností, se pak musí zejména u kritických pozic opírat o určení požadavků na osobní spolehlivostní dispozice (vlastnosti, schopnosti a postoje), a to jak jednotlivých pracovníků, tak pracovních týmů.

Dle [10] zaměstnanci pracují spolehlivě, když jsou splněny zejména tyto osobní předpoklady:

- vědí, co mají dělat, mají jasně a srozumitelně zformulované povinnosti a úkoly, cíle, odpovědnosti a pravomoci,
- mají k tomu vytvořeny potřebné pracovní podmínky, vybavení, prostředí, organizační faktory atd.,

- vědí jak provádět požadované činnosti, mají potřebné schopnosti-kvalifikace, znalosti, informovanost, zkušenosti, dovednosti organizační, komunikační, paměťové, týmové, vedení lidí, myšlení, zacházení s informacemi a znalostmi atd., znají pracovní postupy, bezpečnostní pravidla ...,
- mají potřebné postoje a osobnostní předpoklady – disciplína, priority, odolnost k zátěži, rozvojový potenciál, zdravotní stav....,
- jsou ke spolehlivé práci dostatečně motivováni.

Zkušenosti a výsledky provedených analýz ukazují, že člověk nejčastěji selhává z těchto objektivních příčin:

- při nedostatečné podpoře motivace ke spolehlivé práci, při neefektivním využívání aktivizačních stimulů, v situacích nejisté budoucnosti atd.,
- v prostředí špatně fungujícího managementu, nejasných odpovědností a pravomocí, chaotické organizace práce,
- při nevyhovujícím ergonomickém řešení pracovišť, technického zařízení, pracovního prostředí, vybavení ochrannými pomůckami,
- při nevyhovujících podmínkách pro týmovou spolupráci,
- v situacích informační nejistoty (při nedostatku spolehlivých a jednoznačných informací, v podmínkách nefungující komunikace, nejasně stanovených pravidel),
- v náročných situacích (nové úkoly, stresy, zvýšené požadavky na dělení pozornosti atd.),
- naopak při déletrvajícím snížení zátěže, při opakovaných, rutinních, stereotypních činnostech (monotonie, vigilance).

Subjektivní příčiny dle [10] jsou:

- při nedostatečné kvalifikaci, znalostech, schopnostech, nevyhovujících osobnostních předpokladech,
- při nedostatku potřebných zkušeností, dovedností, nedostatečném vyškolení, výcviku, nevyhovujících návycích,
- při nesprávně formovaných postojích,
- při nadměrné zátěži, stresu, při únavě, rozčilení, útlumu,
- při zhoršení psychosomatického stavu atd.

Selhání může být výsledkem aktuálních vlivů, mimo jiné zvýšené náročnosti prováděných činností (stres, smyslové přetížení, vysoká fyzická zátěž, neúměrné nároky na udržování nebo distribuci pozornosti apod.). Mohou však být i výsledkem působení dlouhodobě nepříznivých pracovních podmínek s možným dopadem na psychický i zdravotní stav (syndromy přetížení až nemoci z povolání).

Dle [10] existuje řada různých modelů a metod, které slouží k identifikaci vlivů, rozhodujících o spolehlivosti LČ, čili ke zkoumání příčin lidských selhání a nehod. Nebezpečnost se obvykle chápe ve smyslu pravděpodobnosti určité ztráty (materiální škody) nebo míry ohrožení lidí. Často se uvádí obecný vzorec pro kvantifikaci rizik $R = p \times N$, kde R je míra rizik, p je pravděpodobnost nebezpečné události a N vyjadřuje potenciální následky (škody, ztráty).

Kvantifikační postupy se používají hlavně v oblasti finančních rizik, technické bezpečnosti a bezpečnosti informačních systémů. Problémem kvantitativních odhadů je, že prakticky nikdy nejsou k dispozici dostatečně platná, věrohodná a spolehlivá data, která mají být do výpočtů při kvantifikaci rizik dosazena.

O spuštění poruchových a nehodových dějů zpravidla rozhoduje těžko předvídatelná souhra faktorů a podmínek, které se navíc vzájemně různě ovlivňují. U řady rizik nejen, že nelze odhadovat závažnost následků předem, ale nelze je kvantifikovat ani po nastalých událostech. I v případě, že jsou k dispozici nálezy z provedených šetření, např. statistiky nastalých nehod nebo havárií, je jejich převádění do číselných dat nebo dokonce binárních stavů (např. ano –

ne, úspěch – selhání, dobře-špatně) možné jen v jednoduchých případech, které však nebývají ro navrhování preventivních ani nápravných opatření dostatečně relevantní.

Také určování závažnosti následků, pokud má být založeno na jejich kvantifikaci, naráží na problém, jak vyčíslit škody, jež by mohla nežádoucí událost způsobit – jak stanovit hodnotu poškozeného zdraví nebo životního prostředí, ale i snížení kvality produktů, ztráty důvěry zákazníků, neúspěchu probíhajících i budoucích změnových procesů atd. Je prakticky nemožné vyčíslit finanční následky zhoršení podnikové pověsti (image), ale i ztráty zákazníků a podílu na trhu. Totéž se týká následků odchodu zaměstnanců z podniku nebo zpoždění v přípravě nového produktu atd.

Dle [10] přes obtíže s kvantifikací nelze na hodnocení míry rizik rezignovat. Jako metodicky zvládnutelný postup lze doporučit klasifikaci rizik, tj. jejich zařazování do tříd podle pravděpodobnosti nebezpečných událostí a podle závažnosti dopadů. Význam takového kvalitativního hodnocení je především v tom, že poskytuje podklady potřebné pro programy prevence. Cílem relativní prioritizace je srovnávat různá rizika, procesy, technologie, alternativy, události, jejich následky apod. podle určených kritérií a znaků. Může se provádět tak, že se postupně porovnávají jednotlivé páry srovnávaných objektů (každý s každým). Postupovat je možno i tak, že jim jsou přidělovány číselné hodnoty, které vyjadřují např. relativní úroveň závažnosti, anebo se nucenou distribucí zařazují do procentně stanovených úrovní.

Metody hodnocení rizik musí umožnit maximálně možnou úplnost a komplexnost analýzy činností, jinak budou mít získané výsledky omezenou praktickou použitelnost. Ke komplexním analýzám rizik procesů a procesních sítí jsou proto nejvhodnější metody založené na kontrolních seznamech potenciálních rizik a jejich příčin. Cílem zde je co nejvíce plnit požadavek, aby nezůstaly opomenuty žádné významné příčiny potenciálních hrozeb.

Potřeba takového celostního přístupu k identifikaci rizik v podnikové praxi byla podnětem pro vývoj softwarové metody IPR-Identifikace Procesů a Rizik. Cílem metody IPR je komplexní analýza rizik a jejich potenciálních příčin:

- identifikovat **procesy**, které rozhodují o provozní bezpečnosti, spolehlivosti a produktivitě a o kvalitě produktů (výstupů),
- určit významné **faktory rizika**, které ohrožují nebo mohou ohrožovat podnikové procesy a cíle; a ujasnit si jejich vzájemné **vazby**-podmínky, vlivy, slabé stránky, kritická místa, nouzové situace,
- identifikovat co nejvíce závažných **kořenových příčin**, které se spolupodílejí nebo mohou spolupodílet na selháních a nehodových dějích,
- **hodnotit, klasifikovat rizika** podle závažnosti, resp. urgentnosti nápravných a preventivních opatření,
- **uspořádat** procesy a faktory **vedoucí k realizaci rizika** do logické a přehledné struktury – hierarchické seznamy (katalog rizik), grafy,
- shromáždit **popisy rizik** a nedostatků jako podklad jednak pro zavádění a zlepšování managementu rizik, jednak pro formulaci **nápravných a preventivních opatření** a pro jejich realizaci (karty rizik).

Dle [10] většina identifikovaných rizik a kritických míst, a tedy i možných nápravných a preventivních opatření, směřuje do oblastí:

- podnikový management – hierarchie cílů a úkolů, podnikové strategie, rozhodování, řízení zdrojů atd.,
- personalistika-nábor, výběr a příprava lidí pro náročné a nebezpečné činnosti, školení, incentivní a stabilizační programy atd.,
- programy rozvoje LZ, osobních a týmových předpokladů,

- formování podnikové kultury, reflektující spolehlivostní a bezpečnostní potřeby a požadavky, vytváření příznivé atmosféry pro rozvoj LZ,
- motivační systém – postupy finanční i nefinanční stimulace, formování postojeových předpokladů pro spolehlivou práci,
- vedení a řízení lidí v provozních podmínkách, určení úkolů a povinností, hodnocení lidí, zapojování, určování odpovědností a potřebných pravomocí, mezilidské vztahy, práce s klíčovými zaměstnanci,
- komunikace, informace a znalosti,
- využívání analýz rizik, nehod a skoronehod pro prevenci,
- podmínky pro týmové procesy zejména v oblastech managementu projektů a týmového rozvoje,
- pracovní podmínky-ergonomické řešení pracovišť,
- kontrola a hodnocení procesů – nebezpečných, ovlivňujících spolehlivost LČ, nápravných atd.,
- mimopracovní vlivy.

Nežádoucí dopady na spolehlivost jsou pak zřetelné zejména při implementaci organizačních a procesních změn. Uplatňování zásad změnového managementu proto patří k prioritním postupům prevence selhání. Druhou oblastí, v níž management může významně ovlivnit spolehlivost LČ, je znalostní management, a to zejména v rámci aktivit zaměřených na organizační učení [10]. Další postupy spadají zejména do segmentů controllingu a bezpečnostního managementu [10].

V praxi podnikových managementů je využívána řada různých modelů a přístupů k prevenci lidských selhání. Velmi užitečné jsou postupy založené na využívání zkušeností s událostmi, ke kterým již v minulosti došlo a nacházet u nich společné znaky. Skoronehody jsou ty události (situace), které by za určitých představitelných okolností mohly prokazatelně vést k narušení funkce procesů, k ekonomickým ztrátám, k nesplnění úkolu apod., ale z různých organizačních, lidských, technických důvodů proběhly bez závažných následků (nevyvolaly nehodový děj nebo byl nehodový děj včas zastaven).

Existuje-li na pracovišti zvýšené riziko vzniku nehod nebo nastane-li jakákoliv skoronehoda, mimořádná situace či nežádoucí vychýlení průběhu procesů z běžných mezí, je zpravidla možné odhalit příčiny těchto rizik či událostí, které mohou kdykoliv spustit další podobné události, případně s ještě závažnějšími následky, a neměly by proto zůstat nepovšimnuty. Rozbory skoronehod jsou proto bohatým zdrojem poznatků o příčinách nehod a zároveň i zdrojem podnětů a podkladů pro jejich prevenci, a to hlavně z těchto důvodů:

- včasnost získaných informací, která vyplývá ze skutečnosti, že skoronehody zpravidla předcházejí závažnějším nehodám,
- četnost skoronehod bývá vyšší než četnost nehod a umožňuje tak shromáždění nenahraditelného objemu poznatků pro formulaci preventivních opatření,
- ve srovnání s vyšetřovanými závažnými nehodami je v případě skoronehod nižší tendence nežádoucím způsobem zamlžovat skutečný průběh a okolnosti.

Zájem poskytovat informace o nastalých skoronehodách a zjištěných rizicích musí proto být podporován vhodnými stimuly, zejména:

- zaručení absolutní beztrestnosti, a to i v případě, že v souvislosti s ohlášenou skoronehodou došlo k porušení předpisů nebo postupů (je třeba zajistit maximální důvěryhodnost této záruky),
- stanovení pravidel jednání souvisejícího se skoronehodami, které účinným způsobem předejde existujícím obavám a nedůvěře v deklarovanou beztrestnost (např. zaručení anonymity),

- využití pozitivních forem motivace (incentiv) - finanční nebo jiné odměny zohledňující závažnost identifikovaného rizika a navrhovaných preventivních opatření,
- rozšíření komunikace s pracovníky na oblast subjektivně vnímaných rizik, která nejsou vázána na události (skoronehody), ale jsou výsledkem dlouhodobě získávaných poznatků a zkušeností-umožňuje se tím předávat obecně formulovaná zjištění (např. v případě, že „by došlo k porušení předpisu ...“ namísto „došlo k porušení předpisu ...“); výhodou je i podpora zájmu pracovníků hledat rizika a zobecňovat zkušenosti, což je významný předpoklad proaktivních přístupů,
- zpracování srozumitelné instrukce podporující zájem a akceptaci cílů,
- vhodné formy přípravy – rozvoj informovanosti a potřebných schopností a znalostí,
- pravidelné poskytování rychlé zpětné vazby o výsledcích a přínosech monitorování skoronehod.

Shrnutí klíčových způsobů zvyšování spolehlivosti lidského činitele dle [10] je:

1. Systematické analyzování (identifikace) rizik, jejich zdrojů, nebezpečných pracovních míst a činností.
2. Průběžné monitorování procesů vedoucích k realizaci a faktorů, které ovlivňují spolehlivost chování.
3. Uplatňování postupů, jejichž cílem je proaktivně předcházet nežádoucím událostem.
4. Odstraňování zdrojů nadměrné zátěže a z nich vyplývajících stresů, obav, únavy.
5. Optimalizace podnikových předpisů a dokumentů (systematika, obsah, forma, přehlednost, adresnost, uspořádání, dostupnost).
6. Rozvoj schopností, znalostní management, výchova (osvěta) a výcvik zaměstnanců k vnímání rizik a k odpovědnému přístupu, sebereflexi, rozvoj schopností zvládat rizika.
7. Podpora motivace zaměstnanců ke zlepšování pracovních schopností (kvalifikace).
8. Rozvíjení schopností myšlení o rizicích.
9. Důraz na výběr a přípravu pracovníků pro profese se zvýšenou odpovědností, náročností a rizikovostí.
10. Odborná příprava pracovníků-vstupní a periodická školení, programy dlouhodobé profesní přípravy, formování postojů, dovedností, schopností, příprava na mimořádné situace, simuláční výcvik, informovanost atd.
11. Postupy delegování odpovědností a pravomocí a vytváření podmínek pro týmovou, kolektivní odpovědnost. Posilování ochoty přebírat osobní odpovědnost.
12. Využití motivační stimulace, incentivních programů, aktivačních a sankčních postupů, oceňování, odměňování, hodnocení, zapojování zaměstnanců, koncepce vlastníků procesů...
13. Respektování názorů a námětů pracovníků na všech úrovních, podpora námětů ke zlepšování, inovacím.
14. Nábor nových pracovníků, výběr, rozmísťování a filtrace pracovníků, využití psychologické diagnostiky a metod monitorování pracovníků z hlediska spolehlivého chování.
15. Stabilizační (antiflukтуаční) programy zaměřené na kvalifikované a osvědčené pracovníky.
16. Postupy sestavování a vedení pracovních týmů s cílem zlepšovat jejich činnost a výkonnost – hodnocení a rozvoj individuálních dispozic pro týmovou práci (psychických, osobnostních, komunikačních), sestavování týmů, přidělování týmových rolí, prevence konfliktů atd. – metoda HIT, brainstorming, brainwriting...

17. Péče o zdravotní stav a aktuální psychosomatický stav pracovníků.
18. Ergonomické řešení pracovišť, pracovních podmínek, pracovního prostředí, organizace práce, vybavení, softwaru, optimalizace pracovní zátěže, pracovních nároků, pracovní doby, režimu práce a odpočinku-prevence stresových situací nebo naopak déletrvající nízké zátěže při opakovaných, rutinních, stereotypních činnostech (monotonie, vigilance) atd. Podpora spokojenosti s pracovními podmínkami.
19. Podpora komunikace, informačních toků (např. informace o záměrech a úkolech zvyšování produktivity, o potenciálních i nastalých nehodách, o rizicích souvisejících se selháním techniky a lidského činitele, o provedených opatřeních atd.), rozvoj motivace k vertikální i horizontální komunikaci.
20. Využití účinných metod sběru informací o situacích ohrožujících kvalitu produktů i o nehodách a skoronehodách a dále o zvláště úspěšných zásazích pracovníků v mimořádných situacích.
21. Péče o firemní kulturu, ovlivňování sociálního klimatu na pracovištích-sociální chování vedoucích pracovníků, interpersonální vztahy, prevence konfliktů, podpora vzájemného respektu, loajality atd.
22. Sladňování podnikových a individuálních potřeb, zájmů, uznávaných hodnot a cílů.
23. Hodnocení lidí a chování – hodnotící pohovory, hodnocení výkonu, dotazníky, 360 stupňová zpětná vazba atd.

5. ZÁVĚR

Práce ukazuje, že lidský faktor je jedním ze základních činitelů, které předurčují bezpečnost procesů, technických zařízení a technických děl. Je však třeba uvést, že lidský faktor nelze brát jen jako negativní faktor, jak se to činí ve většině dosavadních prací spojených s bezpečností a ochranou zdraví při práci. Je třeba rozpoznat, že hraje jak pozitivní, tak negativní roli v lidské bezpečnosti a že právě pozitivní role vede k rozvoji poznání, ke zvládnutí kritických úkolů, např. dobrý nápad a účinná reakce vede k zastavení procesů logicky vedoucích neodvratně k havárii atd.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D. *Ochrana osob a majetku*. ISBN 978-80-01-04843-6. Praha: ČVUT 2011, 301 p.
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208 p.
- [3] ŠIMKO, I. Modely riadenia ľudských zdrojov. In: *Manažérstvo životného prostredia 2007*. ISBN 978-80-89281-18-3. Žilina: Strix et VeV 2009, pp. 436-453.
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D. *Strategické řízení bezpečnosti území a organizace*. ISBN 978-80-01-04844-3. Praha: ČVUT 2011, 483 p.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ ČMKOS A ASO. *Bezpečnost práce – nedílná součást života*. ISBN 978-80-90391-79-6. Praha: ČMKOS 2008, 172 p. www.cmkos.cz www.esfcr.cz
- [6] KOLEKTIV AUTORŮ VÚBP. *Encyklopedie BOZP*. Praha: VUBP 2009. <http://web.vubp-praha.cz/wiki/index.php?title=Ergonomie&oldid=12350>
- [7] VÚBP. *Správná praxe pro malé a střední podniky. Úvod do bezpečnosti a ochrany zdraví při práci*. Praha: VUBP 2009.
- [8] REASON, J. *Human Error*. Cambridge: University Press 1990.
- [9] GUSTIN, J. F. *Disaster Recovery Planning: a Guide for Facility Managers*. ISBN 0-88173-323-7 (FP), 0-13-009289-4 (PH). Lilburn: The Fairmont Press, Inc. 2002, 304 p.
- [10] KRULIŠ, J. *Jak vítězit nad riziky*. ISBN 978-80-7201-835-2. Praha: Linde 2011.

OCHRANA MÄKKÝCH CIEĽOV V BEZPEČNOSTNOM PROSTREDÍ ČR

PROTECTION OF SOFT TARGETS IN THE SECURITY ENVIRONMENT OF CZECH REPUBLIC

Zuzana Kubíková

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 166 29 Praha 6, Česká republika;
zuzana.kubikova@fsv.cvut.cz

Abstrakt: Bezpečnostná situácia vo svete sa za posledné obdobie výrazne zhoršila, na čo poukazuje aj narastajúci počet útokov vedených na objekty, ktoré sú charakteristické nízkym stupňom ochrany a vysokou koncentráciou ľudí – tzv. mäkké ciele. Takmer vždy sú tieto útoky sprevádzané veľkým množstvom obetí. Zhoršený stav bezpečnostnej situácie znamená aj zvýšenú potrebu ochrany mäkkých cieľov, kde sa v súčasnosti stretávame s nejedným problémom – od neschopnosti vytvorenia jednotnej medzinárodne platnej definície, až po aplikáciu vhodného bezpečnostného systému. Momentálne sa iba veľmi málo štátov začalo zapájať do snahy o zlepšenie danej situácie, preto je veľmi dôležité neustále vyzdvihovanie povedomia o možnostiach a spôsoboch, ako k riešeniu spomínaných problémov v oblasti mäkkých cieľov prispieť.

Kľúčové slová: Mäkké ciele; riziko; ochrana; teroristický útok; násilná trestná činnosť.

Abstract: The security situation in the world has deteriorated considerably over the last period, as evidenced by the growing number of attacks on objects characterized by low levels of protection and a high concentration of people - soft targets. Almost always, these attacks are accompanied by a large number of casualties. The deterioration in the security situation also means an increased need to protect and defend soft targets, where we currently face several problems - from the inability to create a single internationally valid definition to the application of an appropriate security system. At the moment, very few countries have begun to engage in an effort to improve the situation, so it is very important to constantly raise awareness of the possibilities and ways to contribute to addressing these soft targets.

Key words: Soft targets; risk; protection; terrorist attack; violent crime.

1. ÚVOD

Mäkké ciele predstavujú v súčasnosti oblasť, ktorej sa aj napriek postupnému zapájaniu štátov a rôznych organizácií a inštitúcií, venuje len malé percento spoločnosti. Ide v podstate o celkom novú problematiku, ktorá vzhľadom na narastajúci počet útokov a zjavnú atraktivitu v očiach útočníkov, vyžaduje potrebu riešenia. Problematika je zároveň jedinečná v tom, že vytvára množstvo rôznych pohľadov na danú vec a mnoho odborníkov sa nedokáže zhodnúť na tom, čo vlastne mäkké ciele sú. Tieto skutočnosti vytvárajú priestor na prácu a uskutočňovanie výskumov, ktorými by sme mohli prispieť k zlepšeniu pochopenia oblasti.

Zhoršený stav bezpečnostnej situácie znamená aj zvýšenú potrebu ochrany mäkkých cieľov, kde sa v súčasnosti stretávame s nejedným problémom – od neschopnosti vytvorenia jednotnej medzinárodne platnej definície, až po aplikáciu vhodného bezpečnostného systému. Práca ukazuje riešenie pre obchodné centrum v Prahe,

2. SÚHRN POZNATKOV K RIEŠENEJ PROBLEMATIKE

V priebehu posledných pár rokov sa výrazne zvýšil počet teroristických útokov v Európe, čo vyvolalo značné napätie a nervozitu. Nie len v Európe ale po celom svete sa teroristické útoky a iné násilné trestné činnosti čoraz častejšie koncentrujú v okolí cieľov, ku ktorým je ľahký prístup a sú charakteristické vysokou koncentráciou ľudí a relatívne nízkym stupňom ochrany – tzv. mäkké ciele. Súčasná spoločnosť však stále nie je dostatočne oboznámená s týmto pojmom čo spôsobuje značné množstvo problémov.

2.1. Vymedzenie základných pojmov

Slovné spojenie *mäkké ciele* pochádza z anglického *soft target*, ktoré má svoju silu a výrečnosť vo svete, zatiaľ čo jeho preklad sa často stráca vo vlne nesprávneho pochopenia. V súčasnosti neexistuje jednotná definícia mäkkých cieľov avšak vo všeobecnosti predstavujú nedostatočne chránené civilné objekty, v ktorých sa zhromažďuje veľké množstvo ľudí. Vzhľadom na uvedené sa často stretávame aj s označením „*crowded places*“ alebo „*places of mass gathering*“, ktoré sú nesprávne chápané ako ekvivalent mäkkých cieľov. Pojmy mäkké ciele aj *crowded places/places of mass gathering* vyjadrujú vo všeobecnosti miesta s vysokou koncentráciou ľudí, avšak s tým rozdielom, že s *crowded places* nie je spájaný bezpečnostný význam. Je dôležité si tiež uvedomiť, že o vymedzení mäkkých cieľov hovoríme iba v spojitosti s teroristickými alebo násilnými útokmi. Neznamená to teda, že nie sú dobre chránené voči iným hrozbám (napríklad majetková trestná činnosť) a často disponujú rôznymi kvalitnými prvkami ochrany ako sú: kamerový systém, poplachové zabezpečovacie a tiesňové systémy či fyzická ochrana (napríklad obchodné centrá).

Mäkké ciele predstavujú ľudí, zhromaždenia ľudí alebo priestory a objekty, ktoré nie sú nijakým spôsobom chránené voči teroristickému útoku, prípadne inej násilnej trestnej činnosti, alebo úroveň ich ochrany je minimálna. Na základe charakteristík môžeme za mäkké ciele považovať:

- základné, stredné a vysoké školy a školské zariadenia (telocvičňa, jedálne, internáty,...),
- športoviská,
- obchodné centrá a obchodné komplexy,
- divadlá a kiná, koncertné sály,
- úrady,
- kaviarne,
- reštaurácie,
- bary,
- diskotéky,
- kostoly a cirkevné pamiatky,
- trhy a jarmoky,
- polikliniky a nemocnice,
- hotely,
- námestie,
- múzeá a galérie,
- zábavné centrá,
- vlakové a autobusové stanice, letiská, prístavy,
- vlakové súpravy a lietadlá,
- rôzne zhromaždenia ľudí.

Všetky tieto objekty sú špecifické hlavne tým, že o nich ako o mäkkých cieľoch hovoríme iba v súvislosti s vážnymi incidentmi / násilnými trestnými činnosťami (napr. mass shooting) alebo teroristickými útokmi, voči ktorým nie sú dostatočne chránené. Nedostatočná ochrana pred

spomínanými druhmi útokov ale neznamená ich neschopnosť ochrany voči inej hrozbe, ako napríklad krádeže. Objekty sú veľmi často zabezpečené minimálne kamerových systémom alebo aj osobnou ochranou.

2.2. Bezpečnostné prostredie

Prostredie samo o sebe predstavuje súbor javov a procesov, veľkú skupinu činiteľov, s ktorými je referenčný objekt v interakcií, a zároveň predstavuje súbor vplyvov týchto činiteľov na referenčný objekt. Prostredie sa neustále mení a vyvíja, čo znamená, že môže mať značný vplyv na procesy k organizácií. Bezpečnostné prostredie teda odzrkadľuje bezpečnostnú situáciu v určitom čase v určitom priestore [1]. Bezpečnostné prostredie následne rozdeľujeme na vonkajšie a vnútorné.

Vonkajšie bezpečnostné prostredie predstavuje priestor zvonka hraníc jednotlivých mäkkých cieľov a môže byť bližšie alebo vzdialené. Oba druhy dokážu značným spôsobom ovplyvniť chod procesu manažerstva bezpečnosti (ďalej iba MB) a tak aj bezpečnosť referenčného objektu. Vonkajšie prostredie je ovplyvňované hlavne okolitou kriminalitou. Zvýšená kriminalita – nárast trestnej činnosti v okolí značne ovplyvní vonkajšie prostredie mäkkého cieľa, čo sa následne odrazí na správnom fungovaní a riadení objektu. Keďže mäkké ciele sú objekty s minimálnou alebo žiadnou ochranou voči násilnej trestnej činnosti, alebo teroristickým útokom, ich potenciálna hrozba spôsobí zmeny vo vonkajšom okolí a daný objekt bude musieť prehodnotiť svoje bezpečnostné ciele, ktoré chce dosiahnuť, prípadne ich zmeniť tak, aby sa minimalizovala pravdepodobnosť spôsobenia akýchkoľvek škôd na majetku a zdraví či živote ľudí. Pokiaľ je v objekte (organizácií) zavedený proces manažerstva bezpečnosti, je možné aplikovať v jednotlivých krokoch zmeny tak, aby sa upravili požadované ciele a výstupy (napr. namiesto bezpečnosti ľudí sa zamerať viac na ochranu a obranu samotného objektu).

Vnútorné bezpečnostné prostredie predstavuje priestor, nachádzajúci sa zvnútra hraníc mäkkých cieľov (referenčných objektov), ktorý môže ovplyvniť bezpečnosť objektu. Vnútorné bezpečnostné prostredie ovplyvňujú sociálne a fyzikálne činitele, ktoré môžu ovplyvniť napríklad počet zainteresovaných pracovníkov, preverenie ich schopností a zručností, umiestnenie na vhodné pozície, usporiadanie priestorov, a ďalšie. Nesprávny – nevhodný výber zamestnancov, alebo akékoľvek iné negatívne ovplyvnenie vnútorného prostredia činiteľmi, môže následne ovplyvniť plynulosť a správnosť procesu manažerstva bezpečnosti (napr. zlý výber bezpečnostného manažéra môže negatívne ovplyvniť proces rozhodovania a určovania bezpečnostných cieľov).

2.3. Mäkké ciele v lokálnom prostredí

Lokálne prostredie predstavuje súbor materiálnych, sociálnych, ekonomických a duchovných činiteľov, ktoré dokážu v značnej miere ovplyvňovať existenciu bytia, utvárania a činností referenčných objektov (jednotlivci, sociálne skupiny). V konkrétnom lokálnom prostredí je podľa [2] možné identifikovať tieto druhy mäkkých cieľov:

- stále objekty, prístup do ktorých je v podstate neobmedzený;
- dočasné objekty, do ktorých je prístup verejnosti obmedzený v určitú dobu dňa;
- príležitostné objekty, kde nie je určená doba prístupu pre verejnosť a ľudia sa na týchto miestach zhromažďujú len príležitostne.

Identifikácia mäkkých cieľov je rôzna v závislosti od konkrétneho skúmaného lokálneho prostredia, pričom jednotlivé ciele je možné identifikovať z dvoch pohľadov: štátu a útočníka. Identifikácia MC (*mäkký cieľ*) v konkrétnom lokálnom prostredí spočíva hlavne v rozpoznaní

ohrozených objektov spĺňajúcich predpoklady na to, aby boli považované za mäkké ciele a zároveň predstavovali atraktívny cieľ pre útočníka. Za predpoklady môžeme považovať napríklad: ľahký prístup, minimálna ochrana, vysoká koncentrácia ľudí.

2.4. Bezpečnosť

Bezpečnosť predstavuje stav systému, kedy sú riziká plynúce z procesov odstránené alebo znížené na minimum [2]. Vo význame vnútornej bezpečnosti [2] je tento pojem chápaný ako:

- súhrn spoločenských vzťahov, ktoré upravuje právo a ktoré chránia práva a oprávnené záujmy fyzických a právnických osôb, záujmy spoločnosti a ústavné zriadenie republiky;
- faktický stav / úroveň, ako sa tieto vzťahy chránia;
- kategóriu, v ktorej sa chápe bezpečnosť ako prístupná miera nebezpečenstva.

2.5. Zdroj ohrozenia

V súvislosti s mäkkými cieľmi môže ísť o potenciálne hrozby teroristických útokov a zvýšený počet násilnej trestnej činnosti v blízkom okolí alebo útoky priamo smerované na konkrétny mäkký cieľ, ktoré budú mať za následok zmeny aplikované do procesu manažmentu rizík, aby sa predišlo opakovaniu negatívnej udalosti a došlo tak k zlepšeniu bezpečnosti a optimalizácii procesu s požadovanými výstupmi [2].

2.6. Útok

Stretneme sa s viacerými definíciami a chápaniami pojmu útok, ale vo všeobecnosti ho môžeme definovať ako jednanie, ktoré má za následok ohrozenie záujmu chráneného trestným zákonom, je vyvolané úmyselným protiprávnym konaním človeka, určitou mierou nebezpečným pre spoločnosť [2]. Spravidla je útok svojou povahou trestným činom [2].

2.7. Teroristický útok

Ako už bolo spomenuté, o objektoch hovoríme ako o mäkkých cieľoch iba v prípade, že im hrozí teroristický útok, prípadne iný druh násilnej trestnej činnosti. Na území Slovenskej republiky trestný zákon 300/2005 Z.z. § 419 definuje teroristický útok nasledovne „*Kto v úmysle poškodiť ústavné zriadenie alebo obranyschopnosť štátu, narušiť alebo zničiť základnú politickú, hospodársku alebo spoločenskú štruktúru štátu alebo medzinárodnej organizácie, závažným spôsobom zastrašiť obyvateľstvo alebo donútiť vládu štátu alebo iný orgán verejnej moci alebo medzinárodnej organizácie, aby niečo konala, opomenula alebo strpela*

- a) hrozí spáchaním útoku alebo spácha útok ohrozujúci život, zdravie človeka alebo jeho osobnú slobodu,*
- b) zničí, znefunkční alebo poškodí verejné zariadenie, dopravný systém, telekomunikačný systém, informačný systém, vrátane závažného bránenia vo fungovaní informačného systému alebo prerušenia fungovania informačného systému, pevnú plošinu na podmorskej plynčine, energetické zariadenie, vodárenské zariadenie, zdravotnícke zariadenie alebo iné dôležité zariadenie, verejné priestranstvo alebo majetok, alebo takým konaním hrozí,*
- c) naruší, znefunkční alebo preruší dodávku vody, elektrickej energie alebo iného základného prírodného zdroja s cieľom vydať ľudí do nebezpečenstva smrti alebo ťažkej ujmy na zdraví alebo cudzí majetok do nebezpečenstva škody veľkého rozsahu, alebo takým konaním hrozí,*
- d) zmocní sa lietadla, lode, iného prostriedku osobnej dopravy alebo nákladnej dopravy alebo pevnej plošiny na podmorskej plynčine, alebo nad takým dopravným prostriedkom alebo pevnou plošinou vykonáva kontrolu, alebo zničí alebo vážne poškodí navigačné zariadenie alebo zasahuje do jeho*

prevádzky, alebo oznámi nepravdivú informáciu, čím ohrozi život alebo zdravie ľudí, bezpečnosť takého dopravného prostriedku, alebo vydá cudzí majetok do nebezpečenstva škody veľkého rozsahu, alebo takým konaním hrozí,

- e) *požaduje, vyrobí, získa, prechováva, vlastní, drží, dovezie, vyvezie, prevezie, dá prepraviť, dodá alebo inak použije výbušninu, jadrový materiál, rádioaktívnu látku, chemickú látku, biologický agens alebo toxín, strelnú zbraň, jadrovú zbraň, rádiologickú zbraň, biologickú zbraň, chemickú zbraň alebo inú zbraň, bojový prostriedok alebo materiál obdobnej povahy, alebo robí výskum a vývoj jadrovej zbrane, biologickej zbrane, chemickej zbrane alebo inej zbrane alebo bojového prostriedku alebo výbušniny, alebo zariadenia na výrobu, úpravu, skladovanie alebo použitie jadrových materiálov, rádioaktívnych látok, chemických látok alebo biologických agensov a toxínov, alebo takým konaním hrozí, alebo*
- f) *vydá ľudí do nebezpečenstva smrti alebo ťažkej ujmy na zdraví, alebo cudzí majetok do nebezpečenstva škody veľkého rozsahu tým, že spôsobí požiar alebo povodeň alebo škodlivý účinok výbušnín, plynu, elektriny alebo iných podobne nebezpečných látok alebo síl alebo sa dopustí iného podobne nebezpečného konania, alebo také nebezpečenstvo zvýši alebo sťaží jeho odvrátenie alebo zmiernenie, alebo takým konaním hrozí, potrestá sa odňatím slobody na dvadsať rokov až dvadsaťpäť rokov alebo trestom odňatia slobody na doživotie“.*

2.8. Výbušniny

Predstavujú explozívny materiál, čiže látky, ktoré sú schopné chemického výbuchu [3]. Sú to látky pevné, kvapalné alebo zmesi, ktoré majú pred výbuchom malý objem, sú schopné exotermickej výbušnej premeny a to aj bez prístupu atmosférického kyslíka. Počas tejto premeny sa vytvárajú plyny takého tlaku, rýchlosti a teploty, že ich účinok je veľmi deštruktívny na okolie. Šírenie výbuchu je rýchle [3]. Medzi výbušniny patria: streliviny, trhaviny, traskaviny a pyrotechnické zložky. Každý typ výbušniny je úplne iný, disponuje inými vlastnosťami, vyrábajú sa za použitia rôznych prostriedkov a využívajú sa na rôzne účely.

Použitie výbušnín pri útoku je veľmi obľúbené aj v prípade mäkkých cieľov, a to aj vzhľadom na jednoduchosť ich výroby v domácom prostredí, kedy sa na výrobu dajú použiť napríklad hnojivá, palivá (pri výrobe ANFO trhavín), dusičnany, peroxidy.

2.9. Kritická infraštruktúra

Kritickú infraštruktúru môžeme charakterizovať ako objekty osobitnej dôležitosti, ďalšie dôležité objekty, vybrané informačné a komunikačné prostriedky, zariadenia na výrobu a zásobovanie vodou, elektrickou energiou, ropou a zemným plynom a ďalšie časti majetku štátu a podnikateľských právnických a fyzických osôb určené vládou SR alebo iným kompetentným orgánom štátnej správy, ktoré sú nevyhnutné na zvládnutie krízových situácií, ochranu obyvateľstva a majetku, na zaistenie minimálneho chodu ekonomiky a správy štátu, ako aj jeho vonkajšej a vnútornej bezpečnosti a ktoré je nutné špeciálne ochraňovať. Sú to zariadenia, služby a informačné systémy životne dôležité pre obyvateľov a riadenie štátu, ktorých nefunkčnosť alebo zničenie môže ohroziť bezpečnostné záujmy štátu [4].

Dnešná spoločnosť sa na mäkké ciele pozerá z viacerých uhlov. Neexistencia jednotnej definície výrazne sťažuje schopnosť správneho pochopenia tohto pojmu. Z anglického target priamo vyplýva bezpečnostný / policajný prístup k veci, keďže pod target-cieľ chápeme prevažne objekty, ktoré sú priamym cieľom vedomého útoku. Keďže sa tento pojem objavuje v medzinárodnom bezpečnostnom prostredí relatívne krátku dobu, vytvára sa tak priestor pre transformáciu významu v závislosti od oblasti pohľadu.

2.10. Mäkké ciele z policajného prístupu

Ako už bolo spomenuté vyššie – pojem target sa priamo spája s bezpečnostným významom dotknutého objektu v súvislosti s útokom. Bezpečnostné zložky na SR, v ČR i v zahraničí vnímajú ako mäkké ciele výhradne ľudí – ľudské životy, ktoré treba chrániť. Aj keď medzi nej zaradíme najrôznejšie druhy objektov, ochrana je primárne zameraná na ochranu ľudí nachádzajúcich sa v týchto objektoch. Tento prístup zahŕňa aplikáciu bezpečnostných systémov zameraných v prvom rade na prevenciu, detekciu a prípadne odrazenie útočníka od spáchania činu. Môžeme si pod tým predstaviť napríklad fyzickú ochranu v objekte – sbs; mechanické zábranné prostriedky, elektronické bezpečnostné prostriedky, poplachové systémy – elektronické zabezpečovacie a tiesňové poplachové systémy, poplachové prenosové systémy, systémy kontroly vstupov, kamerové systémy.

2.10. Mäkké ciele z pohľadu hasičského záchranného zboru

Vnímanie týchto objektov z pohľadu záchranných zložiek je oveľa komplexnejšie ako v predchádzajúcom prípade. Zatiaľ čo na Slovensku sa problematike ochrany a obrany mäkkých cieľov venuje pomerne malá oblasť a väčšina verejnosti nie je s pojmom ani oboznámená, na území Českej republiky sa oblasti začínajú pomaly ale určite venovať všetky zložky integrovaného záchranného systému. Napríklad hasičský záchranný zbor ČR nepracuje terminologicky s pojmom mäkké ciele, ktorého význam prináša značné obmedzenia vzhľadom na definíciu slova target. V súčasnosti pracujú s novým pojmom, tzv. „spoločensky významné objekty“ ako podkategória mäkkých cieľov, za ktoré sa považujú objekty zvláštneho významu vzhľadom na požiadavky ochrany obyvateľstva. Nie je vylúčené, že objekty vnímané z policajného prístupu sú občas vnímané ako mäkké ciele aj Hasičským zborom, avšak nie je tomu tak vždy. HZS ČR sa zaujíma o mäkké ciele hlavne z hľadiska rôznorodej škály hrozieb a nie len z pohľadu uskutočnenia teroristického útoku alebo inej násilnej trestnej činnosti [5]. Vnímajú to hlavne z pohľadu ochrany obyvateľstva, pričom zohľadňujú ohrozenia spojené napríklad s možnou dopravnou nehodou spojenou s únikom nebezpečnej látky v blízkosti objektu, vznik požiaru v objekte alebo v jeho bezprostrednej blízkosti, ohrozenia spojené s meteorologickými vplyvmi – námraza, záplavy, apod. Ich prístup k veci vychádza samozrejme z platných právnych predpisov ako:

- zákon č. 239/2000 Sb., o integrovanom záchrannom systéme a o zmene niektorých zákonů v platnom znení,
- vyhláška Ministerstva vnútra č. 380/2002 Sb., k príprave a provádění úkolů ochrany obyvatelstva v platnom znení,
- zákon č. 320/2015 Sb., o Hasičském záchranném sboru České republiky a o změně některých zákonů,
- zákon č. 133/1985 Sb., p požární ochraně v platném znení,
- zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů,
- zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu.

Ministerstvo vnútra, generálne riaditeľstvo HZS ČR sa v súčasnosti intenzívne venuje tvorbe novej koncepcie ochrany obyvateľstva. Ich prioritné zameranie sa sústreďuje na podkategóriu mäkkých cieľov: spoločensky významných objektov. Jedná sa o nový pojem, ktorý pre účely špecifického pohľadu ochrany obyvateľstva v túto chvíľu zaujíma pre účely pilotného projektu, o vybrané/významné obchodné centrá.

HZS ČR teda za spoločensky významné objekty považuje miesta s vysokou koncentráciou osôb a nízkou úrovňou zabezpečenia ochrany života a zdravia obyvateľstva, kde je väzba na zaistenie plnenia opatrení ochrany obyvateľstva v týchto objektoch. Ďalej jasnými špecifikáciami vymedzuje tie druhy stavieb, ktoré považujú za spoločensky významné objekty [5]:

- stavby s zhromažďovacím priestorom – nachádza sa v nich priestor pre zhromažďovanie osôb, pričom hustota osôb prevyšuje medzné normové hodnoty, ktoré sú dané počtom osôb v priestore v závislosti na jeho výškovom pásme a líši sa podľa druhu daného priestoru; a sú určené ku kultúrnym, športovým alebo obdobným účelom;
- stavby pre obchod s predajnou plochou.

2.11. Mäkké ciele z pohľadu civilného inžinierstva

Väčšina inštitúcií, ktorá sa špecializuje na oblasti civilné inžinierstva (stavby a konštrukcie) vníma oblasť ochrany mäkkých cieľov ako potrebu zlepšovania odolnosti stavieb a konštrukcií pred prípadným útokom. V súčasnosti sa mnoho odborníkov zameriava prevažne na ochranu pred účinkami výbuchu a jeho následkov. Vnímajú ľudí a ľudské životy ako ciele, avšak sústredujú sa výhradne na objekty, v ktorých sa ľudia nachádzajú, nie na nich samotných.

2.12. Motivácia útočníkov

Frekvencia útokov na mäkké ciele v poslednej dobe výrazne stúpa [6]. Nielen že sa zvyšuje počet teroristických útokov, ale v neposlednom rade aj rôznych iných vážnych incidentov – násilných trestných činností, pri ktorých je motív útoku často veľmi nejasný.

V prípade teroristov možno podľa [3] hovoriť hlavne o nasledujúcich motiváciách vedúcich k plánovaniu a spáchaniu útokov:

- **náboženská motivácia** – hlavne v súvislosti s islamským štátom, ktorý vníma každého človeka iného vierovyznania ako nepriateľa, ktorého treba odstrániť,
- **ideologická motivácia** – zahŕňa extrémnu náboženskú, politickú, etnickú alebo rasovú orientáciu, pričom útočníci sú vo veľkej miere vopred pripravený profesionáli,
- **experimentálna motivácia** – v súvislosti s útokmi na mäkké ciele nie je tento druh motivácie častý, teroristi väčšinou testujú funkciu svojich zariadení alebo túžia po rozruchu,
- **ničiteľská motivácia** – častým dôvodom je idiosynkratizmus, čiže chorobný odpor voči istej skupine ľudí,
- **afektová motivácia** – teroristický útok spáchaný pod vplyvom silného afektu. v súvislosti s mäkkými cieľmi sa s touto motiváciou stretávame najčastejšie v prípade osamelých vlkov ale páchatel'ov násilnej trestnej činnosti.

2.13. Druhy útokov na mäkké ciele

Útoky na mäkké ciele je možné podľa [2] rozdeliť do nasledujúcich skupín:

- teroristický útok spáchaný teroristickými skupinami alebo osamelými vlkami,
- iné vážne incidenty / násilná trestná činnosť: organizovaný zločin alebo útoky jednotlivcov (masový, sériový, náhodný,...).

Teroristický útok na mäkký cieľ môže byť spáchaný **členmi teroristickej skupiny** alebo **osamelým vlkom** [2]. Z hľadiska nebezpečnosti je významné hodnotiť útoky tzv. osamelých vlkov. Tento pojem pochádza z anglického „*lone wolf*“ a predstavuje páchatel'a teroristického útoku avšak bez priameho prepojenia na akúkoľvek teroristickú skupinu. Napriek ich neexistujúcemu prepojeniu sa páchatelia verejne hlásia k takýmto skupinám a často konajú v ich mene. Rozdiel medzi členom teroristickej skupiny a osamelým vlkom spočíva často aj v ich motivácií. Spôsob spáchania útokov môže byť podobný, avšak teroristi sú hnaní hlavne silnou náboženskou či politickou motiváciou, zatiaľ čo osamelý vlk môže konať na základe akéhokoľvek popudu, napríklad sympatizovanie s teroristickou skupinou, aféra, výpoveď v práci, osobná pomsta,

psychické narušenie. Svoje činy často páchajú bez predchádzajúcej prípravy, konajú teda v afekte. Sú to jednotlivci bez vodca, čo znamená, že nie sú nikým inštruovaní a potrebné vzdelanie, znalosti a vybavenie si musia zaobstarať sami. Aktivity vykonávajú samostatne, maximálne vo dvojici s veľmi blízkou osobou.

Niekedy je náročné rozlíšiť, či sa v prípade útoku jednalo o člena teroristickej skupiny alebo osamelého vlka. V zásade však platí, že osamelí vlci sa vyznačujú svojou nepredvídateľnosťou a ich ciele sú častokrát celkom náhodné, čo sťažuje aj prácu bezpečnostných zložiek v procese odhaľovania teroristických útokov [6].

2.14. Iné vážne incidenty

Mäkké ciele nie sú ohrozené iba zvyšujúcou sa aktivitou teroristov. Ako je možné vidieť na obrázku 1, vo svete sa čoraz viac stretávame aj s inými vážnymi incidentmi., ktoré predstavujú obrovské riziko.

2.15. Teroristický útok vs. vážny incident

Rozdiel medzi teroristickým útokom a inými vážnymi incidentmi spočíva hlavne v motivácii útočníkov [6]. Modus operandi môže byť rovnaký, avšak motívy sa líšia. Kým teroristov poháňajú silné náboženské alebo politické ciele, motiváciou v druhom prípade môže byť takmer čokoľvek, od psychického zlyhania až po osobnú pomstu [6].

V prípade týchto vážnych incidentov (inak násilné trestné činy) je najsilnejším pojmom *mass shooting*. Rovnako ako pri mäkkých cieľoch, aj tu chýba jednotná definícia pojmu, čo vedie k ťažkostiam so zaradením útoku.

Mass shooting, čiže masová strelba sa stáva čoraz obľúbenejším spôsobom útoku, kedy dochádza často k veľkému množstvu obetí [6]. Medzi tento druh útoku sa zaraďujú hlavne tie, pri ktorých dôjde k obetiam na životoch v počte minimálne 4-5 osôb vrátane páchatel'a. Niektoré definície však uvádzajú ako mass shooting alebo inak public mass shooting (slovensky verejná masová strelba) aj prípady, kedy nedôjde k žiadnej strate na životoch. Najviac záznamom o týchto útokoch pochádza z prostredia škôl a školských zariadení, objektov spojených s náboženstvom, napr. kostoly, mešity, synagógy; v reštauráciách, na uliciach, atď. [6]. Na obrázku 1 je uvedené iba malé percento útokov, ktoré sa v spomínanom období odohrali vo svete, avšak aj z toho malého množstva predstavuje až 16 % percent práve mass shooting. Pri analýze všetkých útokov na mäkké ciele by sme sa dopracovali k oveľa vyššiemu číslu.

Rozdiel medzi teroristickým útokom a inými vážnymi incidentmi spočíva hlavne v motivácii útočníkov. Modus operandi môže byť rovnaký, avšak motívy sa líšia. Kým teroristov poháňajú silné náboženské alebo politické ciele, motiváciou v druhom prípade môže byť takmer čokoľvek, od psychického zlyhania až po osobnú pomstu [6].

2.16. Formy útokov

Na základe analýzy teroristických útokov a iných vážnych incidentov z minulosti [6] je možné vyčleniť prevažujúce formy útokov:

- použitie improvizovaných výbušných zariadení,
- výbušné zariadenia nastražené vo vozidlách – zaparkovaných,
- automobilová bomba vedená samovražedným útočníkom,
- samovražedné bombové útoky (samovražedné vesty),
- útok s použitím palnej zbrane,

- útok s použitím chladnej zbrane,
- využitie vozidla na útoky.

Prehľad niektorých útokov na mäkké ciele od roku 2010 po súčasnosť						
2010	29.03.	Útok samovražedných atentátníkov v metre v Moskve	28.05.	Útok strelcov na dve menšiny islamskej sekty v Lahore v Pakistane	30.12.	Útok ozbrojencov na kresťanský dom v Bagdade
2011	24.01.	Samovražedný útočník odpálil nálož na letisku Domodedovo v Moskve	22.07.	Útok strelnou zbraňou a výbušninami (Breivik)	03.01.	Útok nožom v Pakistane
2012	12.03.	Benzínová bomba vhozená do Shia mešity v Belgicku	10.08.	Útok strelnou zbraňou na policajta na dochodku v Indii	28.02.	Útok strelnou zbraňou na novinára v Somálsku
2013	10.01.	Bombový útok na moslimskú menšinu v Quette v Pakistane	15.04.	Výbuch IED na Bostonskom maratóne	21.10.	Útok 12-ročného študenta strelnou zbraňou na strednej škole v Nevade
	10.01.	Útok 16-ročného študenta brokovnicou na strednej škole v Kalifornii	22.09.	Útok samovražedných atentátníkov v kostole v Pakistane	29.12.	Samovražedný atentát na železničnej stanici v Rusku
2014	14.10.	Útok 26-ročnej ženy chladnou zbraňou v škole v Žďari nad Sázavou	18.11.	Útok moslimov strelnými a chladnými zbraňami na židov v Jeruzaleme	06.12.	Útok strelnou zbraňou na pohrebe v Jemene
	24.10.	Útok 14-ročného študenta strelnou zbraňou na strednej škole vo Washingtone	16.12.	Útok militantov na armádov riadenú školu v Pakistane	21.04.	Útok strelnou zbraňou na zhromaždenie ľudí na Filipínach
2015	07.01.	Útok na redakciu Charlie Hebdo vo Francúzsku	08.01.	Útok na obchod s kóšer potravinami vo Francúzsku	13.11.	Útok v nočnom klube Bataclan vo Francúzsku
	24.02.	Útok strelnou zbraňou v reštaurácii Družba v Uherském Brodě	26.06.	Útok dodávkou na sklad spoločnosti Air Products vo Francúzsku	13.11.	Útok strelnými zbraňami a výbušninami v Paríži vo Francúzsku
2016	12.01.	Útok výbušninou v historickom centre európskej časti Istanbulu	22.03.	Útok výbušninou na letisku v metre v Bruseli	26.07.	Útok v kostole vo Francúzsku
	19.03.	Samovražedný útok v Istanbulu	14.07.	Útok nákladným autom a strelnou zbraňou v Nice vo Francúzsku	03.05.	Úmyselné založenie požiaru na výstave v Texase
2017	22.03.	Útok dodávkou na moste v londýnskom Westminsteri vo Veľkej Británii	15.09.	Útok kladivom na ľudí v centrálnej časti Francúzska	31.12.	Úmyselné podpálenie centra migrantov v Talianku
	22.05.	Samovražedný útok na koncerte v Manchesteri vo Veľkej Británii	15.09.	Útok výbušninou v londýnskom metre vo Veľkej Británii	31.12.	Výbuch motocykla s použitím VNS na pohrebe v Afganistane

Obr. 1. Prehľad útokov spojených s mäkkými cieľmi vo svete od roku 2010.

Spomenuté formy útokov patria v poslednej dobe k najpreferovanejších v súvislosti s útokmi na mäkké ciele [6]. Hlavné používanie podomácky vyrobených výbušnín je veľmi obľúbené vzhľadom na veľkú efektivitu a nízku nákladovosť. Vynaliezavosť útočníkov sa však každým dňom zlepšuje a čoraz častejšie sa začínajú vo svete šíriť obavy z prípadného biologického alebo chemického útoku. Len prednedávnom sa dokonca objavili dohady o využívaní novej formy útokov vo svete terorizmu – *komerčné drony*.

2.17. Výber cieľa útoku

Mäkký cieľ znamená ľahký cieľ. Minimálna ochrana a vysoký počet ľudí na jednom mieste zvyšuje atraktivitu a záujem útočníkov [6]. Okrem toho je dôležité, aby budúce ciele spĺňali určité, útočníkmi stanovené kritéria, na základe ktorých si následne vyberajú primárne ciele svojich útokov.

Pri výbere budúceho cieľa útokov preto zavážia hlavne nasledujúce kritéria:

- ľahký a nepozorovaný prístup (cieľ je dostupný),
- významnosť cieľa,
- mediálna pozornosť,
- slabá ochrana,
- vysoká symbolická hodnota.

Otázka výberu vhodného cieľa teda vychádza zo všeobecnej charakteristiky týchto miest., Čím je ochrana a obrana slabšia, tým je väčšia pravdepodobnosť napadnutia“ [6].

Dôležitým bodom pri príprave útoku je okrem výberu cieľa aj určenie vhodného času, Najväčšia mediálna pozornosť je venovaná útokom, ktoré boli zrealizované v období nejakého štátneho alebo náboženského sviatku, kedy dochádza aj k najväčším stratám na životoch z dôvodu veľkej koncentrácie ľudí na jednom mieste.

2.18. Schopnosti páchatel'ov

Členovia teroristických skupín ale aj mnohí páchatelia násilnej trestnej činnosti sa na útoky pripravujú dlhodobo a precízne [6]. V rámci tejto prípravy získavajú množstvo schopností, ktoré následne využívajú pri svojich aktivitách. Ide najmä o:

- zručnosť pri používaní zbraní,
- precíznosť,
- trpezlivosť – nekonať v afekte,
- vzdelanie,
- schopnosť adaptovať sa v neznámom prostredí,
- schopnosť prispôbiť sa technikám a metódam protiteroristických agentúr a spravodajských organizácií z dlhodobého hľadiska,
- využívanie moderných technológií,
- schopnosť obstarávať finančné prostriedky,
- výber vhodného cieľa.

3. ANALÝZA SÚČASNÝCH PRAKTICKÝCH RIEŠENÍ V SR/ČR A V ZAHRANIČÍ

Identifikovanie a hodnotenie mäkkých cieľov je nesmierne dôležité pre začiatok riešenia ich ochrany a obrany pred teroristickými útokmi alebo inými vážnymi incidentmi ako napríklad mass shooting, ktoré sa stali v poslednej dobe veľmi obľúbeným spôsobom útoku. Vzhľadom na charakteristiku mäkkých cieľov môžeme medzi nej zaradiť nespočetné množstvo najrôznejších objektov vrátane zhromaždení ľudí, a práve preto je najvhodnejšia identifikácia týchto cieľov v rámci konkrétneho lokálneho prostredia. Na identifikáciu dôležitých (významných) mäkkých cieľov, pri ktorých je pravdepodobnosť ich výberu potenciálnymi útočníkmi násilnej trestnej činnosti najvyššia sa veľmi často využíva metóda CARVER [6]. Využívanie tejto metódy môžeme zaznamenať hlavne na Slovensku a v Českej republike.

Nedostatočná alebo lepšie povedané neúčinná obrana zo strany štátu proti teroristickým útokom alebo násilným trestným činom je jedným z hlavných znakov mäkkých cieľov. Je dôležité nájsť spôsobu ako ich brániť a chrániť, avšak v niektorých prípadoch je táto situácia sťažená aj skutočnosťou, že veľké percento mäkkých cieľov je v súkromnom vlastníctve, čo zjavne obmedzuje poskytnutie ochrany štátom.

Najpreferovanejšou formou zabezpečovania niektorých mäkkých cieľov u nás aj v zahraničí je využívanie tzv. „low-cost“ varianty [6]. **Low-cost variant** predstavuje využívanie bezpečnostných prvkov ochrany v čo najnižšej cenovej relácii. Nevýhodou v tomto prípade je fakt, že hoci

aplikovaný systém môže zabrániť alebo odhaliť určité druhy trestnej činnosti vo fáze pokusu (napríklad majetková trestná činnosť), nedokáže ale brániť, alebo bráni neúčinne, objekt pred hrozbami teroristického útoku alebo násilnej trestnej činnosti. Napriek týmto nedostatkom je low-cost obľúbené pre nízke prevádzkové náklady.

Opakom low-cost je *high-cost variant* [6]. Znamená to využívanie kvalitných bezpečnostných prvkov ochrany bez ohľadu na vysokú obstarávaciu cenu a prevádzkové náklady. Stretnúť sa s ňou môžeme v prípade už spomínaných tvrdých cieľov. Ochrana mäkkých cieľov je veľmi zložitá vzhľadom na rozmanitosť objektov a rôznych bezpečnostných charakteristík. Preto je správne a dôkladné definovanie zdrojov ohrozenia a spôsobov útokov jedným z najdôležitejších krokov pri tvorbe bezpečnostného systému mäkkých cieľov, ktorý bude naozaj efektívny [6].

V prípade ochrany objektov je veľkým prínosom využívanie koncepcie *CPTED* [6]. CPTED (Crime prevention through environmental design) alebo inak: prevencia kriminality pomocou environmentálneho dizajnu, ktorá je založená na presvedčení, že vhodným dizajnom priestorov a ich správnym využívaním môžeme dosiahnuť redukciu kriminálnych incidentov. Správne zvolený dizajn môže výrazne znížiť príležitosti k spáchaniu trestnej činnosti. Koncepcia CPTED je vytvorená za účelom prevencie kriminality, kedy sú jednotlivé prvky ochrany zkomponované v dizajne daného priestoru [6]. S využívaním tejto koncepcie je možné stretnúť sa hlavne v zahraničí, nakoľko ide o podstatne drahší spôsob zavedenia bezpečnostných systémov do prostredia.

Na území Českej republiky funguje využívanie tzv. HOT PIO BOX I. a HOT PIO BOX II [5]. Prvá varianta obsahuje vybavenie pre personál – bezpečnostných pracovníkov, zatiaľ čo druhá obsahuje základné ochranné pomôcky pre návštevníkov. Účelom zavedenia týchto boxov je zvýšenie bezpečnostných štandardov ochrany osôb nachádzajúcich sa v objektoch, čo dopĺňajú odborne vyškolení pracovníci. Medzi odporúčaný obsah HOT PIO BOX I. patrí hlavne ochranná maska CM-6 s kombinovaným ochranným filtrom, jednorazový ochranný oblek, rukavice, samolepiaca textilná páska, vytyčovacia páska, megafón s mikrofónom a akustickou sirénou, baterka, reflexná vesta, lekárnička, AED defibrilátor a iné. Medzi odporúčaný obsah HOT PIO BOX II. patria hlavne respirátory a rúška, úniková kukla, ochranné okuliare, rukavice, izotermická fólia, vákuovo balená prikrývka, hygienický balíček, balená voda a iné [5].

HZS ČR sa v súčasnosti intenzívne venuje spolupráci s obchodnými centrami, v rámci ich pilotného projektu (pilotný návrh systémového riešenia zapojenia mäkkých cieľov do plnenia úloh ochrany obyvateľstva). Obchodné centra boli vybrané z toho dôvodu, že spĺňajú podmienky pre zaradenie medzi mäkké ciele a zároveň spoločensky významné objekty. Práve pre svoju mimoriadne vysokú návštevnosť a nízku úroveň ochrany. Spolupráca beží už tretí rok. HZS ČR vytvoril pracovnú skupinu, ktorá jedná s manažmentom obchodných centier. Cieľom bolo zvýšiť bezpečnosť a ochranu a zároveň znížiť zraniteľnosť osôb, ktoré sa nachádzajú vnútri objektov a to tak, aby sa stal pre návštevníkov bezpečnejším hlavne vďaka bezpečnostnému systému, odborne vyškoleného personálu a neustálej spolupráci so záchrannými zložkami. V rámci tohto projektu spracovali obchodné centrá v spolupráci s HZS ČR podrobnú analýzu hrozieb pre centrum samotné ako aj jeho okolie [5]. Využívaná bola hlavne metóda mapovania rizík, pričom výstupom tejto analýzy bolo stanovenie miery rizík, následkov, stupňa poplachu integrovaného záchranného systému a predpoklad vyhlásenia krízového stavu. Výstupy poslúžili ako podklad pre prácu s objektami a aplikáciu opatrení zvyšujúcich bezpečnostné štandardy návštevníkov daných objektov. Zameranie padlo na opatrenia metodického charakteru, čo predstavuje predovšetkým tzv. smernice ochrany obyvateľstva pre návštevníkov obchodných centier. Tá informuje o možných rizikách a postupoch ochrany obyvateľstva a operatívnu dokumentáciu pre bezpečnostných manažérov týchto objektov v podobne jednoduchých základných inštrukcií reagujúcich na rôzne hrozby, ako napr. teroristický čin. Smernica je vo formáte karty A4 s obrázkami a slúži ako základný informačný materiál pre

návštevníkov obchodných centier. Obsahuje adresu a identifikáciu objektu, zdroje ohrozenia a rizík, spôsoby informovania o hroziacich či uskutočnených mimoriadnych udalostiach, kontakt na základné zložky IZS a tzv. QR kód obsahujúci rady a odporúčenia, ktorý odkazuje na HZS a asociáciu Záchranný kruh. Operatívna dokumentácia predstavuje jednoduchý manuál pre personál, ako postupovať pri aplikácii úloh spojených s ochranou osôb nachádzajúcich sa v obchodnom centre v reakcii na konkrétne vnútorné i vonkajšie riziká [5].

Téma ochrany mäkkých cieľov je momentálne výzvou pre celý svet. Teroristické skupiny začali v poslednom období meniť svoju taktiku a svoje aktivity presúvajú aj do štátov, ktoré nepatrili medzi ich primárne ciele.

Teroristické útoky a iné vážne incidenty predstavujú hrozby s výrazným vplyvom hlavne vo fázach pred a po útoku, čo znamená, že najväčší dôraz by mal byť kladený na aplikáciu účinných preventívnych opatrení a nástrojov na zmiernenie následkov [6]. Dôležitým krokom pri ochrane a obrane mäkkých cieľov je okamžitá reakcia, ktorá sa očakáva od profesionálne vycvičených ľudí, tzv. fyzická ochrana. Vo väčšine mäkkých cieľov však tento druh ochrany absentuje a keď je objekt napadnutý, nemá kto zasiahnuť. Vzhľadom na túto skutočnosť a dôležitosť zásahu v prvotnom štádiu útoku, je potrebné zdôrazniť potrebu zastúpenia fyzickej ochrany personálom - **aktívna verejnosť**. V prípade vzniku nežiaducej udalosti tak môžu požiadať o pomoc alebo poskytnúť pomoc ostatným, zabrániť vstupu okoloidúcim do postihnutej oblasti, zablokovať dvere a tak izolovať útočníka od ľudí, alebo v niektorých prípadoch priamo eliminovať útočníkov, ak nie je iná možnosť sebaobrany [6].

Zatiaľ čo v minulosti boli teroristické útoky smerované hlavne proti politickým činiteľom či silovým zložkám, v dnešnej dobe sa útočníci čoraz viac zameriavajú na mäkké ciele, čo je spôsobené hlavne postupným zlepšovaním bezpečnostných opatrení v jednotlivých štátoch. Zámerom je v tomto prípade vyvolať čo najväčšie obavy medzi civilným obyvateľstvom, dostať sa do povedomia ľudí a hlavne preformovať svet podľa svojej predstavy a to ovplyvňovaním vládnych mocností. Mnohé krajiny sa preto začali intenzívne venovať problematike spojenej s ochranou mäkkých cieľov, no aj naďalej ostáva nespočetné množstvo štátov, ktoré nie len že nijakým spôsobom legislatívne neupravujú ochranu mäkkých cieľov, ale doposiaľ ani nevykonali žiaden výskum, ktorý by sa venoval identifikácii príčin útokov. Neschopnosť vytvorenia jednotnej definície mäkkých cieľov rovnako prispieva k sťaženiu vytvorenia vhodných bezpečnostných systémov aplikovateľných pri typových objektoch za účelom ochrany a obrany týchto cieľov. Je nesmierne dôležité začať sa naplno venovať tejto oblasti a prispieť tak k prevencii, odraďovaniu, odhaľovaniu a zabráneniu útokov a zníženiu prípadných následkov už uskutočnených útokov na tieto objekty.

4. DATA A POUŽITÉ METÓDY

Pro výskum bolo vybrané Obchodní centrum CHODOV v Prahe na Jižním Městě [7]. Pri výskume jeho ohrozenia a kritičnosti boli použité metódy: analýza; dedukcia; indukcia; riadený rozhovor; syntéza; komparácia; expertné odhady; metóda DDRM; metóda AHP; a špecifické metódy, ktoré ďalej popíšeme [8].

Pri spracovávaní sa pracovalo s veľkým množstvom metód, bez ktorých by sme neboli schopní získať relevantné výsledky a hodnoty v procese výskumu. Metódy predstavujú postupy a spôsoby dosahovania nami stanovených cieľov.

Metóda CARVER [9] je využívaná na identifikáciu dôležitých a veľmi významných vecí / objektov / mäkkých cieľov. CARVER (angl. akronym zo siedmych posudzovaných kritérií):

- criticality = kritickosť,
- accessibility = prístupnosť,

- recoverability = obnoviteľnosť,
- vulnerability = zraniteľnosť,
- effect / effect on population = vplyv / vplyv na životy ľudí,
- recognisability = rozpoznateľnosť.

Metóda CARVER bola pôvodne využívaná na určovanie hodnôt cieľov pri vojenských útokoch [9]. Aby ju bolo možné využiť pre hodnotenie identifikovaných mäkkých cieľov, je potrebné ju mierne upraviť / modifikovať. Pomocou tejto metódy následne získame určenie najrizikovejších mäkkých cieľov, pri ktorých je útok zo strany páchatel'ov teroristických útokov alebo násilnej trestnej činnosti najpravdepodobnejší. Pri hodnotení budeme vychádzať z tabuliek, v ktorých sme si určili 5 bodovú stupnicu hodnotenia. 1 znamená veľmi malý význam – takmer nedôležité, zatiaľ čo 5 bodov predstavuje veľmi veľké – veľmi dôležité.

Criticality / dôležitosť – kritickosť je jeden z najdôležitejších faktorov pri vyberaní cieľov. Musíme sa opýtať, ako veľmi je daný mäkký cieľ pre nás / pre spoločnosť dôležitý a aký ma pre nás význam. Zároveň sa prihliada aj na skutočnosť, čo teroristi alebo iní útočníci dosiahnu útokom na daný cieľ, hovoríme napríklad o psychologickom dopade, politickom vplyve – čiže sile útoku ovplyvniť okolie [9].

Accessibility / prístupnosť je faktor prístupnosti rieši otázky postupu útočníka – ako zložité je pre útočníka prekonať všetky prekážky vo forme aplikovaných bezpečnostných opatrení, ktoré mu bránia v realizácii útoku na mäkký cieľ [9]. Väčšina mäkkých cieľov je chránená avšak nesprávne. Dôležité je zameranie ochrany – alebo skôr preventívnych opatrení, ktorých úlohou by bolo zabránenie vstupu neželaných osôb do objektu, zatiaľ čo v súčasnosti sú opatrenia zamerané skôr na odhalenie a identifikáciu páchatel'a trestného činu (napr. pri krádežiach- majetková trestná činnosť ; identifikácia páchatel'a už spáchaného činu/útku). Prístupu k niektorým typovým druhom mäkkých cieľov je takmer nemožné zabrániť. Hovoríme hlavne o rôznych druhoch zhromaždení ľudí, kde je prístup často nechránený- voľný, alebo je obmedzený len pre napr. vozidlá.

Recuperability / obnoviteľnosť je tretí faktor, kde sa pýtame ako dlho potrvá obnovenie činnosti v objekte / celi po prípadnom uskutočnenom teroristickom útoku alebo inom vážnom incidente [9]. Aby bolo možné obnoviteľnosť adekvátne posúdiť / zhodnotiť, je potrebné vytvorenie určitého bodového hodnotenia. Mäkké ciele predstavujú širokú škálu objektov a rýchlosť obnovenia činnosti po útoku závisí predovšetkým na druhu daného objektu. Nemožno ich vzájomne porovnávať, keďže napríklad obchodné centrum sa s prípadným útokom dokáže vyrovnáť pravdepodobne oveľa rýchlejšie, ako napríklad základná škola plná detí.

Vulnerability / zraniteľnosť je citlivosť sledovaného objektu na dopady útoku [8]. Dôležitá otázka: aké nasadenie musia útočníci vynaložiť, aby dokázali úspešne zrealizovať útok na mäkký cieľ a aké následky bude útok mať ? Od toho, aká bude zraniteľnosť závisí hlavne na tom, aké vybavenie – zbrane boli pri útoku využité a akou schopnosťou odolávať / čeliť útoku mäkký cieľ disponuje.

Effect on population / vplyv na životy ľudí je súbor strát a škôd na sledovanom objekte na dopady útoku [9]. Teroristické skupiny, osamelí vlci a jednotlivci v poslednej dobe zameriavajú svoje útoky hlavne na objekty, pri ktorých je vysoká pravdepodobnosť zasiahnutia veľkého množstva ľudí. V prípade využitia metódy CARVER sa preto zameriame na zodpovedanie otázky – koľko obetí by si vyžiadal prípadný teroristický útok alebo iný vážny incident v mäkkom celi.

Recognizability / rozpoznateľnosť je úroveň rozpoznateľnosti mäkkého cieľa dostatočná [9]? Zistenie tejto skutočnosti je závislé na schopnosti páchatel'ov za vynaloženia úsilia získať informácie potrebné k prevedeniu svojho útoku na cieľ. Je dôležité podotknúť, že v súčasnosti je

väčšina týchto informácií sprístupnená širokej verejnosti (napr. na oficiálnej internetovej stránke konkrétneho objektu, v propagačných materiáloch,...).

Jednotlivé údaje budú využité pri hodnotení identifikovaných mäkkých cieľov v konkrétnom lokálnom prostredí. Bodové hodnotenia týchto objektov sa zvyčajne určujú na základe vlastného uváženia. Aby boli výsledky viac relevantné, vhodnejším spôsobom hodnotenia by bolo využitie expertného odhadu, kedy by objekty hodnotili viacerí ľudia – odborníci z daných oblastí (napr. školy by hodnotili ľudia zo školstva,...) a následne by sa urobil priemer týchto bodov. Namiesto celých čísel by sme sa tak dopracovali k reálnym číslam a bolo by potrebné mierne upraviť bodovaciu stupnicu, ale dosiahli by sme tak reálnejšie výsledky.

Metódu CARVER je možné modifikovať z viacerých hľadísk [6], napr.:

- podľa typu objektu,
- podľa spôsobu útoku,
- podľa zabezpečenia,
- podľa typu ohrozenia,
- ďalšie.

Saatyho metódu [6] využívame na výpočet jednotlivých váh. Existuje niekoľko ďalších metód, pričom saatyho metóda je jedná z najkomplikovanejších, aj keď sama o sebe nie je ťažká na pochopenie. Patrí medzi najčastejšie používané metódy pre voľbu váh, používa sa napr. v postupe AHP [6,8]. Porovnávajú sa vždy páry kritérií a hodnotenie sa ukladá do tzv. Saatyho matice. Saatyho metóda predstavuje kvantitatívne párové porovnanie, pri ktorom sa okrem výberu preferovaného kritéria, určuje aj pre každú dvojicu kritérií tiež veľkosť tejto preferencie. **Modifikovaná CARVER-SAATYho metóda.** Problémom v prípade využívania CARVER metódy je fakt, že jednotlivé kritéria metódy CARVER nemajú priradené váhy a tak o určení počtu bodov sme rozhodovali na základe vlastného subjektívneho názoru [6]. Aby sme túto skutočnosť zmenili, rozhodli sme sa pre modifikáciu pomocou saatyho metódy. Prvým krokom pri využívaní Saatyho metódy je určenie si kritérií. Keďže chceme modifikovať metódu CARVER, kritéria už určené máme. Zastavuje sa tabuľka 1.

Tabuľka 1. Modifikácia metódy CARVER.

	C	A	R	V	E	R
C	1					
A		1				
R			1			
V				1		
E					1	
R						1

Ako je možné vidieť, na hlavnej diagonále sú 1. To znamená, tam kde sú priesečníky dvoch rovnakých kritérií, tam vždy napíšeme 1. K tomu, aby sme mohli vypočítať váhy, musíme poznať tzv. Saatyho škálu preferencií. Stupnice pro priradení je v tabuľke 2.

Pre citlivejšie vyjadrenie preferencií je možné použiť aj medzistupne (2,4,6,8). Pomocou tejto škály dokážeme zároveň vysvetliť, prečo sú na hlavnej diagonále 1. Vyjadrujú rovnocennosť. Ďalším krokom je priradovanie čísel zo saatyho škály jednotlivým kritériám podľa toho, ako preferujeme jedno pred druhým. Buď pôjde o subjektívny spôsob priradovania bodov, alebo vychádzame z vopred jasne určených vstupov, napríklad vplyv na životy ľudí bude veľmi silne

preferované pred zraniteľnosťou. V tomto prípade tak môžeme do tabuľky ku kritériu E napísať podľa saatyho škály číslo 7, zatiaľ čo ku kritériu V, označujúcemu zraniteľnosť dosadíme opak – vo forme zlomku $1/7$. Z tohto zápisu je zrejmé, ktoré kritérium preferujeme voči druhému. Samozrejme preferencie je potrebné upravovať v závislosti na jednotlivých mäkkých cieľoch. Výsledná tabuľka je v tabuľka 3.

Tabuľka 2. Škála preferencií.

Saatyho škála preferencií
1 = rovnocennosť
3 = slabá preferencia
5 = silná preferencia
7 = veľmi silná preferencia
9 = absolútna preferencia

Tabuľka 3. Priradenie preferencií.

	C	A	R	V	E	R
C	1	7	$1/3$	$1/5$	$1/5$	7
A	$1/7$	1	3	$1/3$	$1/7$	$1/5$
R	3	$1/3$	1	$1/3$	$1/9$	$1/3$
V	5	3	3	1	$1/7$	5
E	5	7	9	7	1	7
R	$1/7$	5	3	$1/5$	$1/7$	1

Následne si určíme váhy jednotlivých kritérií a výsledkom kvalitatívneho párového porovnania bude určenie priorit. Výsledok priradení je v tabuľke 4.

Metóda **DDRM** (Deter – Detect – React – Mitigate impact, slovensky Odradenie – Odhalenie – Reakcia – Zmierňovanie následkov) predstavuje nástroj vytvorený za účelom hodnotenia účinnosti bezpečnostných opatrení a riešení v procese plánovania bezpečnosti [9]. Prvým krokom pri využívaní tejto metódy je definovanie možných hrozieb, ktoré by mohli typový mäkký objekt napadnúť. Následne prechádzame jednotlivými položkami DDRM a snažíme sa navrhovať viaceré možné opatrenia na odradenie, odhalenie, reakciu a zmiernenie následkov. Z návrhov vyberieme opatrenia, ktoré sa javia ako najúčinnnejšie v danej kategórii a následne dochádza k ich aplikácii do bezpečnostného riešenia. Je potrebné dbať na to, aby výsledný návrh poskytoval účinné opatrenia vo všetkých fázach pred (deter), počas (detect, react) a po (mitigate impact) každej jednej identifikácii relevantných hrozieb [6].

Metodika riešenia vybranej problémovej oblasti zahrnuje:

- zber a spracovanie informačných zdrojov,
- analýzu súčasného stavu problematiky,
- definovanie hlavného a čiastkových cieľov,
- identifikácia rizikových objektov v konkrétnom prostredí – využitie modifikovanej CAR-VER-SAATYho metódy a expertných odhadov, analýzy, syntéza, indukcia, dedukcia, komparácia,
- výskum a zber dát vo vybraných objektoch a inštitúciách,
- spracovanie získaných údajov,

- formulácia záverov,
- tvorba metodiky ochrany typových mäkkých cieľov,
- spracovanie výsledkov.

Tabuľka 4. Výpočet váh a prioritizácia. w_j = súčet hodnôt v jednotlivých riadkoch; Σw_j = súčet hodnôt w_j ; V_j = váha, ktorú získame vzťahom $w_j / \Sigma w_j$ [6].

	C	A	R	V	E	R	w_j	V_j	Priorita
C	1	7	1/3	1/5	1/5	7	15,73	0,17822	3
A	1/7	1	3	1/3	1/7	1/5	4,81	0,0545	6
R	3	1/3	1	1/3	1/9	1/3	5,10	0,05778	5
V	5	3	3	1	1/7	5	17,14	0,1942	2
E	5	7	9	7	1	7	36	0,41	1
R	1/7	5	3	1/5	1/7	1	9,48	0,10741	4
							Σw_j	88,26	

V prípade výberu optimálneho systému ochranných opatrení metódou AHP [6] hovoríme v podstate o rozhodovaní, ktorý z určených variantov najlepšie vyhovuje špecifickým kritériám[6]. Vytváranie systému ochrany objektu je cieľovo a objektovo konkrétne zameraný proces, pretože neexistuje žiaden univerzálny systém ochrany, ktorý by bolo možné aplikovať na všetky typy objektov.

Na výber optimálneho variantu ochranných opatrení použijeme metódu AHP – Analytic Hierarchy Process (Analytický hierarchický proces). Autorom tejto metódy je Thomas Saaty, ktorý je autorom aj Saatyho metódy, využitej v predchádzajúcej kapitole. Analytický hierarchický proces predstavuje štruktúrovanú techniku určenú na riešenie komplexných rozhodnutí. Poskytuje komplexnú a logickú koncepciu pre štruktúrovaní problému, pre kvantifikovanie jeho elementov, ktoré súvisia s celkovými cieľmi a pre hodnotenie alternatívnych riešení. AHP poskytuje rámec pre prípravu účinných rozhodnutí v situáciách, kedy je potrebné správne rozhodnutie. AHP je metódou rozkladu zložitej neštruktúrovanej situácie na jednoduchšie komponenty, a teda vytvára hierarchický systém problému. Táto metóda sa realizuje najskôr expertnou a následne matematickou metódou, ktorá delí hlavný problém do menších a detailnejších prvkov.

V prípade výberu optimálneho systému ochranných opatrení hovoríme v podstate o rozhodovaní, ktorý z určených variantov najlepšie vyhovuje špecifickým kritériám [6]. Vytváranie systému ochrany objektu je cieľovo a objektovo konkrétne zameraný proces, pretože neexistuje žiaden univerzálny systém ochrany, ktorý by bolo možné aplikovať na všetky typy objektov.

Na výber optimálneho variantu ochranných opatrení použijeme metódu AHP – Analytic Hierarchy Process (Analytický hierarchický proces). Autorom tejto metódy je Thomas Saaty, ktorý je autorom aj Saatyho metódy, využitej v predchádzajúcej kapitole. Analytický hierarchický proces predstavuje štruktúrovanú techniku určenú na riešenie komplexných rozhodnutí. Poskytuje komplexnú a logickú koncepciu pre štruktúrovaní problému, pre kvantifikovanie jeho elementov, ktoré súvisia s celkovými cieľmi a pre hodnotenie alternatívnych riešení [6].

AHP poskytuje rámec pre prípravu účinných rozhodnutí v situáciách, kedy je potrebné správne rozhodnutie. AHP je metódou rozkladu zložitej neštruktúrovanej situácie na jednoduchšie komponenty, a teda vytvára hierarchický systém problému. Táto metóda sa realizuje najskôr expertnou a následne matematickou metódou, ktorá delí hlavný problém do menších a detailnejších prvkov.

4. VÝSLEDKY

Na základe skúmania a kritérií- použitia modifikovanej metódy Carver bol vybraný objekt OC Chodov [6], pri ktorom nám vyšlo využitím pôvodnej metódy hodnotenie 30 bodov, čo znamená, že ide o „objekt s veľkým rizikom“.

Tabuľka 5. Hodnotenie pomocou modifikovanej metódy CARVER OC Chodov.

Hodnota S	C	A	R	V	E	R	Hodnota
	5	5	5	5	5	5	30
Váha vj	0,17822	0,0545	0,05778	0,1942	0,4100	0,10741	1,00
Hodnota P	0,8911	0,2725	0,2889	0,971	2,05	0,53705	5,01055

Hodnoty S v prvom riadku sme odpísali z pôvodného bodového hodnotenia CARVER – pre ukážku sme stanovili, že vzhľadom na kritéria boli danému mäkkému objektu priradené najvyššie možné bodové hodnoty, čo vo výsledku znamená, že ide o veľmi rizikový objekt a útok naň je vysoko pravdepodobný. Váha vj je dosadená z tabuľky modifikácie CARVER pomocou Saatyho metódy. Hodnoty v poslednom riadku sme získali pomocou vzťahu :

$$P = S(C) \times vj(C)$$

Pre každé kritérium sme počítali vzťah osobitne. Vyšla nám určitá hodnota, ktorá sa už na prvý pohľad líši od pôvodnej. Preto je potrebné vytvoriť novú škálu bodového hodnotenia; tabuľka 6.

Tabuľka 6. Škála bodového hodnotenia modifikovanej CARVER metódy.

Bodové ohodnotenie	Kvalitatívne ohodnotenie
1,00 - 1,75	Veľmi malé
1,76 - 2,51	Malé
2,52 - 3,27	Stredné
3,28 - 4,03	Veľké
4,04 - 4,06	Veľmi veľké
4,07 a viac	Extrémne

Čím vyššie bodové ohodnotenie, tým objekt má vyššie riziko – atraktívnejší z pohľadu útoku než ostatné objekty.

Modifikáciou metódy vzhľadom na skutočnosť, podľa ktorej chceme objekty hodnotiť (napr. podľa typu ohrozenia) sa môžeme dopracovať k oveľa relevantnejším výsledkom, ako pri použití neupravenej CARVER metódy, kedy priradíme body čisto na základe vlastného uváženia bez ohľadu na možné riziká a dôležitosť toho, čo chceme chrániť.

1. Krok pri aplikácii metódy je vytvorenie variantov systému ochrany (vzhľadom na jednotlivé vrstvy ochrany objektu); tabuľka 7.
2. Pre výber optimálneho variantu musíme prijať určité kritéria: **K1**= spoľahlivosť; **K2**= vhodnosť pre dané prostredie; **K3**= jednoduchosť inštalácie; a **K4**= dlhá životnosť.

Tabuľka 7. Varianty ochrany. MZP – mechanické zábranné prostriedky; SKV – systémy kontroly vstupov; EZS – elektronické zabezpečovacie systémy; PIR - passive infrared detector.

Vrstva ochrany	V1	V2	V3

Obvodová	MZP	MZP	
Plášťová	MZP+SKV	EZS+MZP	MZP
Predmetová	EZS	PIR	PIR+EZS

3. Vytvoríme škálu hodnotiacich stupňov pre párové porovnávanie variantov a kritérií : od 1-9. Následne vzájomne porovnáваме kritéria – ktoré je dôležitejšie. Expertní hodnotení pro sledovaný prípad je v ďalej uvedených radkoch

K1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K2
K1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K3
K1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K4
K2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K3
K2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K4
K3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K4

4. Výsledky zapíšeme do matice významnosti – tabuľka 8, ktorú budeme ďalej normovať.

Tabuľka 8. Úprava matice.

	K1	K2	K3	K4
K1	1	5	7	2
K2	1/5	1	4	1/3
K3	1/7	1/4	1	1/6
K4	1/2	3	6	1
Σ	1,84	9,25	18,00	3,50

Maticu ďalej upravujeme tak, že sčítame hodnoty v každom stĺpci a touto hodnotou vydělíme každú hodnotu v danom stĺpci. Potom vypočítame priemerné hodnoty v riadkoch tak, že sčítame hodnoty v každom riadku tejto matice a vydělíme počtom hodnôt v každom riadku; tabuľka 9. Z výslednej matice vieme teraz vyčítať, že kritéria môžeme podľa významnosti zoradiť : K1, K4, K2, K3, pričom K1 je najvýznamnejšie a K3 najmenej významné kritérium.

Tabuľka 9. Významnosť kritérií. Σk_i = sumárom hodnôt v riadku; N = počet kritérií; a hodnoty $\Sigma k_i/n$ sme teda dosiahli súčtom hodnôt v riadku / počtom kritérií.

	K1	K2	K3	K4	$\Sigma k_i/n$
K1	0,54	0,54	0,39	0,57	0,51
K2	0,11	0,11	0,22	0,09	0,13
K3	0,08	0,03	0,06	0,05	0,06
K4	0,27	0,32	0,33	0,29	0,30

5. Následne pristupujeme k vytvoreniu matíc preferencií jednotlivých variantov podľa prijatých kritérií, určíme si vektor matice; tabuľky 10 - 13. Postup je rovnaký ako pri Saatyho

metóde, avšak v tomto prípade porovnáваме vzájomne varianty (ich významnosť) vzhľadom na dané kritérium.

Tabuľka 10. Porovnanie variantov vzhľadom na K1; $\Sigma v_i/n$ = súčet hodnôt v jednotlivých riadkoch / počet variantov n.

K1		V1	V2	V3
V1		1	5	1/4
V2		1/5	1	1/6
V3		4	6	1
Σ		5,20	12,00	1,42
K1	V1	V2	V3	$\Sigma v_i/n$
V1	0,19	0,42	0,18	0,26
V2	0,04	0,08	0,12	0,08
V3	0,77	0,50	0,70	0,66

Z hodnotenia tabuľky 10 vyplýva, že kritériu 1 najviac vyhovuje variant 3.

Tabuľka 11. Porovnanie variantov vzhľadom na K2. $\Sigma v_i/n$ = súčet hodnôt v jednotlivých riadkoch / počet variantov n.

K2		V1	V2	V3
V1		1	2	1/2
V2		1/2	1	1/2
V3		2	2	1
Σ		3,50	5,00	2,00
K2	V1	V2	V3	$\Sigma v_i/n$
V1	0,29	0,40	0,25	0,31
V2	0,14	0,20	0,25	0,20
V3	0,57	0,40	0,50	0,49

Z hodnotenia tabuľky 11 vyplýva, že kritériu 2 najviac vyhovuje variant 3.

Tabuľka 12. Porovnanie variantov vzhľadom na K3; $\Sigma v_i/n$ = súčet hodnôt v jednotlivých riadkoch / počet variantov n.

K3		V1	V2	V3
V1		1	1/4	1/3
V2		4	1	2
V3		3	1/2	1
Σ		8,00	1,75	3,33
K3	V1	V2	V3	$\Sigma v_i/n$
V1	0,13	0,14	0,10	0,12
V2	0,50	0,57	0,60	0,56
V3	0,38	0,29	0,30	0,32

Z hodnotenia v tabuľke 12 vyplýva, že kritériu 3 najviac vyhovuje variant 2.

Tabuľka 13. Porovnanie variantov vzhľadom na K4; ; $\Sigma v_i/n$ = súčet hodnôt v jednotlivých riadkoch / počet variantov n.

K4	V1	V2	V3
V1	1	4	1/2
V2	1/4	1	1/4
V3	2	4	1
Σ	3,25	9,00	1,75

K4	V1	V2	V3	$\Sigma v_i/n$
V1	0,31	0,44	0,29	0,35
V2	0,08	0,11	0,14	0,11
V3	0,62	0,44	0,57	0,54

Z hodnotenia v tabuľke 13 vyplýva, že kritériu 4 najviac vyhovuje variant 3. Z vyhodnotení tabuliek 10-13 v troch prípadoch je optimálna varianta 3.

6. Vypočítame preferencie jednotlivých variantov podľa vzťahov:

$$V1 = K1 \times V11 + K2 \times V12 + K3 \times V13 + K4 \times V14$$

$$V2 = K1 \times V21 + K2 \times V22 + K3 \times V23 + K4 \times V24$$

$$V3 = K1 \times V31 + K2 \times V32 + K3 \times V33 + K4 \times V34$$

a dostaneme:

$$K1 = 0,51 \quad V11 = 0,26 \quad V12 = 0,31 \quad V13 = 0,12 \quad V14 = 0,35$$

$$K2 = 0,13 \quad V21 = 0,08 \quad V22 = 0,20 \quad V23 = 0,56 \quad V24 = 0,11$$

$$K3 = 0,06 \quad V31 = 0,66 \quad V32 = 0,49 \quad V33 = 0,32 \quad V34 = 0,54$$

$$K4 = 0,30$$

$$V1 = 0,28$$

$$V2 = 0,13$$

$$V3 = 0,59$$

Na základe jednotlivých údajov je zrejmé, že optimálnym variantom pre ochranu objektu je variant č. 3.

5. ZÁVER

Súčasná nepriaznivá bezpečnostná situácia v Európe ale i v celom svete nás neustále núti premýšľať nad novými spôsobmi ochrany a obrany ľudí a objektov, ktoré predstavujú atraktívne ciele v očiach teroristov ako aj páchatel'ov násilnej trestnej činnosti – tzv. mäkké ciele. Samotný proces tvorby ochranných opatrení musí začať ujasnením, čo mäkké ciele vlastne sú a následne ich identifikáciou a hodnotením, na základe ktorého budeme schopní tieto objekty rozlišovať podľa dôležitosti.

Nedostatočná alebo lepšie povedané neúčinná obrana zo strany štátu proti teroristickým útokom a násilnej činnosti je jednou z hlavných črt mäkkých cieľov. Je veľmi dôležité nájsť spôsoby, ako ich brániť a chrániť, ale v niektorých prípadoch je táto situácia ešte zhoršená skutočnosťou, že veľké percento mäkkých objektov je v súkromnom vlastníctve, čo zjavne obmedzuje schopnosti a kompetencie štátu v procese tvorby ochrany. Zároveň vzhľadom na rozmanitosť druhov týchto objektov zaniká možnosť tvorby jednotnej metodiky komplexnej ochrany, pričom je za každým potrebné si ujasniť, čo presne chceme chrániť – ľudí a ich životy? Konštrukciu? Majetok nachádzajúci sa v objekte? Definovanie hrozby / zdrojov ohrozenia je jedným z najdôležitejších krokov pri vytváraní bezpečnostného systému, ktorý bude zároveň účinný. Všetky tieto faktory poukazujú na nevyhnutnosť tvorby jednotnej medzinárodne platnej definície mäkkých cieľov.

LITERATÚRA

- [1] HOFREITER, L. *Bezpečnostné prostredie súčasného sveta*. ISBN 978-80-87500-79-8. Zlín: VeRBuM 2016, 160 p.
- [2] KUBÍKOVÁ, Z. *Hrozby medzinárodného terorizmu a súčasná ochrana pred terorizmom v SR-návrh*. Žilina: FBI ŽU 2017, 92 p.
- [3] JANGL, Š., KAVICKÝ, V. *Ochrana pred účinkami výbuchov výbušnín a nástražných výbušných systémov*. ISBN 978-80-971108-0-2. Žilina: Timeprint s.r.o. 2012, 294.
- [4] ŠIMÁK, L., HORÁČEK, J., NOVÁK, L., NĚMETH, E., MÍKA, V. *Terminology Dictionary of Crisis Management*. ISBN 80-88829-75-5. Žilina: FŠI ŽU 2005, 44 p.
- [5] GR HZS. "Měkké cíle" jako společensky významné objekty. 112. ISSN 1213-7057. 17 (2018), 1, pp. 35-47.
- [6] KUBÍKOVÁ, Z. Niektoré problémy ochrany mäkkých cieľov. In: *Bezpečnostní technologie, systémy a management*. ISBN 978-80-7454-696-9. Zlín: Univerzita Tomáše Bati. 6 p.
- [7] PRAHA. *Bezpečnostní dokumentace Obchodního centra CHODOV*. Praha: Magistrát 1985 (veřejně nepřístupné).
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [9] KALVACH, Z. *Basics of soft target protection – guidelines*. Praha: Soft Targets Protection Institute 2016, 6 p.
- [10] TOMÁNEK, J. Problematika ochrany měkkých cílů před teroristickým útokem. *Diplomová práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne 2015, 135 p.

RIZIKA SPOJENÁ SE ZANEDBANOU ÚDRŽBOU ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ

RISKS ASSOCIATED WITH NEGLIGENT MAINTENANCE OF ENERGY EQUIPMENTS

Jiří Kuchař, Viktor Kreibich, Dana Procházková, Vojtěch Vlček

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07, Praha 6. Česká republika; jiri.kuchar@fs.cvut.cz

Abstrakt: Článek pojednává o problematice energetických zařízení a riziky s tím spojenými. Jedná se o problematiku zanášení a poškození tepelného výměníku. Stručně jsou uvedeny metody čištění energetických zařízení a vyhodnocení získaných dat z čištění.

Klíčová slova: Energetická zařízení; tepelný výměník; rizika; údržba; koroze.

Abstract: The article deals with the issue of energy equipment and the risks associated with it. This is a problem of clogging and damage of heat exchanger. Methods for cleaning energy equipment and evaluation of data obtained from cleaning are briefly presented.

Key words: Energy equipment; heat exchanger; risks; maintenance; corrosion.

1. ÚVOD

Existuje mnoho energetických zařízení jako jsou kotle, turbíny, motory, generátory a mnoho dalších. Každé z těchto zařízení vyžaduje jiný druh údržby, protože má specifická vlastní rizika. Realizace rizika způsobuje škody na technickém zařízení, majetku v okolí, újmy na zdraví a prostředí a také na celém technickém díle [1]. Kvůli tomu je nutné provádět opatření, kterými se škodám předchází. To znamená zabránit stavům zařízení, které vedou ke škodám. Proto se provádí údržba.

2. VYBRANÁ RIZIKA ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Riziko spojené s technickým zařízením je chápáno jako míra ztrát, škod a újmy na technickém zařízení, obslužném personálu, celém technickém díle nebo veřejných aktivech v okolí (majetku, veřejném blahu, životním prostředí a kritických infrastrukturách). Proto je nutné provádět opatření, aby byly ztráty, škody a újmy na sledovaných položkách co nejmenší [2]. To znamená zabránit stavům technického zařízení, které vedou ke škodám. Jedním z nástrojů je například údržba [2,3].

Hlavními zdroji technických rizik tepelných výměníků jsou koroze, eroze, zanášení a mechanická poškození. Zanášení může být rozděleno na několik druhů, a těmi jsou: krystalizační a precipitační zanášení, zanášení částicemi – sedimentace a naplavování částic, korozní zanášení, zanášení v důsledku chemické reakce, biologické zanášení, zanášení v důsledku mrazu, či kombinace předchozích druhů zanášení [4].

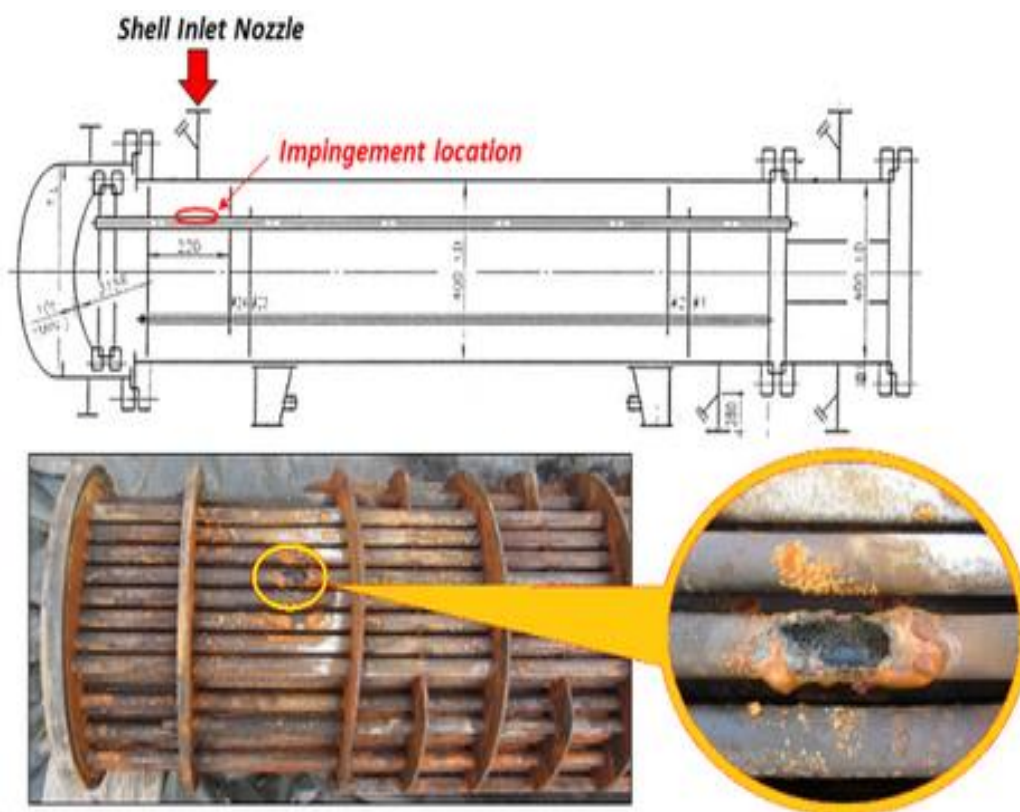
Koroze je samovolně probíhající nevratný proces postupného narušování a znehodnocování materiálu chemickými a fyzikálně-chemickými vlivy prostředí [5]. Korozní systém se pak skládá z materiálu, prostřední a jejich vzájemného působení.

Korozi v tepelných výměnících způsobují 4 hlavní faktory, a to jsou dle [6]:

- teplota,
- vibrace,
- rychlost proudění,
- změna směru proudění.

Proto je potřeba se při inspekci tepelného výměníku zaměřit především na uvažovaná místa [6].

Prvním z míst, kde se koroze objeví dříve než jinde, je část trubky, která prochází skrz přepážku v plášti [6]. To je způsobené tím, že při vibraci trubky se může povrchem třít o přepážku. Dalším místem je povrch proti vstupním tryskám pláště, jak ukazuje obrázek 1, kvůli nárazu média přímo proti stěně, což způsobuje erozi [6]. Z tohoto důvodu se také někdy používají desky (obrázek 2), které jsou umístěné přesně na daném místě a chrání povrch trubek.



Obr. 1. Koroze na trubkách proti tryskám pláště [6]. Překlad vysvětlivek obrázku: shell inlet nozzle – tryska vstupu do pláště, impingement location – místo přímého nárazu média. Žluté ohraničení zvýrazňuje místo porušení trubek způsobené korozí.

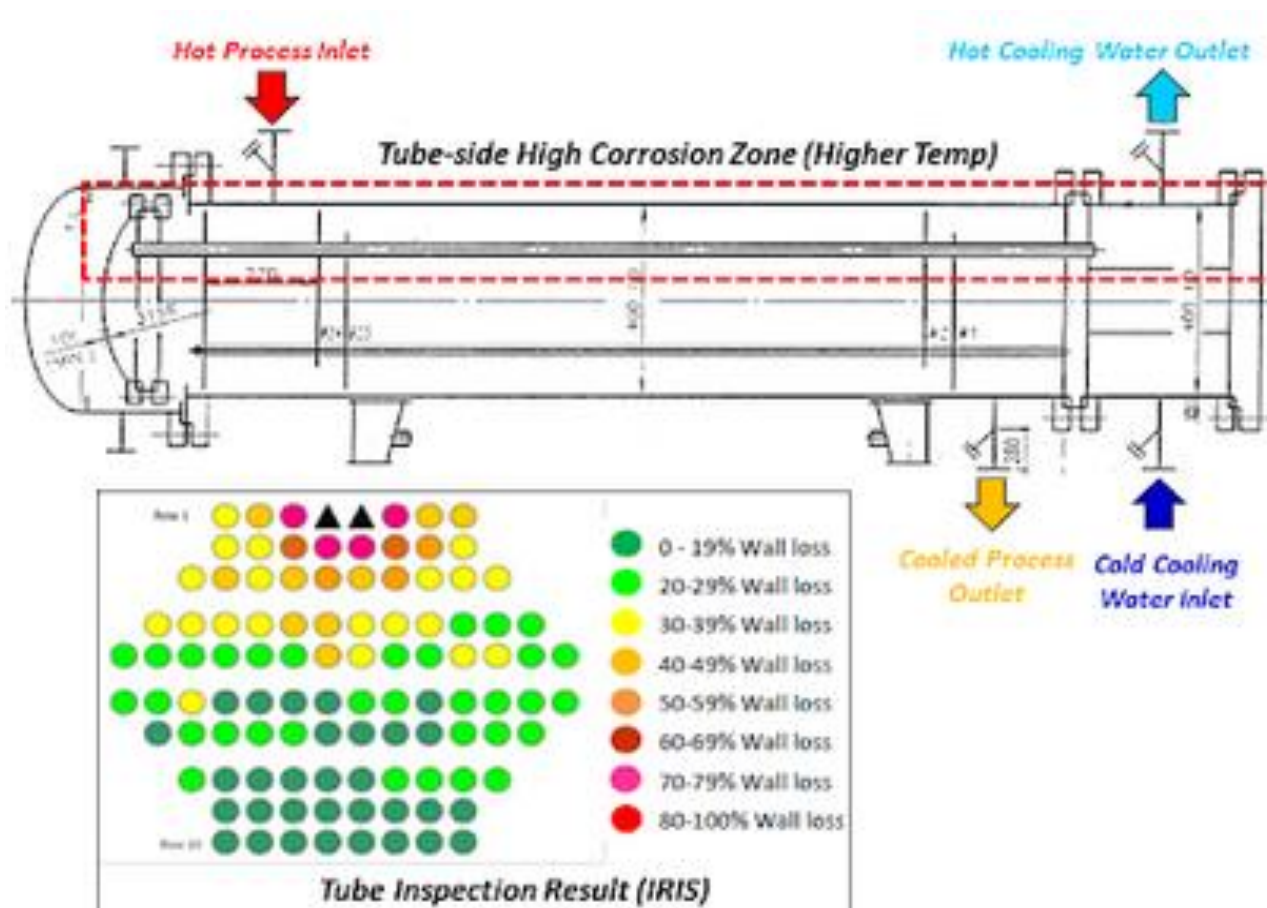
Při proudění horké vody jsou korozi nejvíc zasažená místa, kde je teplota nejvyšší; obrázek 3 [7]. Pokud tedy vodu ohříváme, budou nejvíce zasažena místa u výstupu, a pokud jí ochlazuje, tak u vstupu.

Eroze je proces opotřebení, při kterém je poškození povrchu způsobeno opakovaným působením vysokého lokalizovaného napětí [8]. Eroze u tepelných výměníků vede k závažným provozním a ekonomickým problémům. Opotřebení potrubí tepelného výměníku závisí dle [9] na mnoha faktorech:

- rychlost proudících pevných částic,
- průměr částic – rychlost eroze se zvyšuje, dokud průměr částic nedosáhne rozmezí 50-100 μm . Pokud jsou částice větší, není již rychlost eroze ovlivněna průměrem částic,



Obr. 2. Ochranná deska, která zabraňuje korozi trubek proti vstupu trysek pláště [6].



Obr. 3. Schéma korozního úbytku závislého na teplotě (červená barva = největší úbytek materiálu z povrchu trubek) [7]. Překlad vysvětlivek obrázku: hot process inlet – vstup teplého média, hot cooling water outlet – výstup horké chladicí vody, tube-side high corrosion zone (higher temp) – Zóna zvýšené koroze potrubí (zvýšená teplota), cooled process outlet – výstup ochlazeného média, cold cooling water inlet – vstup chladné ochlazovací vody, Wall loss – úbytek materiálu trubek, tube inspection result – výsledky inspekce trubek.

- tvar částic – rychlost eroze nesférickými částicemi s ostrými hranami je u kovových povrchů znatelně vyšší,
- tvrdost částic,
- úhel nárazu částic – k maximálnímu opotřebení tažných materiálů nastává při úhlu nárazu mezi 20°- 40°, zatímco u křehkých materiálů při kolmém nárazu.

3. METODY ČIŠTĚNÍ ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ

V literatuře [10-13] lze způsoby čištění vnitřních povrchů rozdělit na dvě základní metody. Těmito metodami jsou: mechanické čištění a chemické čištění. Lze také nalézt rozdělení metod čištění na metody: „on-line“ a „off-line“. On-line metodami se rozumí metody, při kterých není zapotřebí zařízení takzvaně „odstavit z provozu“. On-line metody lze tedy, na rozdíl od metod off-line, použít za chodu daného zařízení. Mezi off-line metody patří manuální mechanické čištění, lehké tryskání, vysokotlaké čištění vodou, projektilové čištění a další speciální způsoby čištění. Naopak do on-line metod patří zvukové čištění a chemické čištění povrchů.

Pro tento experiment bylo využito chemické čištění výměníku a následné vyhodnocení získaných dat.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Na deskovém pájeném výměníku z teplárenství bylo provedeno měření průtoku a doba ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C, a to před čištěním i po každém ze dvou chemických čištění [14,15]. Parametry výměníku jsou uvedeny v tabulce 1.

K zajištění oběhu bylo použito oběhové čerpadlo s průtokem 1,68 m³/h (obrázek 4) a jako prostředek k čištění byl použit vodný čisticí koncentrát s kyselým pH. Doba čištění trvala 4,5 hodiny i s veškerou přípravou. Na obrázku 5 je endoskopický snímek nejvíce zanešeného místa výměníku, a to vstupu primární strany [14,15]. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 1.



Obr. 4. Zapojení tepelného výměníku do čistícího okruhu [4].

Pro řízení a zvládnání rizika je nutné znát míru rizika. Hodnocení je metoda stanovení hodnoty sledované entity v dané hodnotové stupnici. Jelikož riziko, tj. ztráty v tepelném výměníku závisí na mnoha faktorech, tak v souladu s inženýrskými disciplínami, které se zabývají riziky, pro posouzení velikosti rizika byla použita hodnotová stupnice založená na velikosti průtoku

média tepelným výměníkem, která je v souladu se stupnicí používanou od 80. let v normách ČSN [16], která je v tabulce 2.



Obr. 5. Endoskopický snímek nejvíce zanešeného místa vstupu primární strany výměníku [15].

Tabulka 1. Naměřené hodnoty při čištění tepelného výměníku [15].

Stav	Průtok [m ³ /h]	Doba ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C [min]
Nečištěný výměník	0,3	16
Po 1. čištění	0,8	13
Po 2. čištění	1,1	11

Tabulka 2. Stupnice rizika [16].

Míra rizika	Hodnoty průtoku v %
Extremně vysoká – 5	Méně než 5 %
Velmi vysoká – 4	5–25 %
Vysoká – 3	25–45 %
Střední – 2	45–70 %
Nízká – 1	70–95 %
Zanedbatelná – 0	Více než 95 %

5. VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

Podle tabulky 2 bylo provedeno vyhodnocení naměřených hodnot [17]. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3. Vyhodnocení dat průtoku.

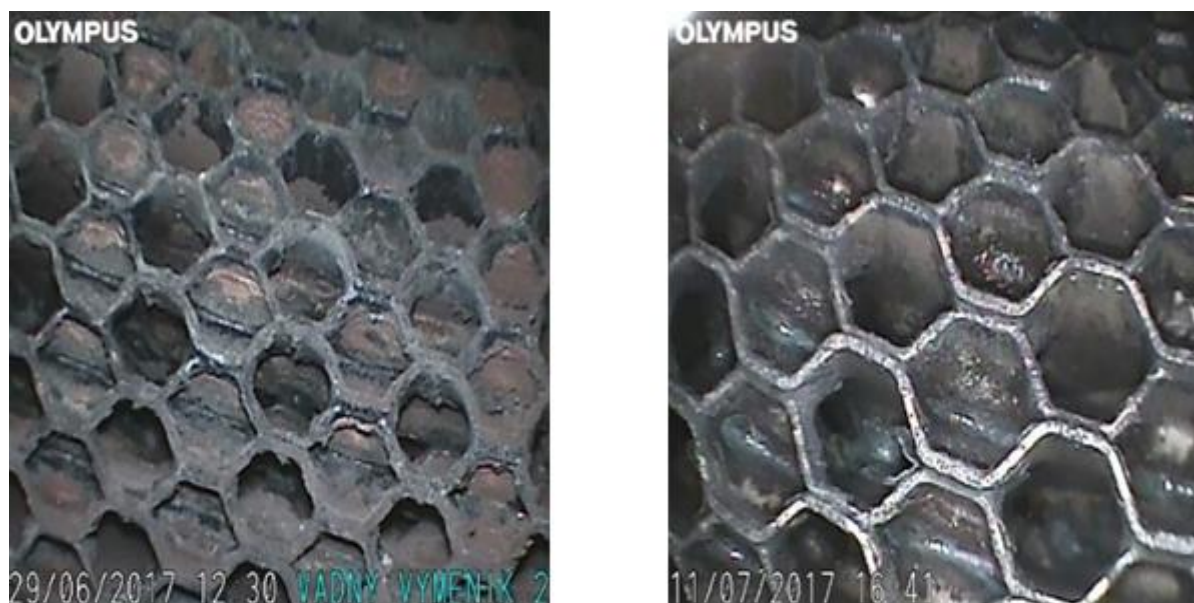
Stav	Průtok [m ³ /h]	Hodnoty průtoku v %	Míra rizika
Před čištěním	0,3	17,86	Velmi vysoká
Po 1. čištění	0,8	47,62	Střední ^{*)}
Po 2. čištění	1,1	65,48	Střední

^{*)} rozmezí mezi vysokou a střední mírou rizika

Podle [17] před čištěním bylo riziko selhání velmi vysoké, tj. selhání technického zařízení bylo blízké. Po prvním čištění se míra rizika snížila, ale ne dostatečně. Zůstala na rozmezí vysoké a střední úrovně, a proto bylo provedeno čištění druhé. Po druhém čištění se míra rizika dále snížila na střední úroveň. Na základě norem bylo zařízení schopné provozu.

Použitá metoda čištění se osvědčila a ukázalo se, že předmětnou údržbu je nutné aplikovat pravidelně [17]. Na obrázku 6 lze vidět rozdíl v znečištění korozními produkty před (vlevo na obrázku) a po čištění výměníku (vpravo na obrázku).

Podle doby ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C se dá určit pouze míra zlepšení. Míru rizika nemůžeme určit, protože se nedá dohledat projektová hodnota doby ohřevu na teplotu. Výsledky jsou v tabulce 4.



Obr. 6. Endoskopický snímek silného znečištění vstupu primární strany výměníku před čištěním vlevo a po čištění vpravo [14,15].

Tabulka 4. Vyhodnocení dat doby ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C.

Stav	Doba ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C [min]	Zlepšení v %
Nečištěný výměník	16	
Po 1. čištění	13	18,75
Po 2. čištění	11	31,25

Po prvním čištění došlo ke zkrácení doby ohřevu sekundární strany o 18,75 % oproti nečištěnému výměníku. Po druhém čištění se doba zkrátila o dalších 12,5 %, celkově tedy o 31,25 % oproti nečištěnému výměníku. Z toho vyplývá, že i podle doby ohřevu sekundární strany došlo k výraznému zlepšení [17].

6. NÁVRH OPATŘENÍ

Podle [17] pravidelná kontrola výměníku by včas odhalila problémy a míra rizika by nestoupala až na velmi vysokou. Pravidelné čištění výměníku by také zamezilo rychlému zvyšování rizika a zabránilo rychlému růstu míry rizika. Operátor tepelného výměníku by měl pravidelně

sledovat stav tepelného výměníku a při zaznamenání zvýšeného tlaku při takovém rozsahu zanešení a provádět odezvu.

Dalším opatřením, které by zpomalilo rychlost zanášení a oddálilo zvětšení míry rizika až na velmi vysokou [17] je použití filtrace, nebo úpravy vody. Oboje dokáže snížit množství zanášajících látek a látek zrychlující korozi, a tím zpomalit zanášení tepelného výměníku.

Navržená opatření tedy jsou:

- dodržovat pravidelné kontroly tepelného výměníku,
- dodržovat pravidelné intervaly čištění tepelného výměníku,
- použití filtrace, nebo nějakého druhu úpravy vody,
- proškolení operátorů tepelného výměníku tak, aby dokázali analyzovat údaje a včas zamezit stoupení míry rizika.

7. ZÁVĚR

Tepelný výměník byl silně zanesen a riziko selhání bylo velmi vysoké. Jeho průtok bylo pouze 0,3 m³/h, což odpovídá 17,86 % projektové hodnoty a sekundární strana se na 30 °C ohřívala 16 minut. Po prvním čištění se riziko selhání snížilo, ale pouze na rozmezí vysoké a střední míry rizika. Průtok se zvýšil na 0,8 m³/h, což odpovídá 47,62 % projektové hodnoty. Zlepšení nastalo i v rychlosti ohřevu sekundární strany, která se na 30 °C ohřála za 13 minut, což je zlepšení oproti stavu před čištěním o 18,75 %. Protože podle norem nebyl výměník stále provozuschopný, musel se vyčistit ještě jednou. Po druhém čištění se průtok zvýšil na 1,1 m³/h, což už odpovídá 65,48 % projektové hodnoty a míra rizika tak klesla na střední úroveň. Doba ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C klesla na 11 minut a bylo tedy dosaženo zlepšení o 31,25 % oproti stavu před čištěním. Na základě norem už tedy bylo zařízení provozuschopné.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro správnou funkci technického zařízení je provádění údržby klíčové. U tepelných výměníků spočívá v pravidelných inspekcích a následných opatřeních.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. <http://hdl.handle.net/10467/85867>
DOI:10.14311/BK.978800106.6751
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza a řízení rizik*. ISBN 978-80-01-04841-2. Praha: České vysoké učení technické v Praze 2011, 405 p.
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN 978-80-01-05771-1. Praha: České vysoké učení technické v Praze 2015, 208 p.
- [4] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Cleaning of internal surfaces. In: *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-030-16943-5. Basel: Springer Nature Switzerland AG, 2019. pp. 591-600.
- [5] KREIBICH, V. *Teorie a technologie povrchových úprav*. ISBN 80-010-1472-X. Praha: České vysoké učení technické 1996, 205 p.
- [6] AMARINE. *Typical location of Corrosion on Heat Exchanger*. <https://amarineblog.com/2020/01/14/typical-location-of-corrosion-on-heat-exchanger/>
- [7] AMARINE. *Corrosion in Heat Exchanger*. <https://amarineblog.com/2020/04/14/corrosion-in-heat-exchanger/>
- [8] COUSENS, A. K. The Erosion of Ductile Metals by Solid Particle Impact. *PhD. Dissertation*. Cambridge: University of Cambridge, Fitzwilliam College, Department of Materials Science and Metallurgy 1984, 147 p.
- [9] WOJNAR, W. Erosion of heat exchangers due to sootblowing. *Engineering Failure Analysis*. ISSN 1350-6307. 33 (2013), pp. 473-489. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.06.026. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350630713002264>

- [10] KAZI, S. N. *Fouling and Fouling Mitigation on Heat Exchanger Surfaces, Heat Exchangers – Basics Design Applications*. ISBN 978-953-51-0278-6, InTech 2012. <http://www.intechopen.com/books/heat-exchangers-basics-design-applications/heat-exchanger-fouling-and-itsmitigation>
- [11] IBRAHIM, H. A. *Fouling in Heat Exchangers, MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications*. IntechOpen 2012. <https://www.intechopen.com/books/matlab-a-fundamental-tool-for-scientific-computing-and-engineering-applications-volume-3/fouling-in-heat-exchangers>
- [12] KONONENKO, R. V. Methods of Cleaning Scale from the Internal Surface of Finned Pipes. *Chemical and Petroleum Engineering*. 50(2014). 3-4, pp. 197–200. <https://doi.org/10.1007/s10556-014-9879-9>
- [13] MERRICK GROUP. <https://www.merrickgroupinc.com/blog/effective-heat-exchanger-cleaning-methods/>
- [14] KUCHAR, J., KREIBICH, V., HRDINOVÁ, H., HAZDRA, Z., KUBENKA, M. Maintenance of energy equipment. In: *International Conference on Innovative Technologies 2017*. ISSN 0184-9069. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2017. pp. 267-270.
- [15] KUCHAR, J., KREIBICH, V., AGARTANOV, V., PETRIK, M. Maintenance and cleaning of heat exchangers. In: *Trends in Production Devices and Systems IV*. ISSN 0255-5476. ISBN 978-3-0357-1265-0. Durnten-Zurich: Trans Tech Publications Ltd, 2018. pp. 396-403.
- [16] PROCHÁZKOVÁ, D. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223 p.
- [17] VLČEK, V. Rizika zanedbané údržby energetických zařízení. *Bakalářská práce*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní 2020. 47 p.

Poděkování: Článek byl podpořen projektem SGS19/OHK2-013/19 (Výzkum, optimalizace a inovace výrobních procesů).

POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI PROCESU VAKCINACE PROTI ONEMOCNĚNÍ COVID-19 V ČESKÉ REPUBLICCE

JUDGEMENT OF SECURITY OF VACCINATION PROCESS AGAINST COVID-19 IN THE CZECH REPUBLIC

Jana Victoria Martincová, Pavlína Nováková

Ústav soudního inženýrství, VUT, Purkyňova 464, 61200 Brno, Česká republika

Abstrakt: Předmětem příspěvku je posouzení procesu vakcinace proti onemocnění Covid-19 v České republice z pohledu zajištění bezpečí občanů a bezpečnosti personálu provádějícího vakcinaci. Ochrana osob a dalších veřejných aktiv je základní funkcí státu. Na zajištění procesu vakcinace se podíleli zaměstnanci prvku kritické infrastruktury (zdravotnictví) v rámci pracovní povinnosti a dobrovolníci. Data o procesu vakcinace byla vyhodnocena pomocí metod What, If, FMEA a Check list. Byla identifikována nejzávažnější zdroje rizik v systému vakcinace a posouzena ochrana kritického personálu.

Klíčová slova: Pandemie Covid-19; bezpečnost státu; kritická infrastruktura; rizika; proces očkování.

Abstract: The subject of the contribution is an assessment of the Covid-19 vaccination process in the Czech Republic from the point of view of ensuring the security of citizens and the safety of vaccination staff. The protection of persons and other public assets is an essential function of the State. Employees of the critical infrastructure element (health care) in the context of work duties and volunteers participated in ensuring the vaccination process. The data on the vaccination process was evaluated using the What-If, FMEA and Check list methods. The most serious sources of risk in the vaccination system have been identified and the protection of critical personnel assessed.

Key words: Covid-19 pandemic; the State safety; critical infrastructure; risks; vaccination process.

1. ÚVOD

Novodobou světovou hrozbou se stala pandemie onemocnění Covid-19. První případy onemocnění byly zaznamenány v prosinci roku 2019 v čínském městě Wu-chan a do konce února 2020 došlo k trvalému místnímu přenosu, včetně evropských zemí. V polovině března 2020 bylo nakažení virem SARS-CoV-2 detekováno celkem ve 192 zemích světa [1]. V lednu roku 2020 vyhlásila Světová zdravotnická organizace propuknutí globálního stavu zdravotní nouze a od 11. března 2020 již byl vyhlášený stav pandemie [2].

Bylo nutno systematicky a efektivně na celosvětové úrovni předávat, šířit relevantní informace a vyměňovat si zkušenosti ohledně nově vzniklé situace. Ta ovlivnila nejen zdravotní stav populace (fyzický i mentální), ale rovněž lidskou společnost postavila před problémové období, co se ekonomiky, vzdělání a jiných oborů týče. V době nouzového stavu mohou nastat nejen krize ekonomické, sociální či bezpečnostní včetně té kybernetické, ale především jdou ruku v ruce s krizí personální. Nezastupitelnou roli v těchto výjimečných situacích zastává krizový personál a management každé instituce. V době nouzových situací je nutno se chovat racionálně a krizovou situaci umět řídit na úrovni státu a na mezinárodní úrovni. Česká republika se v daných případech řídí krizovým zákonem (zákon . 240/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Role kritického personálu má nezastupitelnou roli při plnění úkolů odezvy na krizové situace. I provoz všech technických děl, včetně infrastruktury zdravotnictví, závisí na kritickém personálu. Je třeba mít přesně definováno, vědět a realizovat, co se stane, když například personál onemocní s nutností zajistit kontinuitu provozu zařízení. Právní rámec České republiky je v tomto ohledu naplněn, lidský faktor je však nevyzpytatelný. Příspěvek hodnotí pomoci metod pro posouzení rizik a poukazuje na závažná rizika v průběhu očkovacího procesu proti onemocnění Covid-19, kdy z výsledků analýz je zřejmé, že lidský faktor je klíčovým prvkem systémů.

2. HISTORIE PANDEMÍ

Stále vznikají nové nákazy [2]. Epidemie infekčních nemocí jde od počátku lidstva tak, jak se lidé usazovali po celém světě, přičemž navíc obchodovali se zvířaty. Šíření nemocí je spojeno rovněž s přenosem nákazy ze zvířete na člověka. Mezi nejzávažnější pandemie dle [2] patřily například:

1. Justiniánský mor – období mezi roky 541 – 542; počet obětí se nikdy nepodařilo prokázat a zajímavostí je, že pravděpodobně mor pomohl urychlit pád Římského impéria.
2. Neštovice – poprvé popsán v 7. století a přesněji definován v 9. století jde o virové infekční kapénkové onemocnění, které svět postihly v roce 1520. Neštovice byly použity i jako biologická zbraň. Neštovice jsou pravděpodobně od roku 1979 celosvětově vymýceny a existuje spolehlivé očkování proti nim.
3. Mor – tzv. černá smrt – roky 1347 až 1351. Nemoc pocházející z krys zahubila až 60 % evropské populace.
4. Španělská chřipka – 1918–1919.
5. HIV/AIDS – 1981 do současnosti; přenesení HIV viru poprvé bylo pravděpodobně v Africe jako zoonóza.
6. Ebola.
7. 6 pandemií cholery.
8. Prasečí chřipka.
9. Žlutá zimnice.

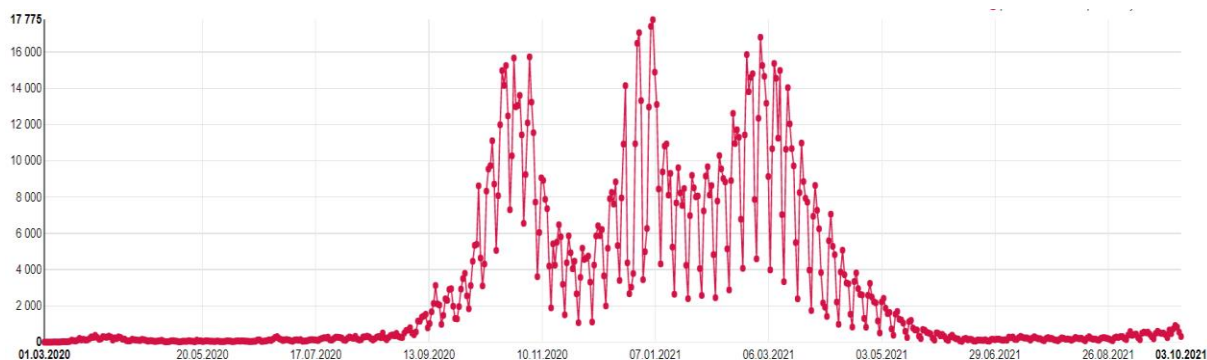
atd.

Téma viru HIV a následného onemocnění je stále velmi ožehavé a aktuální. Neexistuje proti němu žádná účinná vakcína. Snadný přenos nemoci a nakažené velké procento populace se vyskytuje především v rozvojových zemích. V posledních letech se hovoří o nárůstu onemocnění mezi čínskými studenty (čtvrtinu všech zahraničních studentů světa tvoří Číňané), možno uvažovat o změně morálky země v posledních letech i zvýšeným turismem. Lidé žijící s HIV mají prokázáno riziko úmrtí na Covid-19 dvojnásobně vyšší dle [2]. Dle výsledků organizace UNAIDS dle [2] zablokování Covid-19 a další omezení narušily testování na HIV, v mnoha zemích to vedlo k prudkému poklesu diagnóz, doporučení na pečovatelské služby a zahájení léčby.

Ze zprávy OSN [3] zabývající se konfrontací nerovností vyplývá, že v roce 2020 bylo 1,5 milionu nových infekcí HIV převážně mezi klíčovými populacemi a jejich sexuálními partnery. Lidé, kteří injekčně podávají drogy, transsexuální ženy, sexuální pracovníci a homosexuálové a další muži, kteří mají sex s muži, a sexuální partneři těchto klíčových populací, představovali v roce 2020 celosvětově 65 % infekcí HIV [2].

3. SITUACE V ČESKÉ REPUBLICCE

V tuzemsku byly první případy nákazy odhaleny 1. března 2020 a celkem zde dosud proběhly 4 vlny pandemie. Během těchto 4 vln (obrázek 1) bylo vyhlášeno několik opatření, která měla zpomalit a zastavit šíření viru. Opatření se týkala především uzavírání hranic, obchodů, škol, některých provozů nebo omezení pohybu obyvatel. Na konci 4. vlny bylo nakaženo celkem 1 664 382 osob a 30 336 zemřelo [1,4].



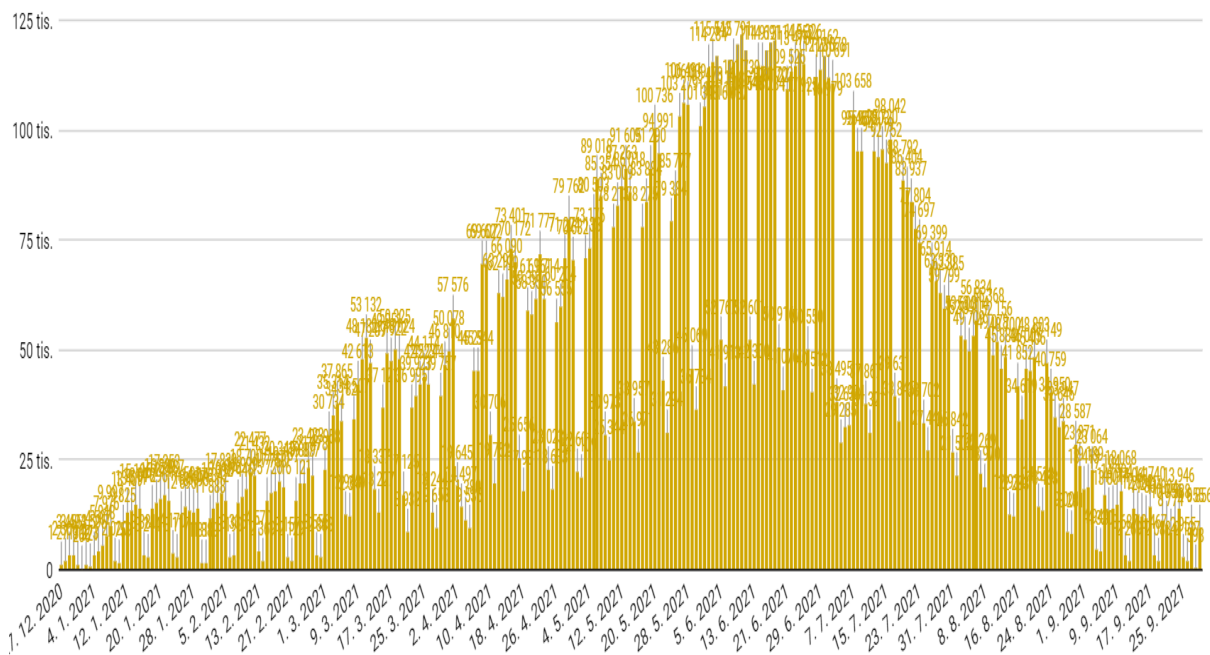
Obr. 1. Průběh pandemie v České republice [4].

V současné době je stav onemocnění následující: v České republice stále platí povinnost nošení ochranných prostředků dýchacích cest ve veřejné dopravě a v uzavřených prostorech. Dále platí omezení počtu osob na kulturních či sportovních akcích, omezení maloobchodu a služeb, omezení související s cestováním, očkováním a další opatření. Na společenských akcích, v hotelech nebo na cestách mimo území České republiky a dalších situacích, je zároveň vyžadováno potvrzení o očkování, prodělání nemoci nebo negativní test na Covid-19 [4]. Počty nakažených se během letních měsíců snížily a pohybovaly se mezi 100 a 300 nakaženými za den. V průběhu měsíce září začaly vzrůstat počty nakažených osob a aktuálně se blíží k 1 000 nakažených osob za den. Snížil se počet hospitalizovaných pacientů [4].

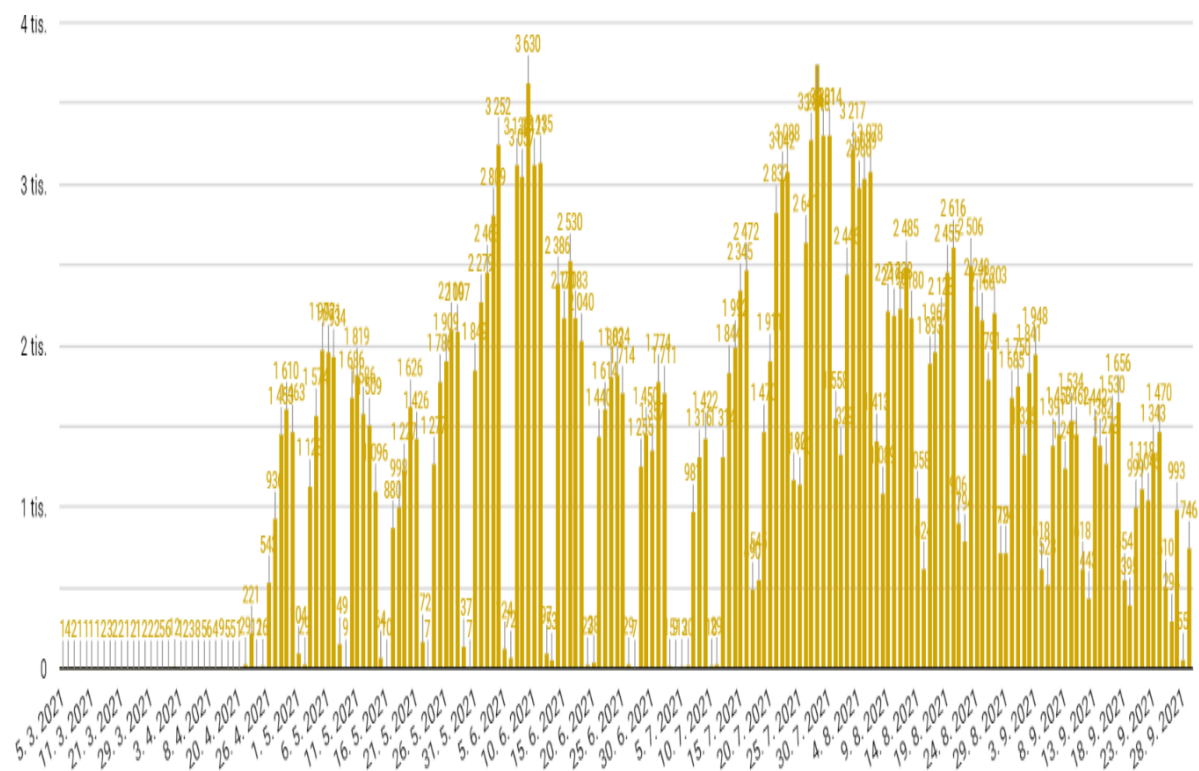
V prosinci 2020 došlo k důležitému pokroku v prevenci proti onemocnění Covid-19, a to v podobě očkování. V České republice bylo rozhodnuto od počátku, že aplikace očkování proběhne vybranými čtyřmi vakcínami. Průběhy vakcinace jednotlivými vakcínami jsou znázorněny na obrázcích 2-5.

Vakcína Comirnaty od výrobců Pfizer a BioNTech je určena pro všechny osoby starší 16 let a je podávána ve dvou dávkách s rozmezím 38 až 42 dní. Ke 4. červnu 2021 bylo naočkováno celkem 4 310 856 dávek vakcíny a znehodnoceno bylo 1 290 dávek [4]. Další vakcínou, jež byla použita pro systém očkování je vakcína Moderna od výrobce Moderna. Tato látka je určena pro všechny osoby starší 18 let a je podávána ve dvou dávkách v rozmezí 38 až 42 dní.

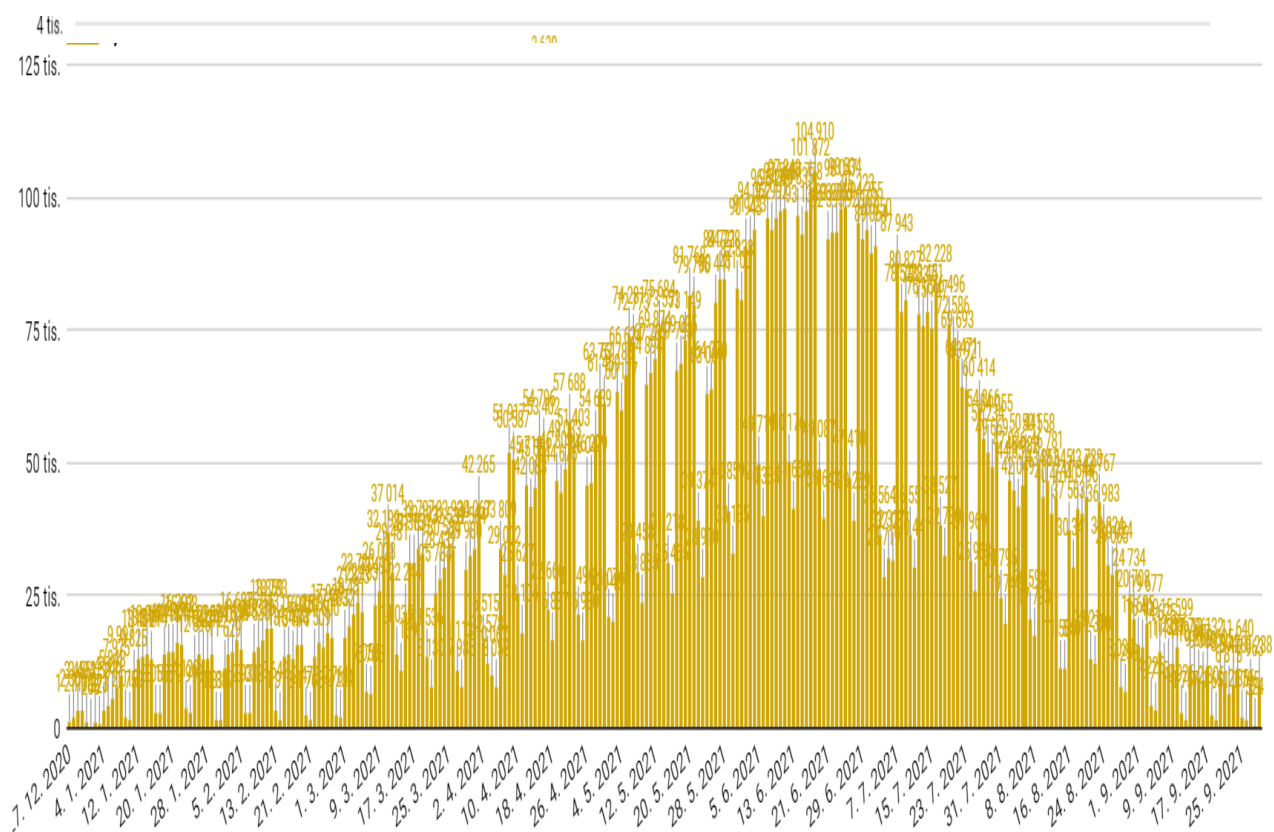
Ke 4. červnu 2021 bylo naočkováno celkem 4 310 856 dávek vakcíny a znehodnoceno bylo 1 290 dávek [4]. Další vakcínou, jež byla použita pro systém očkování je vakcína Moderna od výrobce Moderna. Tato látka je určena pro všechny osoby starší 18 let a je podávána ve dvou dávkách v rozmezí 38 až 42 dní. Ke 4. červnu 2021 bylo naočkováno celkem 303 480 dávek vakcíny a znehodnoceno bylo 340 dávek [4]. Vakcína Vaxzevria od pro všechny osoby starší 18 let a je podávána v jedné dávce. Ke 4. 6. 2021 bylo naočkováno celkem 50 484 dávek vakcíny [4]. V současné době je vykázáno 11 800 850 dávek očkování. Obrázky 2-5 ukazují průběhy očkování v České republice [4].



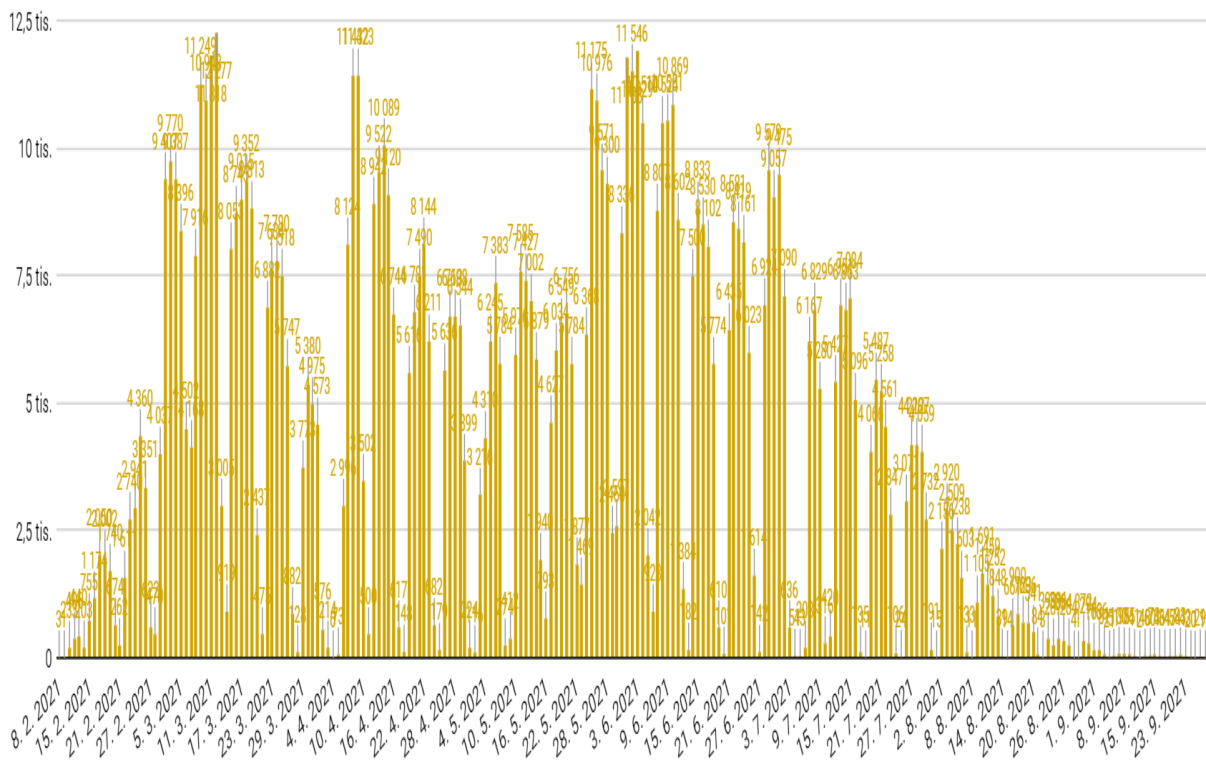
O br. 2. Rozložení počtu očkovaných v čase v ČR [4].



Obr. 3. Rozložení počtu očkovaných vakcínou Jansen v čase v ČR [4].



Obr. 4. Rozložení počtu očkovaných vakcínou Comirnaty v čase v ČR [4].



Obr. 5. Rozložení počtu očkovaných vakcínou Vaxzevria v čase v ČR [4].

Očkování je v ČR i ve světě stále kontroverzním tématem. Díky němu však vymizela velmi závažná onemocnění, která byla smrtelná a šířila se rychle, zasáhla celý svět díky pohybu obyvatelstva.

Zdroje rizik jsou v současné době pravděpodobně známá a existují účinná opatření ke snížení šíření onemocnění Covid-19. Efektivním řešením je zavedení a dodržování přísných hygienických opatření v domácím i pracovním prostředí, na veřejných prostranstvích. To znamená používání ochranných prostředků, desinfekce povrchů, důkladná hygiena, karanténní opatření, zvážit nutnost cest do zahraničí, návštěvy hromadných akcí, návštěvy obchodních center a tak dále. Částečně byla prevence v chování občanů a jejich povinnosti upraveny legislativně včetně sankcí. Částečně je na zodpovědnosti každého občana, jak se k nové situaci postaví.

4. OČKOVACÍ CENTRA V ČESKÉ REPUBLICE

V návaznosti na nutnost očkování vzniklo v České republice několik očkovacích center. O síti očkovacích center rozhoduje Ministerstvo zdravotnictví společně s krajskými koordinátory ve spolupráci s distributory [4]. Síť očkovacích center tvoří vytipované nemocnice v krajích a další vytipovaná zdravotnická zařízení, mobilní očkovací týmy, které očkují především v zařízeních sociální péče, a také praktičtí lékaři. Očkovat se začalo 27. prosince 2020, kdy bylo naočkováno celkem 1 261 osob. Ke konci 4. vlny bylo v provozu v České republice celkem 227 očkovacích míst a naočkováno bylo celkem 5 782 274 osob z toho u 1 852 757 osob bylo očkování ukončeno [4].

Proces očkování probíhá v několika krocích. Po příchodu pacienta do očkovacího centra proběhne kontrola řádného přihlášení v registračním systému na daný den. Pacientovi je změřena teplota a je s ním vyplněn dotazník obsahující údaje o jeho zdravotním stavu.. Po přidělení osobního čísla pacient pokračuje do čekárny, kde jej dobrovolník zavolá. Dobrovolník vyvolá další pořadové číslo poté, co se uvolní místo u lékaře a dobrovolníka. Lékař provede s pacientem pohovor, zatímco dobrovolník zapisuje do nemocničního systému AMIS pacientova osobní data. Pokud lékař nazná, že je pacient zdravý a další náležitosti jsou v pořádku, pacient dostane od lékaře povolení k očkování. Následně je osoba nasměrována dobrovolníkem na volné očkovací místo. Po vakcinaci pacient čeká na určeném místě 15 - 30 minut, z důvodu preventivních a čekání, zda nenastane nežádoucí reakce na vakcínu. Mezitím dobrovolníci do státního systému ISIN (Informační systém infekčních nemocí), který se řídí zákonem č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů, zadávají údaje o očkování první dávkou nebo tisknou certifikáty pro osoby, které již podstoupily očkování druhou dávkou vakcíny. Po uplynutí čekací doby je osoba prohlédnuta lékařem a v případě, že nenastaly žádné komplikace, je propuštěna. Pokud pacient dostal již druhou dávku vakcíny, před odchodem obdrží od dobrovolníka certifikát o ukončení očkování [1].

Aktuálně se hovoří o třetí dobrovolné preventivní posilovací dávce očkování, očkování bylo započato 20. 9. 2021 [4]. Přeočkování třetí dávkou je dobrovolné a hrazené zdravotní pojišťovnou, jako tomu bylo u předchozího očkování. Ministerstvo zdravotnictví uvádí podrobnosti k očkování včetně skupiny osob, kterých se přeočkování týká. Dodatečná dávka se podává i po doporučení lékařského pracoviště pro osoby se sníženou imunitou dle konkrétních diagnóz.

Je stále těžké odhadnout dopady nemoci Covid-19, jelikož je pro medicínský výzkum nemoc stále nová, mění se a informace o ní přibývají. Předmětem celosvětového výzkumu zůstává mnoho otevřených témat. Některé studie se zabývají účinky prospěšných i škodlivých látek ve vztahu k pravděpodobnosti onemocnění Covid-19. Jsou dále zkoumány faktory jako věk, fyzická kondice, zda má souvislost předchozí očkování proti jiným onemocněním s nižší pravděpodobností onemocnět a tak podobně.

5. METODY A VÝSLEDKY ZPRACOVÁNÍ DAT

Za účelem určení eliminace rizik, která mohou při procesu očkování nastat, byla provedena analýza What-If [5,6]. Bylo identifikováno celkem 30 možných rizik, jejich dopady a byla navržena vhodná opatření [1]. Výsledky analýzy jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Výsledky analýzy What, If a návrhy na opatření, jak problémům předejít [1].

Č.	What, If	ODPOVĚĎ	OPATŘENÍ
1.	... pacient nepřijde?	Pacient nebude očkovan. Možnost expirace vakcíny.	Seznam náhradníků, kteří budou moci obdržet vakcínu. Správné skladování vakcíny.
2.	... se rozbije teploměr?	Dobrovolník nebude moci pacientovi změřit teplotu.	Náhradní teploměr, popř. součástky (baterie).
3.	... bude mít pacient teplotu?	Pacient nebude očkovan. Bude poslán domů, na testy, do karantény. Bude očkovan v jiném termínu.	(Zavedeno: Měření teploty) Provádění testů na covid-19. (To by ale mohlo vést ke zpomalení procesu)
4.	... pacient nebude zapsán v seznamu?	Bude dohledán v IS. Pokud nebude ani v IS bude očkovan v jiný termín.	Kontrola papírového seznamu s IS.
5.	... dobrovolník odškrtně jinou osobu?	Může dojít ke zpomalení procesu a zmatku.	Dvojitá kontrola.
6.	... nebude vyplněn dotazník?	Může dojít ke zpomalení procesu a zmatku.	Kontrolní pracovník
7.	... pacient nebude mít kartičku pojištěnce?	Dojde ke zpomalení procesu.	x
8.	... bude dotazník špatně vyplněn?	Může dojít ke zpomalení procesu a zmatku.	Kontrolní pracovník
9.	... budou do systému vyplněna chybná data?	Dojde ke zpomalení procesu. Data budou muset být opravena.	Poučení dobrovolníků o zapisování dat do systému.
10.	... data do systému nebudou vyplněna?	Dojde ke zpomalení procesu, především při vydávání certifikátu.	Poučení dobrovolníků o zapisování dat do systému.
11.	... dojdou čísla pořadníku?	Budou doplněny ze skladu. Pokud nebudou na skladě, vymyslí se náhradní řešení (např. čísla psaná ručně).	Naskladnění dostatečného množství číselníků.
12.	... pacient číslo ztratí?	Dojde ke zpomalení procesu, ale pacient bude očkovan.	Připnutí na bundu. Zapsání čísla ke jménu v seznamu pro možnost zpětného dohledání.
13.	... budou negativní výsledky lékařské prohlídky? (pacientův zdravotní stav není vhodný pro očkování)	Pacient nebude očkovan.	x
14.	... pacient bude špatně poučen?	Může dojít ke zpomalení procesu (pacient nebude vědět, co dělat)	Vytvoření informačního letáčku pro pacienty.
15.	... lékař špatně posoudí zdravotní stav pacienta?	Může dojít k horším vedlejším účinkům nebo může mít očkování fatální následky.	x
16.	... pacienti nepůjdou v určeném pořadí?	Může dojít ke zpomalení procesu a zmatku.	Dobrovolník bude vyvolávat a kontrolovat čísla pořadí.
17.	... pacient půjde k jinému očkovacímu boxu, než mu byl určen?	Box může být obsazen, pacient bude muset jít jinam a dojde ke zpomalení procesu, nebo bude box volný a pacient bude očkovan.	Dohled dobrovolníka.
18.	... dojde vakcína?	Dojde k zastavení procesu.	Rezervní vakcína?
19.	... dojdou jehly?	Dojde ke zpomalení nebo zastavení procesu.	Rezervní jehly.

20.	... dojde jiný potřebný materiál?	Dojde ke zpomalení nebo zastavení procesu.	Rezervní materiál.
21.	... bude mít pacient nežádoucí účinky?	Pacient bude muset být vyšetřen případně převezen do nemocnice.	Připravenost lékařů poskytnout lékařské ošetření.
22.	... pacient odejde před uplynutím potřebné čekací doby?	Mohou nastat nežádoucí účinky a pacient nebude pod lékařským dohledem.	Kontrolní pracovník u východu.
23.	... pacient nedostane zprávu o aplikaci první dávky vakcíny?	Pacient nebude mít informaci o termínu aplikace druhé dávky vakcíny.	Náhradní způsob o informování, např. e-mail nebo SMS.
24.	... pacient nedostane certifikát?	Pacient může mít později problém s prokázáním očkování.	Náhradní způsob certifikace, např. e-mail.
25.	... pacient dostane certifikát s chybnými údaji	Dojde k zpomalení procesu a bude potřeba opravit data v systému.	x
26.	... vypadne elektrina?	Nebude možné zadávat informace do IS. Dojde ke zpomalení procesu možná zastavení.	Náhradní zdroj energie.
27.	... bude chybět personál? (nedostatek lékařů, sester, dobrovolníků)	Dojde ke zpomalení procesu. Při vysokém nedostatku personálu může dojít k zastavení procesu.	Zajištění náhradního personálu.
28.	... spadne informační systém?	Nebude možné zadávat informace do IS. Dojde ke zpomalení procesu možná zastavení.	Náhradní varianta pro zadávání dat, např. papírová verze, přítomnost IT technika.
29.	... nebude připraven očkovací box?	Dojde ke zpomalení procesu.	Kontrola připravenosti boxů před začátkem očkování
30.	... dojde k napadení IS hackerem?	Nebude možné zadávat informace do IS. Dojde k zastavení procesu.	Kvalitní antivirový program.

Některá uvedená, navržená opatření byla již od počátku v očkovacím centru aplikována. Jedná se například o měření teploty, poučení dobrovolníků a pacientů nebo vyvolávání pořadových čísel dobrovolníkem. Další navržená opatření mohou být dodatečně realizována, avšak ne všechna jsou v současné době uskutečnitelná. Pro jejich časovou náročnost by jejich realizace znamenala nadbytečné využívání personálu na méně důležité činnosti.

Jako další nástroj pro analýzu rizik byla vybrána a použita analytická metoda FMEA [5,6], jež je nástrojem pro hledání možností vzniku vad a identifikaci jejich následků. V systému Očkování pacientů proti onemocnění Covid-19 byly určeny následující prvky; tabulka 2.

Tabulka 2. Sledované parametry procesu očkování.

PŘÍJEM	ČEKÁRNA	LÉKAŘSKÁ PROHLÍDKA	OČKOVÁNÍ	PROPUŠTĚNÍ
Příchod pacienta	Čekání	Odvedení pacienta na prohlídku	Odvedení pacienta do očkovacího boxu	Předání potvrzení o očkování
Kontrola registrace		Lékařská prohlídka	Očkování	Propuštění
Měření teploty			Zápis informací do IS	
Vyplnění dotazníku			Čekání na nežádoucí účinky	
Obdržení čísla s pořadím				

Výsledky metody FMEA jsou znázorněné v tabulce 3, kde jsou spolu s mírou rizika navržena i vhodná opatření; ocenění míry rizika bylo provedeno autorkou práce [1] na základě konkrétních zkušeností z praxe v očkovacím centru.

Tabulka 3. Zdroje rizik procesu vakcinace zjištěné metodou FMEA [1].

Analýza možností vzniku vad a jejich následků														
Proces - Očkování pacientů proti onemocnění Covid-19				Stávající stav					Opatření	Výsledky opatření				
Prvek, funkce, systém, znak	Možné vady, jejich projev	Předpokládané důsledky vady	Předpokládaná příčina vady	Kontrolní opatření	P	V	O	Míra rizika	Doporučená opatření	P	V	O	Míra rizika	
PŘÍJEM	Příchod pacienta	Pacient nepřijde	Pacient nebude očkovan	Neočekávaná událost, která způsobí, že pacient nepřijde	x	2	4	3	24	Seznam náhradníků, kteří se budou moct dostavit na očkování. Pokuta.	2	2	3	12
		Znehodnocení vakcíny	Expirační doba, složení vakcíny											
	Kontrola registrace	Pacient není v seznamu	Pacient nebude očkovan	Lidská chyba	Tisk aktuálního seznamu (tisk v den očkování)	2	3	2	12	Častější aktualizace seznamu v IS	2	3	2	12
				Chyba IS										
		Pacient nemá kartičku pojištěnce		Lidská chyba	x	3	5	3	45	x	3	5	3	45
		Dobrovolník odškrtně jiného pacienta	Dojde ke zmatku a zpomalení procesu	Lidská chyba (nepozornost)	x	3	2	4	24	x	3	2	4	24
	Měření teploty	Poškození teploměru	Naměření chybné teploty	Výrobní vada	Poučení personálu o používání teploměru	3	3	3	27	Kontrola funkčnosti před zahájením procesu	2	3	2	12
			Nenaměření teploty	Nesprávná manipulace										
		Pacient má zvýšenou teplotu	Pacient nebude očkovan	Zdravotní problémy	Prohlášení, že pacient nemá příznaky	3	5	4	60	x	3	5	4	60
	Vyplnění dotazníku	Dotazník není vyplněn	Zpomalení procesu	Lidská chyba	Upozornění, na nutnost vyplnění dotazníku	2	3	3	18	x	2	3	3	18

		Dotazník je špatně vyplněn	Zpomalení procesu		Poučení pacienta o vyplnění	2	2	3	12	Vzor vyplnění formuláře	1	2	3	6
			Zmatek											
		Dotazník není k dispozici	Zpomalení procesu		Dostatečné množství naskladněných dotazníků	2	3	2	12	Vyčlenění dobrovolníka a tiskárny pro případné dotisknutí dotazníků	2	2	2	8
	Poučení pacienta	Pacient je špatně poučen	Pacient neví, co má dělat - zmatek	Lidská chyba	Školení dobrovolníků, jak poučit pacienta	3	4	4	48	x	3	4	4	48
			Nepříznivé účinky na pacientovo zdraví											
		Pacient není poučen	Pacient neví, co má dělat - zmatek			2	4	4	32	x	2	4	4	32
			Nepříznivé účinky na pacientovo zdraví											
	Obdržení čísla s pořadím	Pacient číslo neobdrží	Zpomalení procesu	Lidská chyba	Poučení dobrovolníků	2	3	2	12	x	2	3	2	12
		Pacient číslo ztratí			x	3	2	2	12	Zapsání čísla do seznamu k pacientovu jménu	2	2	2	8
		Došla čísla pořadí		Nedostatek naskladněných čísel	Naskladnění dostatečného množství čísel	3	3	3	27	Ručně psaná čísla	2	3	3	18
ČEKÁRNA	Čekání pacienta	Pacientovi se udělá nevolno	Zpomalení procesu	Zhoršení zdravotního stavu pacienta	x	2	4	5	40	x	2	4	5	40
LÉKÁŘSKÁ	Odvedení pacienta na	Nepřítomnost lékaře	Zpomalení procesu	Lékař nepřišel do práce	Rozpis služeb	3	5	3	45	Seznam náhradních lékařů	2	5	3	30

PROHLÍDKA	prohlídku																	Kontrola přítomnosti lékařů před zahájením provozu										
					Lékař má pauzu														Rozpis pauz									
		Nepřítomnost dobrovolníka			Dobrovolník nepřišel		3	5	4	60	Kontrola přítomnosti dobrovolníků před začátkem očkování	2	5	4					Rozpis pauz							40		
	Zápis informací do IS	Zadání nesprávných informací	Zpomalení procesu	Lidská chyba	Poučení dobrovolníků	3	4	4	48	x	3	4	4														48	
				Lidská chyba		2	4	4	32	x	2	4	4															
		Nezadání informací do IS	Pacient nebude očkovan	Přetížení IS	x	3	5	3	45	Přítomnost IT technika	3	5	2							Kvalitní ochrana IS								30
				Chyba IS																								
	Lékařská prohlídka	Negativní výsledky prohlídky	Pacient nebude očkovan	Nevyhovující zdravotní stav pacienta	x	2	5	4	40	Lékařská prohlídka před návštěvou očkovacího centra	2	5	3														30	
	OČKOVÁNÍ	Odvedení pacienta do očkovacího boxu	Box není připraven	Zpomalení procesu	Špatná organizace práce	Kontrola před zahájením provozu	2	4	2	16	x	2	4	2													16	
					Špatné poučení pacienta		Dobrovolník "navigátor"	2	3	4	24	Světelná signalizace	1	3	3													
Nepřítomnost sestry			Pacient nebude očkovan	Nedostatek personálu	Rozpis služeb	2	5	4	40	Kontrola přítomnosti sester před začátkem očkování	2	5	4															40
		Zpomalení procesu		Sestra má pauzu																								
Očkování		Není vakcína	Pacient nebude očkovan	Špatné rozpočítání dávek vakcín	Kontrola dostupnosti před	4	5	4	80	x	4	5	4														80	

		Není jehla		Nedostatečná do- dávka jehel a mate- riálu	zaháje- ním pro- vozu	3	5	3	45	x	3	5	3	45	
		Není jiný zdravot- nický mate- riál				3	5	3	45		2	5	3	30	
		Nežádoucí účinky ih- ned po vpí- chu	Zpoma- lení pro- cesu	Organismus nepří- jal vakcínu	x	1	5	3	15	x	1	5	3	15	
PROPUSŤENÍ	Zápis in- formací do IS	Zadání ne- správných informací	Zpoma- lení pro- cesu	Lidská chyba	Pou- čení dobro- vol- níků	3	4	4	48	x	3	4	4	48	
		Nezadání informací do IS		Lidská chyba Chyba IS		2	4	4	32	x	2	4	4	32	
		Nefunkční IS	Pacient nebude očko- ván	Přetížení IS	x	3	5	3	45	Přítomnost IT tech- nika	3	5	2	30	
			Hackerský útok					45	Kvalitní ochrana IS						
	Tisk cer- tifikátu	Není papír	Nevy- dání po- tvrzení o očko- vání nebo certifi- kátu	Lidská chyba	Dosta- tek na- sklad- něného materi- álu		2	4	1	8	Smlouva na ex- presní do- dání mate- riálu	2	4	1	8
		Není barva					3	4	3	36		3	4	3	36
		Nefunkční tiskárna		Lidská chyba	x	3	4	3	36	Návod k obsluze	24	2	4	3	24
				Technická závada								Náhradní tiskárna			
		Chybný certifikát	Zpoma- lení pro- cesu	Lidská chyba	x	2	4	4	32	x	2	4	4	32	
	Čekání na nežá- doucí účinky	Nástup ne- žádoucích účinků	Zpoma- lení pro- cesu	Organismus nepří- jal vakcínu	Přípra- venost lékařů k po- skyt- nutí potřeb- ného ošet- ření	1	5	4	20	x	1	5	4	20	
		Odchod pacienta bez povo- lení lékaře	Zpoma- lení pro- cesu	Špatné poučení pa- cienta	x	3	3	4	36	Dobrovol- ník u dveří (kontrola potvrzení a certifi- kátů)	2	3	4	24	
	Propu- štění	Pacient není pro- puštěn	Zpoma- lení pro- cesu	Nepříznivé účinky na vakcínu	Přípra- venost lékařů k po- skyt- nutí potřeb- ného ošet- ření	2	4	3	24	x	2	4	3	24	

			Neuběhla potřebná čekací doba	x									
			Pacient nedostal potvrzení nebo certifikát										
Předání potvrzení o očkování	Potvrzení není předáno	Zpomalení procesu	Lidská chyba	Kontaktování pacienta	2	4	4	32	Zaslání e-mailem	2	3	4	24
			Technická závada										

Celkem bylo identifikováno 36 možných vad, které byly seřazeny vzestupně podle míry rizika. Pro posouzení míry rizika byla použita bodovací stupnice se 100 body [1]. Na základě shromážděných dat byly zjištěna míra rizika v rozmezí 8–80 [1]. Znamená to, že byly identifikovány vady, které spadají do kategorie nízké riziko (zelená), střední riziko (žlutá), vysoké riziko (oranžová) a velmi vysoké riziko (červená). U 15 možných vad se podařilo snížit míru rizika zavedením nových opatření.

Z výsledků aplikace metody FMEA vyplývá, že v procesu vakcinace nebylo identifikován zdroj extrémního rizika. Jako nejzávažnější vada (zdroj rizika) byl identifikován nedostatek vakcíny, který má míru rizika 80, tudíž spadá do kategorie velmi vysoké riziko. Část navržených opatření k omezení následků jsou již zavedena a o některých lze říci, že jejich realizace je personálně náročná a tedy nevýhodná. Za předpokládanou příčinou vady stojí lidský faktor. U většiny havárií hraje roli selhání lidského faktoru. Člověk je nezastupitelným článkem mnoha systémů od historie po současnost. Je nutno zajistit dostatečné personální a profesionální obsazení. Metodou Check list byl vytvořen seznam položek činností a postupů pro zajištění konzistence a úplnosti procesu očkování; tabulka 4.

Tabulka 4. Kontrolní seznam pro zajištění správného průběhu procesu očkování.

Č.	VADA	MÍRA RIZIKA
1	Není papír	8
2	Pacient není v seznamu	12
3	Dotazník je špatně vyplněn	12
4	Dotazník není k dispozici	12
5	Pacient neobdrží číslo	12
6	Pacient ztratí číslo	12
7	Nežádoucí účinky ihned po vpichu	15
8	Box není připraven	16
9	Dotazník není vyplněn	18
10	Nástup nežádoucích účinků	20
11	Pacient nepřijde	24
12	Dobrovolník odškrtně jiné jméno pacienta	24
13	Pacient jde do jiného boxu	24
14	Pacient není propuštěn	24
15	Poškození teploměru	27
16	Došla čísla pořadí	27
17	Pacient není poučen	32
18	Nezadání informací do IS	32
19	Chybný certifikát	32

20	Potvrzení není předáno	32
21	Není barva	36
22	Nefunkční tiskárna	36
23	Odchod pacienta bez povolení lékaře	36
24	Pacientovi se udělalo nevolno	40
25	Negativní výsledky prohlídky	40
26	Nepřítomnost sestry	40
27	Pacient nemá kartičku pojištěnce	45
28	Nepřítomnost lékaře	45
29	Nefunkční IS	45
30	Není jehla	45
31	Není zdravotnický materiál	45
32	Pacient je špatně poučen	48
33	Zadání nesprávných informací do IS	48
34	Pacient má zvýšenou teplotu	60
35	Nepřítomnost dobrovolníka	60
36	Není vakcína	80

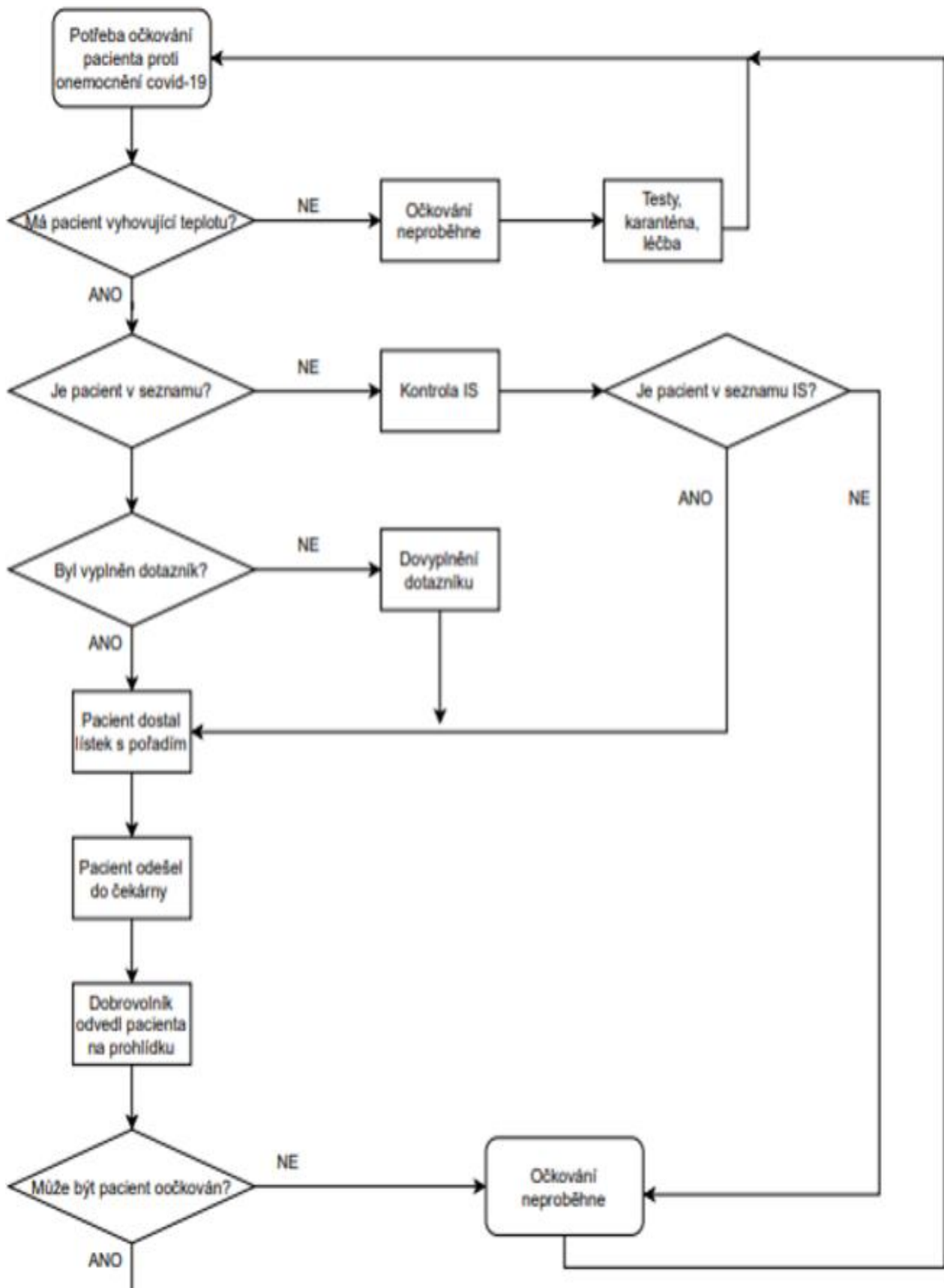
Účelem zpracovaného kontrolního seznamu je podklad pro vedoucího pracovníka při kontrole plynulosti a funkčnosti procesu vakcinace. Zároveň může sloužit jako podpůrný materiál při zaučení nového personálu. Postupový vývojový diagram níže ukazuje celou strukturu očkování od počátečního rozhodnutí potřeby očkování pacienta proti onemocnění Covid-19 až po zkonstatování, že pacient byl naočkován a to znamená, že prošel celou strukturou očkovacího procesu, která je znázorněna na obrázku 6.

Při očkovací kampani pro zvládnutí pandemie se potvrdilo, že zdravotnictví je vysoce důležitou infrastrukturou. Ukázalo se, že zajištění jeho bezpečného provozu při zvládnutí pandemie závisí jednak na řízení pandemie vrcholnými orgány státu a jeho příslušných složek, ale i na procesu, kterým personál provádí vakcinaci. Právě spolehlivá funkce kritického personálu (kvalifikovaný postup a bezchybná práce) zajistily a stále zajišťují úspěšné zvládnutí pandemie. Předmětná skutečnost ukazuje, že funkce a podpora kritického personálu je vysoce důležitá ve zdravotnictví, tj. nejen v dopravě, energetice a průmyslu, jak dokazuje např. [7].

6. ZÁVĚR

Pro zabezpečení správné funkce očkovacích center je potřeba snížit rizika procesu vakcinace na přijatelnou úroveň. Analýza rizik spojených s procesem vakcinace byla provedena prostřednictvím tří metod, a to metody What-If (Co se stane, když?), metodou FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) a metodou Check list (Kontrolní seznam). Výsledky metody FMEA lze považovat za nejvíce vypovídající vzhledem k jejich kvantitativní podobě. Výsledek metody FMEA je míra rizika možných vad systému očkování proti onemocnění Covid-19. Metoda What-If slouží především k identifikaci možných rizik a metoda Check list pro kontrolu plynulosti a funkčnosti systému.

Pro posouzení rizika je vždy vhodné vybrat kombinaci metod, aby výsledek analýzy byl co nejvíce vypovídající. Vhodná kombinace metod zajistí možnost srovnání míry rizika, jejich přijatelnosti či nikoliv a vede k návrhu seznamu opatření. Závěrem lze říci, že nejzávažnější rizika jsou spojena s lidským faktorem, který je i přes existenci různých metod velmi těžce ovlivnitelný.



Obr. 6. Postupový diagram pro očkování.

Vzhledem k tomu, že se jedná o situaci novou, je třeba jednat proaktivně a pružně na jakoukoliv změnu. K tomu slouží v institucích krizový management, který za pomoci odborníků vytváří na základě zkušeností postupy pro eliminaci rizika. V mimořádné situaci spojené s onemocněním Covid-19 a systémem očkování se ukázala velká úroveň schopností kritického managementu. Není možno však předvídat ani za pomoci dostupných nástrojů budoucí chování ekonomiky, lidí, sociální následky pandemie. Role kritického personálu je klíčovou k fungování a zvládnutí mimořádných situací.

LITERATURA

- [1] NOVÁKOVÁ, P. Modelování vybraných rizik ve zdravotnictví. *Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně 2021, 101 p.
- [2] <https://www.unaids.org/>
- [3] <http://www.un.org>
- [4] <https://mzcr.cz/>
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metody rizikového inženýrství*. ISBN 978-80-7385-111-8. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství 2012, 368 p.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza a řízení rizik*. ISBN 978-80-01-04841-2. Praha: ČVUT 2011, 405 p.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2019, 465 p. <http://hdl.handle.net/10467/85867>_doi:10.14311/BK.9788001066751

Poděkování: Autorky děkují VUT a TAČR za projekt PRKODI, identifikační kód CK01000095, v jehož rámci byl článek zpracován.

BEZPEČNÉ ŘÍZENÍ MOBILNÍ KYBERNETICKÉ BRÁNY

SAFE MANAGEMENT OF MOBILE CYBER GATEWAY

Jan Procházka^{1,2}, Petr Novobilský¹, Dana Procházková²

¹*Q-media s.r.o., Počernická 272/96, 10800 Praha 10, Česká republika, jpr@qma.cz*

²*Ústav soudního inženýrství, VUT, Purkyňova 464, 61200 Brno, Česká republika*

Abstrakt: Vlak je kritický prvek drážní infrastruktury. Jeho bezpečnost je spojená s celou řadou vlivů, které není možné zcela kontrolovat. Článek se zabývá výzkumem adaptivity kyber-fyzických systémů (CPS). Cílem je vytvoření mobilní komunikační brány (MCG), která bude schopna odhalit některé nežádoucí jevy. Odhalení nežádoucích jevů musí probíhat jak v prostoru fyzickém, tak v prostoru kybernetickém. MCG by pak měla být schopna určité odezvy na nastalou situaci.

Klíčová slova: Zabezpečení; vlak; mobilní komunikační brána; rizika; bezpečnost.

Abstract: The train is a critical element of rail infrastructure. Its safety is connected with many influences which cannot be fully under control. The paper deals with research of adaptivity of cyber-physical systems (CPS). The aim is the creation of mobile communication gateway (MCG) which will be capable to reveal some of unwelcome phenomena. The detection of these phenomena needs to be under way in both spaces, the cyber one and physical one. The MCG might be also capable reliable to respond to inconsistent situation.

Key words: Security; train; mobile communication gateway; risks; safety.

1. ÚVOD

Bezpečnost vlaku je spojená s celou řadou vlivů, které není možné zcela kontrolovat. Vlak se může pohybovat po rozsáhlé síti železničních cest v různých prostředí – počasí, podnebí, denní a roční období, geografické vlivy, jako řeky, hory, lesy, venkov, silně urbanizovaná oblast. Prostředí, ve kterém se vlak pohybuje je navíc otevřené a přichází tak do kontaktu s dalšími lidskými zájmy a aktivitami, z nichž některé mohou být namířeny proti vlaku samotnému. V neposlední řadě různá stadia pohybu vlaku mohou mít rozdílný vliv na jeho bezpečnostní situaci.

Předmětná situace vlaku ve fyzickém prostoru se odráží i v prostoru kybernetickém. Komunikace s vlakem musí být zajištěna na rozsáhlé rozloze, nezávisle na poloze, prostředí a pohybu vlaku. Komunikace navíc probíhá skrze otevřený prostor (sít' kategorie 3 [1]). Nemáme tedy plnou kontrolu nad provozními podmínkami vlaku. Odpovědí pak může být schopnost vlaku přizpůsobit se aktuálním změnám podmínek provozu.

Článek se zabývá výzkumem adaptivity kyber-fyzických systémů (CPS), který je v případě tohoto článku financován evropskými projekty ADMORPH [2] a COSMOS [3]. Cílem je vytvoření mobilní komunikační brány (MCG), která bude schopna odhalit některé nežádoucí jevy. Odhalení nežádoucích jevů může probíhat jak v prostoru fyzickém, tak v prostoru kybernetickém. MCG by pak měla být schopna určité odezvy na nastalou situaci.

Na základě současných zjištění [4], každý inženýrský systém se vyznačuje strukturou, hardwarem, postupy, prostředím, informačními toky, organizací a rozhraními mezi těmito komponenty. Bezpečný provoz kyber-fyzických systémů znamená provoz, který je spolehlivý, funkční a neohrožuje sebe a své okolí. Základním prvkem bezpečného operace kyber-fyzických

systémů v oblasti technických řešení je aplikace bezpečných technických prvků, jejich kvalifikované propojení a provozní režimy umožňující bezpečný (tj. spolehlivý a bezproblémový) provoz a řádná údržba, zálohování prioritních částí technického vybavení, komponenty nebo systémy, používání různých zásad zálohování a promyšlené zavádění záloh.

Cílem je vytvořit mobilní komunikační bránu (MCG), která bude schopna detekovat některé nežádoucí jevy. Detekce nežádoucích jevů může probíhat jak ve fyzickém, tak v kyberprostoru. MCG by pak měla být schopna reagovat na situaci.

V kapitole 2 se budeme zabývat základní strukturou MCG tak jak je navržena na základě standardů a jejího umístění v rámci českých drah. Kapitola 3 se bude zabývat vytypovanými riziky, na které by měla být schopna MCG reagovat. Kapitola 4 by pak měla rozvést monitoring a kapitola 5 odezvu MCG na monitorované veličiny.

2. BEZPEČNOST POHYBŮ VLAKŮ

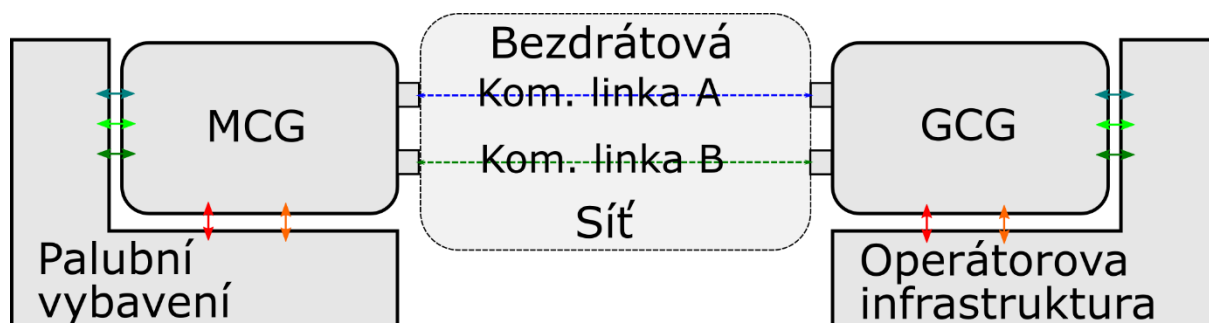
Dopravní infrastruktury jsou v rámci kritických infrastruktur spojené se specifickým problémem. Tímto specifickým problémem je přítomnost velkého množství pohyblivých prvků (například vlaků). Bezpečnost pohyblivých prvků v rámci CPS je tak potřeba zajistit jak proti fyzickému vniknutí, tak kybernetickou bránou. V rámci článku se budeme zabývat kybernetickou bránou vlaku, která je v rámci infrastruktury nazývána mobilní komunikační brána (MCG). MCG je spojena jak problémy klasické kybernetické brány, tak s problémy specifickými pro pohybující se prvek. Komunikace tak zpravidla nemůže probíhat skrze uzavřený komunikační systém, musí probíhat otevřeným prostorem skrze distribuované komunikační portály, pozemní komunikační brána (GCG).

Vlaky jsou kritickými prvky drážní infrastruktury. Pohybují se po pevných kolejnicích, a proto jsou náchylné ke kolizím. Předmětnou náchylnost umocňuje obrovská hmotnost a hybnost vlaků, což ztěžuje zastavení při naražení na překážku. Od samého začátku provozu železnice, je signalizace základním problémem pro zajištění bezpečného provozu vlaků. V dnešní době do předmětné oblasti proniká automatizace. Automatické signály bezpečnostního systému železnice stanovují, zda vlak může či nemůže pokračovat v určitém úseku v jízdě na základě automatické detekce jiného vlaku v předmětném úseku. Oproti starším způsobům jsou velkým přínosem např. při špatné viditelnosti (tma, mlha).

S rozvojem komunikačních a řídicích technologií roste potřeba ochrany kritické infrastruktury jako kyber-fyzického systému (CPS). Základním přístupem ochrany je uzavření kritických prvků do chráněné oblasti se zabezpečeným přístupem. Tento principy se používá jak ve fyzickém, tak v kybernetickém prostoru. V případě CPS pak je potřeba, aby přístup k prvkům v obou prostorech měl stejnou ochranu a neumožňoval bypass zabezpečení skrz druhý prostor. Přístup do těchto chráněných oblastí je pak skrz brány. Brány musí být vybaveny tak, aby umožnili identifikaci a autentizaci osob či procesů s oprávněným přístupem. Zároveň brány musí být zajištěny proti neoprávněnému vniknutí. To platí stejně pro brány ve fyzickém prostoru, jako pro brány v prostoru kybernetickém též nazývané kybernetické brány.

Základním problémem je komunikace mezi vlaky a komunikace vlaku s dispečinkem. Komunikační řízení vlaků (CBTC) je železniční zabezpečovací systém, který využívá telekomunikaci mezi vlakem a traťovým zařízením pro řízení dopravy a řízení infrastruktury. Protože vlak se pohybuje, tak dochází vlivem vnějších podmínek k proměně podmínek spojení mezi důležitými subjekty, které mají kyber-fyzickou povahu. To znamená, že je třeba vyřešit úskalí spojená s uvedeným problémem. Proto se podílíme v projektech na vytvoření bezpečné mobilní komunikační brány.

Konstrukce MCG musí zajistit klasické funkce vstupní brány, jako je identifikace a autentizace, zamezení vstupu neoprávněným osobám a procesům, dostatečnou kapacitu vyžadované komunikaci. Protože se ale nachází v otevřeném prostoru, jak fyzickém, tak kybernetickém, často v pohybu, je naše kontrola nad podmínkami prostředí omezená. MCG tak potřebuje být schopna dynamicky reagovat na změny prostředí způsobené úmyslnými útoky či neúmyslnými změnami v systému. Schopnost adaptace musí být dána MCG při její konstrukci. Příkladem je MCG na obrázku 1, které využívá segmentace systému za využití přístupu Multiple Independent Levels of Security (MILS). MILS umožňuje odezvu na problémy na MCG za pomoci redundance a redistribuce zdrojů, popřípadě změny v softwarových procesech.



Obr. 1. Schéma komunikace mezi vlakem a pozemní infrastrukturou.

3. MOBILNÍ KOMUNIKAČNÍ BRÁNA

Mobilní komunikační brána je kyber-fyzické zařízení, které zajišťuje spojení pohyblivého systému jako je vlak s pevnou pozemní infrastrukturou. Mobilní komunikační brány se musí řídit celou řadou standardů a pravidel, určených oblastí jejich nasazení. V případě vlaku je soupis standardů v rámci certifikačního cyklu podrobněji rozepsán v článku [5].

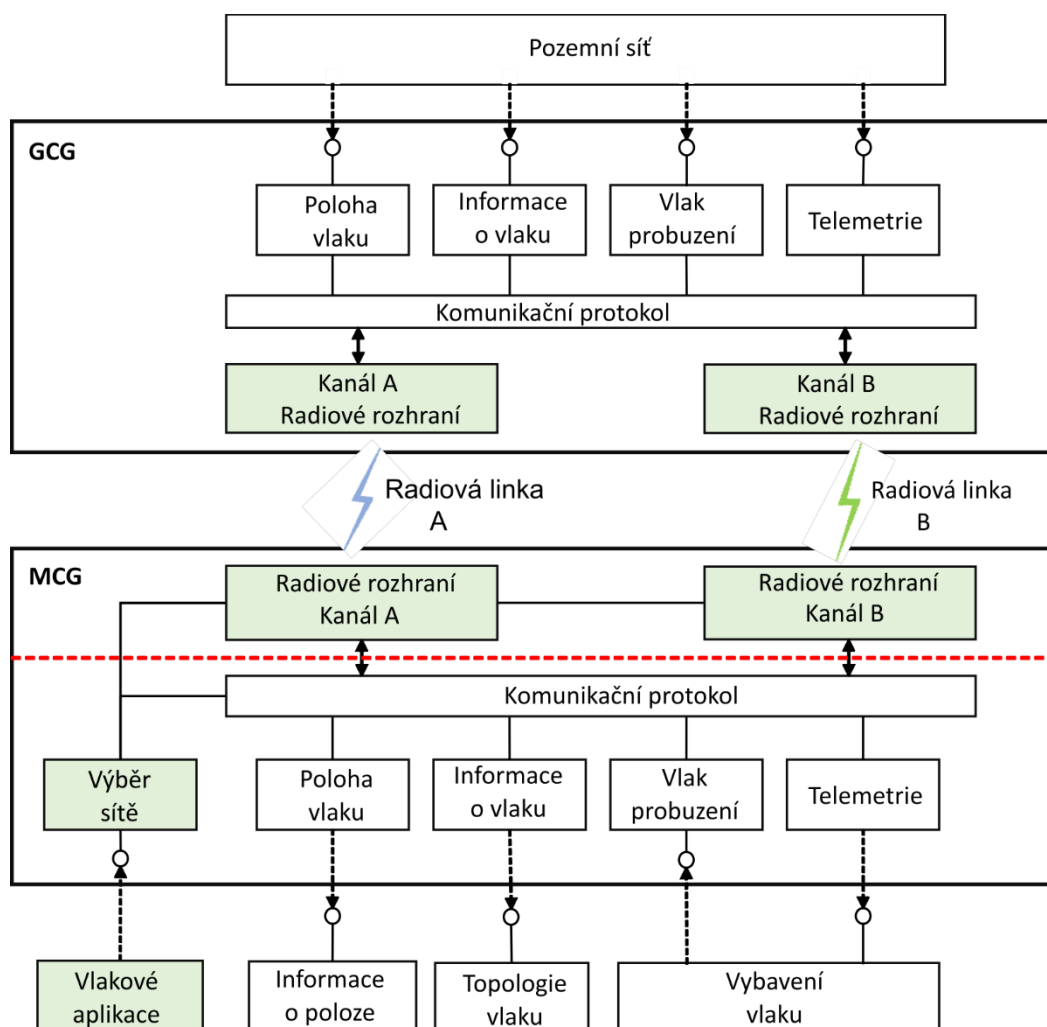
V rámci komunikace mezi vlakem a pozemní infrastrukturou máme na obou stranách komunikační brány, mezi kterými komunikace probíhá. Brána na straně pozemní infrastruktury se nazývá pozemní komunikační brána (GCG) a brána na straně mobilního systému, jako je vlak, se nazývá mobilní komunikační brána, obrázek 1.

Kybernetická síť vlaku je rozdělena do několika oblastí, jako jsou služby veřejnosti, pohodlí ve vlaku, pomocné systémy vlaku, řídicí systémy vlaku a kritické systémy vlaku [6]. Komunikace pro uvedené oblasti může být zajištěna nezávislými komunikačními kanály. Praktičtější je ale použití jednoho komunikačního kanálu, kdy komunikační brány na obou stranách podporují komunikace s odlišnou kritičností.

Pro zajištění komunikací s rozdílnou kritičností, využívá naše brána principů vícero nezávislých úrovní bezpečnosti (MILS) [7,8]. Komunikační brány na obrázku 1 dále obsahují redundantní komunikační linky, pro případ bezpečnostních incidentů na hlavní lince A. Bezdrátová komunikace probíhá otevřeným systémem. Jedná se o pásmo, vyhrazeno operátorem pro potřeby provozovatele vlaků. Není ale možné zaručit vniknutí cizích činitelů.

Bezpečnost kybernetické sítě vlaku je tak nutné zajistit na straně komunikační brány vlaku. Komunikační brána vlaků, MCG, která zajišťuje bezpečnou komunikaci pro různé systémy vlaku za pomoci operačního systému PikeOS [9] a principů MILS je na obrázku 2. Na obrázku 2 vidíme i strukturu GCG, která reflektuje strukturu MCG. Struktura MCG vychází z funkčních požadavků vlakového dopravce a reflektuje normu TS50701 [6]. Zabezpečení jednotlivých zón

pak vychází z bezpečnostních požadavků standardu IEC 62443 [10].



Obr. 2. Struktura MCG a GCG rozdělena do jednotlivých podporovaných oblastí komunikace.

4. VYBRANÁ RIZIKA MOBILNÍ KOMUNIKAČNÍ BRÁNY

MCG byla vyvíjena s použitím normy IEC 62443 [10], [5]. Jako jeden z prvních úkonů tak byla provedena analýza rizik v rámci daného kontextu umístění v síti. Během analýzy rizik bylo identifikováno 28 specifických hrozeb, jejíž zdroj se nacházel uvnitř i vně systému železniční infrastruktury. Identifikovaná rizika byla vyhodnocena a k nim byla navržena opatření v rámci požadavku z normy IEC 62443.

V rámci aktuální situace v oblasti komunikační bezpečnosti v místě nasazení, tedy český železniční dopravce, stačí k dosažení požadované bezpečnosti opatření nastavená před uvedením do provozu. S rostoucími nároky na bezpečnost v oblasti komunikací je ale potřeba vyvinout nástroje, které umožní provozovateli reagovat na vzniklé situace při provozu.

V rámci identifikovaných hrozeb jsme tak vytipovali hrozby s potenciálem růst do budoucna, které je zároveň možné přímo nebo nepřímo monitorovat. Vybraná rizika jsou uvedena v tabulce 1.

V tabulce 1 najdeme 6 vybraných rizik, pro které bude MCG vybavena monitoringem. To

neznamená, že brána je vybavena 6 rozdílnými monitorovacími systémy, každý pro jednotlivá rizika. Některá rizika lze odhalit jedním monitoringem, ale stejně tak platí že pro odhalení jiných rizik by bylo potřeba připravit monitoring pro různé scénáře realizace rizika. Rizika a jejich scénáře jsme si proto rozdělili do tří oblastí pro potřeby dalšího zpracování.

První oblast se zabývá správným fungováním fyzické části MCG. Špatné fungování hardwaru může být způsobeno technickými chybami, pozměněním funkcí systémů útočníkem, nebo cíleným přetížením MCG.

Tabulka 1. Vybraná rizika komunikační brány. Rizika, pro která je MCG vybavena monitoringem.

Oblast rizika	Příčina rizika
1	Útočník se připojí přes bránu a bude manipulovat se systémy vnitřní sítě.
2	Útočník se připojí k bráně a dostane se k firemním informacím.
3	Selhání hardwaru
4	Chybná provozní vstupní data.
5	Velké množství neoprávněných přístupů, zahlcení služeb.
6	Komunikace nebude probíhat kvůli nedostatku zdrojů.

Druhá oblast se týká informačního toku, který do brány vstupuje. Vedle kvality informačního toku, jestli nedošlo k jeho pozměnění, můžeme sledovat i kvantitu, tedy jestli jeho hustota odpovídá standardním hodnotám.

Třetí oblast je potom spojena s aktivitami na MCG, které mohou souviset s pokusy o vniknutí či úspěšným vniknutím do MCG.

Rizika z tabulky 1, respektive jejich scénáře dopadů pak přidělíme do jednotlivých oblastí. Každá ze tří oblastí je pak spojena s monitorovacím systémem, který bude rozepsán v následující kapitole. S rozvojem technologií se může zvýšit množství monitorovaných rizik. Vždy ale bude nutné vybírat nejkritičtější z nich s ohledem na dostupné zdroje MCG.

5. MONITOROVACÍ SYSTÉMY

Na základě oblastí rizik, které byly identifikovány v kapitole 3 se vyvíjí tři různé systémy pro monitoring jevů. Každý z monitorovacích systémů můžeme rozdělit na:

1. Síť čidel či detektory, které sledují veličinu, nebo veličiny spojené s monitorovaným jevem.
2. Přenosový kanál s protokolem zpráv,
3. Vyhodnocování sledovaných veličin v čase.

V rámci naší MCG je pro přenos informací mezi detektory, čidly na jedné straně a vyhodnocením na straně druhé použit protokol MQTT [11] a využity jsou již nastavené informační kanály. Výpočetní jednotka pro vyhodnocení může být v budoucnu umístěna na vlaku pro zvýšení jeho nezávislosti při adaptivitě. Naše brány ale počítají s jednotným serverem pro monitoring všech aktivních MCG. V souvislosti s informacemi, které se dostanou do monitorovacího serveru, je potřeba nastavit správně limity pro sledované veličiny.

Monitorovací čidla či detektory jen zřídka rozpoznají problém jako takový, pouze nastavení limitů pro definování zelených, oranžových a rudých oblastí pro sledované veličiny vede k spuštění poplachu, či jiným postupům. Špatné nastavení limitů může vést k necitlivosti monitoringu, nebo naopak k falešným poplachům. Rozsáhlosti proměnlivost železniční

infrastruktury pak může vést ke kolísavosti provozních parametrů.

Pro jednoduchost, sdílejí všechny tři monitorovací systémy komunikační protokoly a server pro vyhodnocení monitoringu. Liší se pak v použitých čidlech detektorech jednotlivých monitorovacích systémů. Jednotlivé systémy monitoringu můžeme označit jako:

1. Fyzikální monitoring MCG.
2. Komunikační tok do MCG.
3. Narušitel na MCG.

5.1. Fyzikální monitoring MCG

Hlavním monitorovacím systémem naší MCG je monitoring fyzikálních parametrů brány. V rámci CPS, jsou kybernetické procesy podporovány technologiemi zastoupenými ve fyzickém prostoru. Při změnách v kybernetických procesech tak může dojít ke změně stavů v rámci fyzické části systému. Fyzikální monitoring může ale zachytit i selhání fyzické části CPS.

Fyzikální monitoring se bude skládat z několika čidel. V současné době jsou implementována čidla na měření teploty na CPU a na zdroji energie [12]. Teplotní čidlo bude sledovat i stav jednotlivých periférií, které budou do brány připojeny. Poslední teplotní čidlo pak bude sledovat referenční teplotu prostředí. Dalším sledovaným parametrem je vlhkost vnitřního prostředí. Připravuje se i umístění čidel na měření elektrického napětí v systému.

Hlavním cílem fyzikálního monitoringu je sledování intenzity aktivit klíčových součástí hardwaru. Intenzita výkonu jednotlivých součástí hardwaru má standardní provozní pásmo hodnot. Výrazný odklon od těchto hodnot pak může odhalit mimoprovozní aktivity na MCG dříve, než dojde ke kritickému přetížení systému například vlivem DDoS útoku, či jiným nežádoucím změnám.

Fyzikální monitoring byl vyvinut s partnery v rámci projektu ADMORPH [2].

5.2. Komunikační tok do MCG

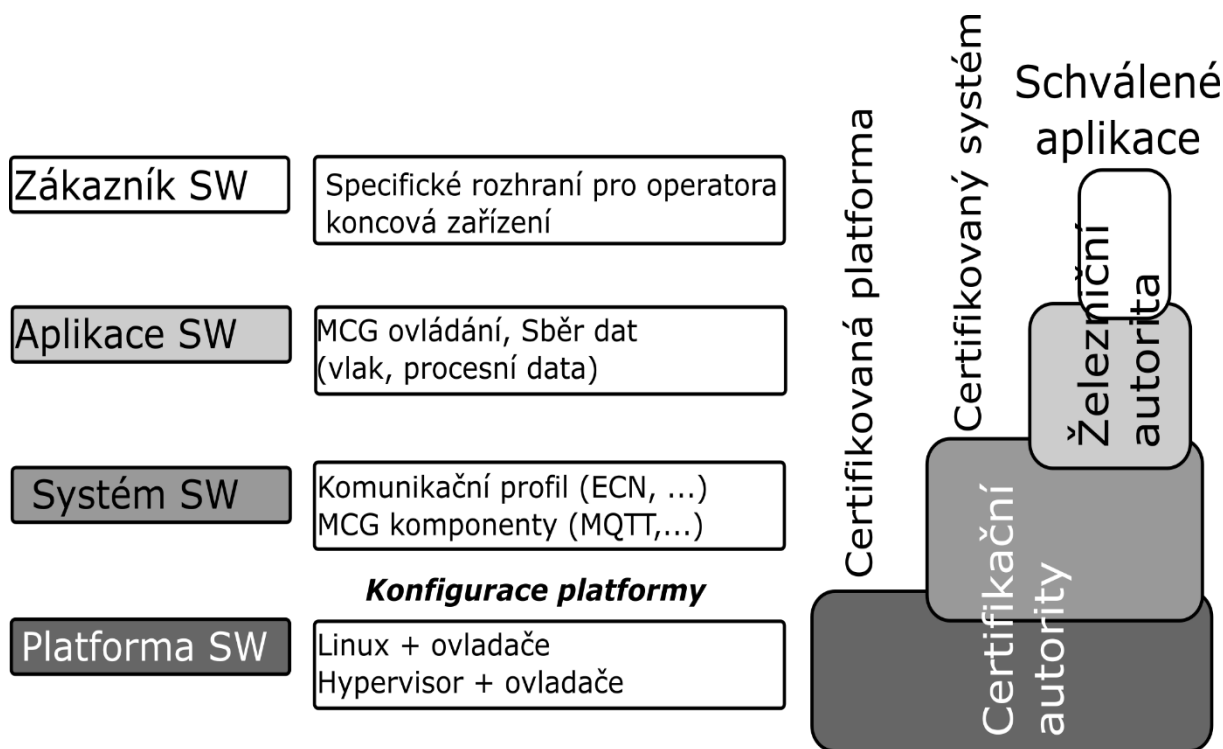
Komunikační tok do MCG je monitorován čistě na základě statistiky odeslaných a příchozích paketů. Informace o intenzitě paketů, přijaté pakety a chybové pakety, se ukládají. Případný odklon od běžných provozních intenzit, či zvýšení zamítnutých paketů je pak posouzen.

Monitoring komunikačního toku na MCG je implementován v rámci projektu ADMORPH jako referenční k fyzikálnímu monitoringu.

5.3. Narušitel na MCG

Aktivity narušitele lze detekovat i přes fyzikální změny na MCG. Pokud se ale bude narušitel chovat dostatečně nenápadně, může jeho aktivita zůstat skryta v rámci tolerance odchylek. Proto je potřeba připravit další monitorovací systém pro aktivity uvnitř MCG.

V rámci projektu COSMOS [3] počítáme s vývojem systému pro sledování softwarových procesů. Softwarová reprezentace MCG předpokládá 4 rozdílné úrovně struktury, obrázek 3. Každá s těchto úrovní je pak spojena s určitými procesy pro ni povolenými. Zatím co procesy na úrovni operátorem specifikovaného softwaru mohou mít jistou míru fluktuační. Odhalení provozních odchylek v nižších vrstvách může být citlivější.



Obr. 3. Struktura softwaru MCG.

6. ODEZVA MCG

Odezva je podmíněna zaznamenáním nežádoucí situace monitoringem. Monitorovací systémy odesílají informace o MCG do serveru pro posouzení sledovaných veličin. Odezva pak začíná na tomto serveru. Monitorované veličiny jsou posuzovány na základě definovaného algoritmu a pokud dojde k vyhodnocení situace jako nouzová či kritická, je spuštěn příslušný poplach a s ním i odezva.

6.1. Nastavení alarmu

Rozvoj IT systémů je v dnešní době spojován s vývojem kognitivních funkcí umělé inteligence a její schopnosti reagovat na předložené problémy. Takovýto přístup je v oblasti kritické infrastruktury zatím velmi nebezpečný, protože kognitivní IT systémy potřebují čas na učení, nebo kladou velké nároky na počáteční naprogramování. Naše MCG proto počítá s konzervativním přístupem, řízení na základě pravidel. MCG řízená na základě pravidel má přesně dané chování, jak se má chovat za jaké situace, chová se zcela deterministicky.

Pro sledované veličiny, jako je teplota na jednotlivých čidlech, napětí, intenzita informačního toku, nebo množství zamítnutých paketů, máme čtyři oblasti, ve kterých se hodnota může pohybovat, obrázek 4.



Obr. 4. Oblasti, možného detekování sledovaných hodnot. Zelená odpovídá běžným provozním hodnotám.

Zelená je oblast předpokládaných provozních hodnot. Šedá oblast odpovídá hodnotám menším signalizuje, že některý z vnitřních systému neběží či nefunguje. Oranžová oblast značí překročení limity pro provozní parametry, nic méně může jít o překročení způsobené nekritickými vlivy. Červená je pak oblast vyžadující rychlou odpověď systému na situaci.

Pokud jsou sledované hodnoty v šedé oblasti. Systém může používat alternativní komunikační kanál, obrázky 1 a 2. MCG nemá žádnou kontrolu nad interními vlaky nebo externími systémy provozovatele a může posílat varování pouze v příčině jejich poruchy. Zelená plocha nevyžaduje žádnou odpověď.

Oranžové a červené oblasti jsou spojeny se stejnou odpovědí. Rozdíl je v tom, že v případě oranžové oblasti je nejprve nutné porovnat tento výstup s výstupy z jiných monitorů. Odpověď se tedy nespouští bezprostředně, ale pouze po porovnání více dat. Pokud je podezření potvrzeno jinými sledovanými parametry nebo pokud je sledované množství v oranžové oblasti delší, spustí se stejný alarm jako v červené oblasti. Alarm se okamžitě spustí v červené oblasti.

Šedá oblast odpovídá nereálným datům a značí problém monitorovacího systému. V šedé oblasti se mohou nacházet i parametry v daný moment neaktivních částí MCG. V prvním případě je opět nutná odezva.

6.2. Nastavení odezvy

Nástroje pro řízení odezvy musí být zavedeny v MCG proaktivně, obrázek 2, aby je MCG mohla použít v případě procesu adaptace. MCG z obrázku 2 má 2 komunikační kanály a další zdroje, které podporují tyto komunikační kanály. Musí být zajištěna nezávislost jednotlivých zón MCG, aby reakce na selhání kanálu nebo útok na kanál fungovaly.

MCG z obrázku 2 používá PikeOS [9] k naznačování přístupu MILS. Pokud je kanál A nebo jeden z jeho zdrojů ohrožen, systém se přepne na kanál B. kanál B má své vlastní prostředky a je nezávislý na kanálu A. Kanál B nebude ovlivněn selháním kanálu A útočník bude muset zahájit útok na kanál B od začátku. Kanál A se mezitím může restartovat ve snaze vyřešit technický problém. Nevyužívaný kanál je neaktivní, takže na něj není možné zaútočit.

Pro základní bezpečnost MCG je důležitá ochrana obrazu nastavení systému. Obraz MCG, ověřený výrobcem, digitálně podepsaný a šifrovaný je uzavřen v samostatné zóně. V případě jakéhokoliv problému tak mohou jednotlivé části, nebo celý systém být automaticky restartovány a načteny podle uloženého obrazu.

7. ZÁVĚR

V komunikačním věku jednadvacátého století vyžaduje bezpečnost kybernetické sítě vlaku rostoucí pozornost. Vlak jakožto CPS je ovlivňován z obou podsystémů. Chování vlaku ve fyzickém prostoru je spojeno s pohybem po rozsáhlé infrastruktuře, který ztěžuje dohled nad vlakem. Komunikace s operačním centrem v kybernetickém prostoru je pak vedena skrze otevřený komunikační prostor.

MCG musí být připravena reagovat na rostoucí hrozby. To znamená nejenom lepší pasivní bezpečnost podle aktuálních technických standardů, ale i vývoj aktivní bezpečnosti. Aktivní bezpečnost MCG nemůže spoléhat na včasný zásah lidského operátora, potřebuje vlastní schopnost adaptivity na vzniklé situace.

V souvislosti s tím jsme vyvinuli MCG, která je inherentně vybavena monitorovacími systémy pro odhalení nežádoucích jevů. V současné době testujeme MCG s monitoringem několika parametrů v provozních podmínkách. Množství a kvalita monitorovaných parametrů se může do budoucna zvětšit.

Schopnost adaptovat se na nové podmínky a odhalené hrozby musí být dána MCG už při vývoji. Naše MCG zatím využívá základní nástroje jako je redundance nebo obnovení částí systému. Zabýváme se i flexibilitou v přidělování zdrojů jednotlivým procesům. Tato flexibilita ale nesmí narušit výhody v otázkách bezpečnosti přístupu MILS.

LITERATURA

- [1] IEC 61375-2-6. *Electronic Railway Equipment-Train Communication Network: On-board to Ground Communication*. International Electrotechnical Commission 2018.
- [2] ADMORPH. *Towards Adaptively Morphing Embedded Systems*. EU, Horizon 2020, no 871259. Brussels: EU 2020.
- [3] COSMOS. *DevOps for Complex Cyber-Physical Systems*. EU, Horizon 2020, no 957254. Brussels: EU 2021.
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D. *Principles of Management of Risks of Complex Technological Facilities*. ISBN 978-80-01-06180-0, Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [5] PROCHAZKA J., NOVOBILSKY P., PROCHAZKOVA D. Certification Cycles of Train Cyber Gateway. In: *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (ESREL2020 PSAM15)*. No. 3728. ISBN 978-981-14-8593-0. Singapore: ESRA 2020, Research Publishing Singapore 2020. e:enquiries@rpsonline.com.sg
- [6] TS 50701. *Railway Applications – Cybersecurity*, draft version D8E5, CENELEC 2020.
- [7] HARRISON W. S. The MILS Architecture for a Secure Global Information Grid. *The CrossTalk Journal of Defense Software Engineering* 10 (2005).
- [8] PROCHAZKA J., NOVOBILSKY P., PROCHAZKOVA D. Cyber Security of Urban Guided Transport Management according MILS Principles. In: *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL)*; eds: M. Beer, E. Zio. ISBN: 978-981-11-2724-3. Singapore: ESRA 2019, Research Publishing 2019, pp. 4107 - 4413, doi:10.3850/978-981-11-2724-3_0220-cd, e:enquiries@rpsonline.com.sg,
- [9] PikeOS. *PikeOS® 4.2 Certified Hypervisor*, SYSGO 2019, <https://www.sysgo.com/products/pikeos-hypervisor>
- [10] IEC 62443. *Security for Industrial Automation and Control Systems*. International Electrotechnical Commission / International Society of Automation. IEC and ISA 2019.
- [11] MQTT. *The Standard for IoT Messaging*. 2020. Online on <https://mqtt.org>.
- [12] CORBETTA S., ZONI D., FORNACIARI W. A Temperature and Reliability Oriented Simulation Framework for Multi-Core Architectures. In: 2012 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI, 51 p. IEEE.

Poděkování: Autoři děkují podpoře z projektů EU: ADMORPH - No. 871259 a COSMOS - No. 957254; a projektu TAČR - PRKODI CK01000095.

OPTIMÁLNÍ NÁSTROJ PRO ŘÍZENÍ RIZIK SYSTÉMŮ ZÁVISÍ NA JEJICH SLOŽITOSTI

OPTIMUM TOOL FOR SYSTEMS' RISK MANAGEMENT DEPENDS ON THEIR COMPLEXITY

Dana Procházková, Jan Procházka

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 16607, Praha 6, Česká republika; danuse.prochazkova@fs.cvut.cz

Abstrakt: Studie havárií a selhání složitých systémů ukázala, že v mnoha případech se předmětné jevy vyskytují, když integrální riziko systému překročí jistou míru kritičnosti, tj. tehdy, když v systému dojde v krátkém období k realizaci většího počtu zdrojů malých rizik a jejich dopady jsou vzájemně propojeny. Současné nástroje inženýrských disciplín pracujících s riziky jsou rozmanité a mají různé požadavky na data, znalosti, dobu zpracování, tj. také na finance. Praxe se samozřejmě zajímá o nejméně náročné nástroje. Článek stanovuje optimální nástroje inženýrských disciplín pracujících s riziky zacílené na dosažení tří cílů systémů (spolehlivost, zabezpečení, bezpečnost), určené podle míry složitosti systémů.

Klíčová slova: Systém; složitost; riziko; nástroje inženýrských disciplín pracujících s riziky; řízení rizik.

Abstract: A study of accidents and failures of complex systems has shown that in many cases the phenomena in question occur when the integral risk of the system exceeds a certain degree of criticality, i.e. when a greater number of sources of small risks are realised in the system in a short period of time and their impacts are interconnected. The current tools of engineering disciplines working with risks are diverse and have different requirements for data, knowledge, processing time, i.e. also finance. The practice is of course interested in the least demanding tools. The article specifies optimal tools of engineering disciplines working with risks aimed to achieve the three objectives of systems (reliability, security, safety), determined according to the degree of complexity of the systems.

Key words: System; complexity; risk; tools of engineering disciplines working with risks; risk management.

1. ÚVOD

Každý technický produkt nebo každé technické dílo (dále budeme používat jen technické dílo) je výsledkem lidské činnosti s cílem zajistit produkty a služby podporující lidské životy a vývoj lidstva. Pro zajištění bezpečnosti technického díla je nutné pracovat s riziky všeho druhu [1]. Koexistence technického díla s okolím (tj. s veřejnými aktivy, které zahrnují lidské životy, zdraví a bezpečí, majetek, veřejné blaho, životní prostředí, další technická díla), je zajištěna, pokud je úspěšně zvládnuta integrální (tj. celková) bezpečnost technického díla [2,3]. Úroveň integrální bezpečnosti závisí na kvalitě práce s integrálním rizikem [2,4]. Pro úspěšnou práci s riziky všech typů jsou nezbytné jak správné, efektivní nástroje, tak odpovědnost za jejich správné použití. Článek pojednává o první položce; druhá byla řešena v pracích [2,5].

Byla vyvinuta řada specifických nástrojů pro řízení rizik v oblasti inženýrských disciplín pracujících s riziky [6-8]. Protože v praxi jde o odlišné cíle inženýrských disciplín pracujících

s riziky (bezpečnost stroje, bezpečnost procesu, bezpečnost celého díla atd. [3,7]) a používané nástroje mají v praxi odlišné požadavky na znalosti, data, čas a finance, je nutné ve skutečnosti použít takový nástroj, který splňuje daný cíl a je proveditelný. Praxe pochopitelně používá nástroje, které mají nejnižší nároky na znalosti, čas a peníze [9]. Dále jsou sledovány nástroje pro časté úkoly, které jsou v praxi řešeny.

Koexistence technického díla s okolím během celého životního cyklu technického díla je zajištěna, pokud je integrální bezpečnost technického díla udržována na určité úrovni kvalifikovaným řízením rizik [1]. Integrální bezpečností se rozumí vlastnost na úrovni celého technického díla a je určována kvalitou souboru antropogenních opatření a činností zaměřených na bezpečné technické dílo, a to i při jeho kritických podmínkách [4].

Hlavním současným cílem je rozpoznat, pochopit a řídit rizika, a tím zajistit bezpečné technické dílo a jeho bezpečný provoz po celou dobu jeho životnosti. Protože technická díla jsou charakterizována otevřenými systémy systémů (SoS), jde o výběr nástrojů, v nichž jsou výsledky analytických a expertních metod specificky propojeny [4,6].

Architektura technického díla je objektová nebo síťová [1,4]. Každý typ technického díla má svá specifika; např. proto existuje významný rozdíl mezi řízením stabilních a mobilních technických děl. V současné době v praxi nejsou jednoduché technické systémy, ale soubory systémů. Podle typu organizace souborů systémů se rozlišují:

- jednoduše uspořádané celky (např. stroje),
- složené systémy, které jsou chápány jako soubor elementů, které jsou uspořádány a spojeny určitým způsobem a vzhledem ke své náležité struktuře plní určité funkce, jsou charakterizovány vyšší úrovní uspořádání (např. složený soubor strojů – výrobní linka, která provádí v daném pořadí úkony tak, aby vytvořila určitý výrobek),
- komplexní systémy charakterizované organizovanou složitostí a složením, které jsou uspořádané tak, aby vykonávaly určité funkce (propojené výrobní linky s různými technologiemi, např. automatické systémy pro výrobu – např. tzv. digitální továrny, kategorizace a distribuce určitých komodit),
- vysoce komplexní systémy reprezentující vzájemně propojené komplexní systémy v horizontální i vertikální struktuře vyznačující se velkou proměnností, která připomíná neorganizovanou složitost, tj. systémy systémů (SoS). Jednotlivé komplexní systémy mohou pracovat jak samostatně, tak společně. Při společné práci pak vykonávají zcela unikátní úkol, který je vzdálený od úkolů jednotlivých komplexních systémů (systémy pro výrobu, distribuci a spotřebu elektřiny, plynu atd.).

Na základě znalostí a zkušeností [1,2] pro charakteristiku a řízení:

- jednoduše organizovaných celků, jsou použity výsledky analytických řešení,
- složených systémů, se využívají výsledky statistických řešení, které jsou založeny na analytických funkcích, jejichž parametry jsou v určitých intervalech variabilní, což odráží náhodnost podmínek (náhodné chování systémů),
- složitých systémů, je třeba použít výsledky simulací, protože náhodné nejistoty jsou velké a způsobují, že chování scénářů je v širším rozsahu, než který zahrnuje náhodnost, tj. používají se metody operačního výzkumu [6].
- velmi složitých systémů, je třeba použít se multikriteriální metody, protože dané agregáty mají mnoho systémů, které jsou uspořádány do několika úrovní. Systémy spolu vzájemně interagují v závislosti na vnitřních a vnějších podmínkách, což způsobuje, že pozorujeme:
 - náhlé změny chování, které nelze získat z vědomostí o chování komponent, jde o náhlý vznik jevů, které nebyly očekávány,
 - různé hierarchie,
 - samo-organizovanost,

- rozmanité struktury řízení, které se společně jeví jako chaos. Předmětné systémy mají náhodné i znalostní nejistoty, a proto je třeba pro jejich charakteristiku používat expertní a heuristické metody [6]; někdy je nutné zvážit mnoho kritérií, z nichž některá jsou i protichůdná (konfliktní) [4].

Pro popis typu organizace technického díla zavádíme veličinu nazývanou „složitost“. Podle [4], složitost je vlastnost systému, která označuje, že systém má mnoho částí nebo prvků, které mají vzájemné vztahy odlišné od vztahů s jinými prvky venku a jejich chování závisí na mnoha vnitřních a vnějších parametrech. Charakterizuje chování systému, jehož části interagují různě v závislosti na momentálních podmínkách v daném místě a v daném čase. Pro popis systému je nutné použít přístup založený na mnoha oborovém a mezioborovém přístupu a pro jeho řízení je tedy nutné použít přístupy založené na více kritériích, které umožňují zohlednit průřezová rizika [4]. Byla vyvinuta řada konkrétních nástrojů pro řízení rizik v oblasti inženýrských disciplín pracujících s riziky, a proto vzniká problém, který z přístupů je ten správný v daných podmínkách.

Podle současných znalostí se v praxi používají tři různé cíle řízení technických děl, konkrétně: spolehlivost; zabezpečení; a bezpečnost. Protože předmětné cíle vycházejí z různých konceptů, hodnoty rizik technických děl získané pro jednotlivé cíle nejsou stejné; jsou silně závislé na konceptu [2,4]. S ohledem na výše uvedené znalosti, míra integrálního rizika závisí na obou, na cíli řízení rizik a na míře složitosti technického díla.

Nástroje inženýrských disciplín pracujících s riziky jsou rozmanité a mají různé požadavky na data, znalosti, dobu zpracování, tj. i na finance, a praxe se samozřejmě zajímá o nejméně náročné nástroje [9]. Podle výsledků shrnutých v [3,8] jsou užitečnými metodami v praxi:

1. Benchmarking, což je metoda systematického porovnávání procesů, organizační struktury, produktů a výkonu dané části technického díla s jinými celosvětově úspěšnými technickými díly za účelem dosažení excelence. Obvykle se používá při řízení rizik v případech, kdy je cíl ideální, a podle zásad správné praxe je dobré řídit rizika způsobem, jakým to dělají nejlepší průmysloví provozovatelé.
2. Modelování, což je technika, pomocí které vytváříme zjednodušený obrázek skutečného procesu, systému nebo objektu a poté sledujeme navázaná spojení. Jeho cílem je určit scénář procesu v čase a prostoru (např. průběh havárie, průběh řízení procesu, průběh reakce na havárii atd.), abychom mohli stanovit vhodná opatření a činnosti, která zajistí bezpečná technická díla (např. při prevenci, zmírnění a zvládnutí nehod, havárií a selhání) s dostupnými schopnostmi a možnostmi, což provádíme pomocí CBA (analýza nákladů a přínosů). Na základě zásady, že „vše souvisí se vším“ (regresus ad infinitum), je nutné ověřit výsledky získané podle modelu, protože vyhodnocení nehod a selhání technických děl často ukazuje, že klíčové příčiny havárií byly při modelování havárií nedostatečně zváženy [1,2]. Ve vážných případech je třeba věnovat pozornost softwarovým aplikacím, zejména pokud nebyly ověřeny podmínky přenosu technologií [10].
3. Scénář, což je systémový model, který popisuje vývoj procesu v jeho různých podobách (varianty, alternativy) v závislosti na podmínkách nebo rozhodnutích. Obsahuje sled událostí, které se v něm odehrávají v čase, území, či jiné entitě (včetně potenciálních variant), a popisuje interakce mezi sledovanými aktivy systému a procesem [6]. Scénáře pohrom jsou pro řízení bezpečnosti nejdůležitější, protože se používají k navrhování opatření prevence, zmírňování, reakce a obnovy.
4. Multikriteriální hodnocení, což je hodnocení založené na uplatňování více kritérií, a to i nesouměřitelných nebo konfliktních, na celek [6]. Pro výsledné řešení musí být stanoveny restriktivní podmínky, které definují objektivitu (např. z hlediska vyčerpatelnosti systému,

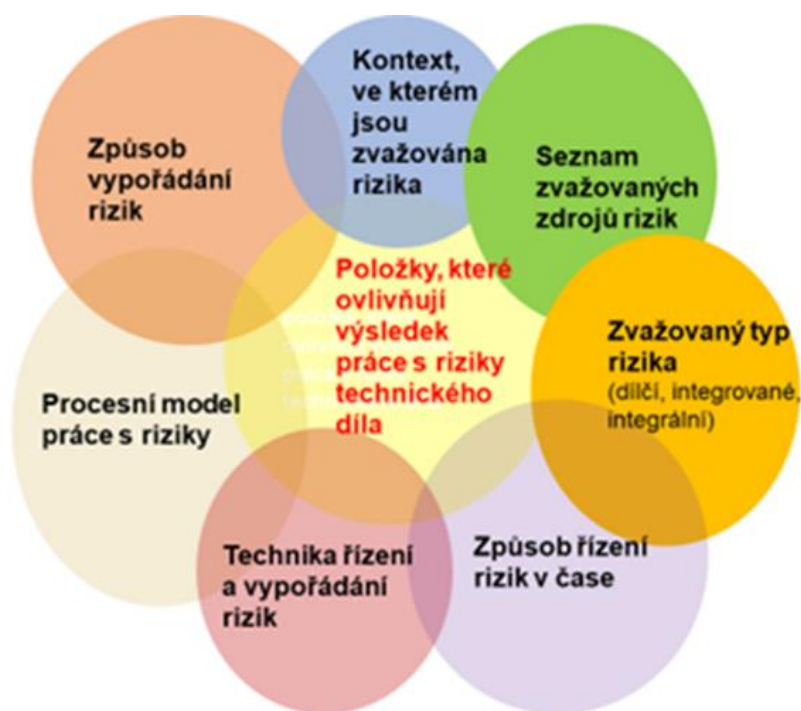
lidských zdrojů nebo hodnoty výhod). Vyčerpatelnost systému znamená maximální možnou úroveň užitečnosti (užitku, užitné hodnoty), kterou lze dosáhnout na dané úrovni vědeckotechnického rozvoje. Omezující podmínky vždy posuzujeme individuálně, a to na základě jejich dílčích hodnocení. Pro použití maximálního užitku ve spojení s riziky složitých systémů se osvědčilo použití: metody What, If ve formě tabulky 1 [4]; a DSS (Decision Support System) s příslušnými hodnotovými stupnicemi zpracovanými podle teorie maximálního užitku [11].

Tabulka 1. Standardní model pro použití metody What, If.

Aktivum		Potenciální dopad na aktivum
Životy a zdraví lidí		
Bezpečí lidí		
Majetek		
Veřejné blaho		
Veřejné blaho		
Infrastruktury a technologie	Energetika	
	Dodávky vody	
	Kanalizace	
	Doprava	
	Komunikace a informace	
	Bankovní a finanční sektor	
	Nouzové služby	
	Základní územní služby (průmysl, zemědělství, dodavatelské služby, zdravotní služby, nakládání s odpady, sociální služby, pohřební služby)	
	Veřejná správa	
Technické dílo	Kritická zařízení	
	Kritické komponenty	
	Kritické linky (provozy)	
	Kritické vnitřní infrastruktury	
	Kritické toky	
	Kritické zásoby	
	Kritický personál	
	Nakládání s odpady	
	Položky řízení kritických procesů	
	Položky řízení kritických projektů	
	Kritické položky řízení technického díla	
.....		

Analýzy nástrojů řízení rizik uvedené v [4,12] a nashromážděné zkušenosti [9] ukazují, že nástroje řízení rizik závisí na mnoha faktorech; schematicky je záležitost znázorněna na obrázku 1. Je zřejmé, že strategické řízení technického díla, pokud jde o bezpečnost a dlouhodobou funkčnost, musí vzít v úvahu dva faktory:

- technická díla jsou složité víceúrovňové systémy,
- specifické zdroje rizika spojené s technickými díly nejsou na všech úrovních technického díla stejné.



Obr. 1. Faktory, které ovlivňují velikost rizika daného subjektu.

Vzhledem ke složitosti technického díla je v praxi nutné pracovat s riziky na nejnižší úrovni (jednoduchá technická zařízení - stroje), stejně jako s riziky na vyšších úrovních (komponenty - např. tlaková zařízení, výrobní linky, sady výrobních linek, celé technické dílo) a na nejvyšší úrovni (technické dílo a jeho okolí). Bezpečnost na nejvyšší úrovni zajišťuje koexistenci technického díla s okolím po celou dobu jeho životnosti.

S cílem zajistit bezpečnost a rozvoj lidí a dalších veřejných aktiv jsou cíle řešení rizik na všech úrovních technického díla stejné, spolehlivý nebo zabezpečený, anebo bezpečný subjekt. Vzhledem k současným cílům lidské společnosti, které byly již několikrát zdůrazněny, se především zaměřujeme na konečný cíl, kterým jsou bezpečné entity.

V praxi se používají tři typy rizik: dílní (vztahující se k jednomu aktivu); integrované (součet rizik souvisejících s několika aktivy); a integrální [4]. Integrální riziko je systémové riziko, které závisí na momentálních podmínkách v daném místě a daném čase. Proto je jeho stanovení velmi obtížné pro složitá technická díla, kde existuje velká variabilita vazeb a toků. V těchto případech je jeho analytické vyjádření obtížné z důvodu existence mnoha náhodných a epistemických nejistot [4]. Proto je třeba použít specifické technické nástroje jako specifickou metodu What, If (tabulka 1) pro každý možný scénář a systém pro podporu rozhodování [1,6], jejichž kombinace má schopnost identifikovat velikost integrálního rizika předem.

Při výběru nástrojů pro řízení rizik pro technické zařízení a celá technická díla zaměřená na bezpečnost jsou podle argumentů v [1,2,4] důležité dva faktory:

1. Prvním faktorem je poznání, že riziko je veličina místně a časově specifická, tj. závisí, jak na příčině škodlivého jevu (tj. povaze a velikosti škodlivého jevu), tak na charakteristikách subjektu (zranitelnost, houževnatost) v době vzniku jevu (např. neudržovaný pojistný ventil normálně nevykonává svou funkci při překročení limitu tlaku). Protože v průběhu času jsou proměnné, jak aktivum, nebo skupina aktiv, tak velikost škodlivých jevů nebo pohrom, existují tři kategorie situací, pokud jde o zvládání dopadů realizovaného rizika, a to: normální; nouzová; a kritická. S rostoucí kategorií rostou profesní, finanční, organizační a

personální požadavky na řízení a řešení rizik spojených s těmito situacemi. Proto zde hraje důležitou roli legislativa, která ukládá vlastníkům a provozovatelům technických děl požadavky na řízení rizik a požadavky veřejné správě na dohled nad bezpečností technických děl ve veřejném zájmu [1,2,4]. Na základě analýz právních předpisů [1,2,4,9] je současná legislativa příliš obecná; nezmiňuje požadavky na data a metody zpracování dat, které zásadně určují kvalitu výsledku.

2. Druhým faktorem je výběr typu rizika, který má být sledován v úkolu, který má být proveden, což závisí na stanovení:
 - počtu aktiv a jejich seznamu, tj. dále se zvažuje, která veřejná aktiva a která konkrétní aktiva technického díla v daném úkolu jsou důležitá; např. zda jde o výkon, konkurenceschopnost, zisk atd.,
 - zda vazby a toky mezi uvedenými aktivy hrají roli v úkolu, tj. mechanický koncept nestačí, ale je třeba zvážit systémový koncept.

Aby byla zajištěna bezpečnost entity v krátkodobém horizontu (např. bezpečný stav jednoduchého technického zařízení), stačí monitorovat stav aktiva, tj. dílčí riziko spojené s entitou. S ohledem na bezpečnost člověka vyžaduje legislativa ve vyspělých zemích také zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP), tj. sledování dvou aktiv (život a zdraví osob na pracovišti, kvalita pracovního prostředí); při použití integrovaného rizika je zanedbávána vazba stroj – člověk, která ovlivňuje stav stroje. Poněvadž technická zařízení, lidé na pracovišti a pracovní prostředí jsou vzájemně propojené, je třeba ve střednědobém a dlouhodobém horizontu monitorovat propojení a toky mezi těmito subsystemy, tj. sledovat integrální riziko, aby byla zajištěna bezpečnost celku.

Proto při výběru nástrojů řízení rizik (identifikace, analýza, hodnocení, posouzení, řízení a vyřadění) zaměřených na bezpečnost vybraného subjektu by měly být v technické oblasti pro technická díla rozlišeny následující úkoly:

- výběr nástrojů pro práci s rizikem spojeným se stavem technického zařízení (cíl - bezpečné technické zařízení),
- výběr nástrojů pro práci s rizikem spojeným se stavem technické komponenty (cíl - bezpečná technická komponenta),
- výběr nástrojů pro práci s rizikem spojeným s výrobní linkou / výrobním procesem (cíl - bezpečný výrobní proces),
- výběr nástrojů pro práci s rizikem spojeným se stavem sady výrobních procesů (cíl – bezpečná sada výrobních procesů),
- výběr nástrojů pro práci s rizikem spojeným s celým technickým dílem (cíl - bezpečné technické dílo),
- výběr nástrojů pro práci s rizikem spojeným s technickým dílem a jeho okolím (cíl - bezpečné technické dílo a bezpečné okolí technického díla).

Na základě prací [1,2,4,6,13] při zaměření na technická díla nestačí zajistit bezpečnost lidského systému ve spojení s technickými díly a technologiemi (tj. koexistence technického díla s okolím během provozu) jen orientací na bezpečnost technických děl, protože výběr nástrojů pro řízení rizik závisí na:

- povaze subjektu zájmu (tj. vybrané technické zařízení nebo vyšší systémy technického díla),
- povaze prostředí, ve kterém subjekt zájmu (tj. vybrané technické zařízení nebo vyšší systémy technického díla) pracuje,
- režimu, ve kterém subjekt zájmu (tj. vybrané technické zařízení nebo vyšší systém technického díla) pracuje,
- požadavcích na provoz subjektu zájmu (tj. vybrané technické zařízení nebo vyšší systémy technického díla),

- a zda je zapotřebí krátkodobé, střední nebo strategické, tj. dlouhodobé, řešení.

2. DATA A METODY

Pro řešení úkolu byla sestavena původní databáze havárií a selhání technických děl [9] ze světových dat a bylo podrobně analyzováno několik případových studií. Databáze obsahuje 7829 škodlivých jevů z celého světa, které byly pro autory přístupné za posledních 35 let; více než 90% škodlivých jevů vzniklo během provozu technických děl. Pro odhalení jejich příčin (realizovaných rizik) byla shromážděná data zpracována metodami inženýrských disciplín pracujících s riziky: What, If; Kontrolní seznam; Diagram rybí kosti; Případová studie; Strom událostí; FMECA; atd.; popsány např. v [6] v závislosti na kvalitě a množství dostupných dat.

3. POZNATKY ZÍSKANÉ ANALÝZOU DAT A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Byly také zváženy dostupné výsledky jiných autorů [14-18]. Předmětné výsledky a studie nehod a selhání složitých technických děl [9,13,19] ukázaly, že původci nehod a selhání technických děl s výjimkou velkých přírodních pohrom jsou:

- velké chyby v předcházení rizikům v technických dílech, pokud jde o zadávací podmínky, projektování a provoz,
- kumulace malých nepříznivých jevů, jejichž realizace v krátkém časovém intervalu je zničující.

Druhý případ je častější. Vyskytuje se, když integrální riziko překročí míru kritičnosti. V mnoha případech v technických dílech s velkou složitostí je překročení kritičnosti způsobeno kombinací většího počtu malých zdrojů rizika, které se vyskytnou v technickém díle v krátkém časovém období. Pro řízení chování technického díla v těchto případech je třeba používat integrální riziko [2,13].

Inženýrské disciplíny pracující s riziky z povahy věci používají nástroje, které jsou založené na čtyřech modelech [2,4,6] podle typu problémů, které sledují; jde o:

- problémy, které lze popsat lineárním modelem (jednoduše organizované struktury) - míra složitosti 1; např.: Kontrolní seznam; Bezpečnostní audit; Analýza lidské spolehlivosti - HRA; zde si je třeba uvědomit omezenou přesnost výsledků, protože se sleduje pouze jeden proces a zanedbávají se propojení s jinými procesy a životním prostředím,
- problémy, které lze popsat pomocí stromových modelů (složené systémy, které jsou chápány jako znázornění prvků, které jsou uspořádány a určitým způsobem spojeny) - míra složitosti 2; např.: Předběžná analýza rizik - PHA; Kvantitativní analýza rizik - QRA; Analýzy ohrožení a provozuschopnosti - HAZOP); Analýza stromu událostí - ETA; Analýza režimů selhání a dopadů - FMEA; Analýza režimů selhání, dopadů a kritičnosti - FMECA; Analýza stromu poruch - FTA; Pravděpodobnostní posouzení bezpečnosti - PSA; zde je třeba poznamenat, že vývoj nehod, havárií a selhání pochází z jednoho místa, tj. modely nepopisují případy, kdy k dopadům na technické dílo dochází z jedné příčiny na několika místech, tj. kombinace škodlivých jevů se nezohledňují,
- problémy, které lze popsat pomocí modelů operačního výzkumu (komplexní systémy, které jsou chápány jako reprezentace prvků, které jsou organizovány a spojeny určitým způsobem a jejich chování probíhá v jistém rozmezí a může být vyjádřeno variantami statistické funkce) - míra složitosti 3; např.: metoda kritické cesty; PERT; GERT; Petriho sítě; pro poslední tři jsou nyní vypracovány „barevné stochastické modely“, které simulují velký počet možných scénářů, které odborníci vytvářejí a hodnotí na základě svých zkušeností a údajů uvedených ve zkušenostních databázích zkušeností, které jsou sestavovány v posledních letech ve vyspělých zemích,

- nestrukturované problémy, které nelze jednoduše popsat kvůli velké variabilitě možných konfigurací, které působí těžko předvídatelné režimy chování - míra složitosti 4: specifická forma What, If; scénáře; případové studie; multikriteriální metody založené na systému pro podporu rozhodování (DSS). V těchto případech jsou zkušenosti základ; řada scénářů je vyvinuta ve spolupráci s odborníky a optimální řešení je hledáno pomocí teorie maximálního užítku [11].

Zkušenosti z celosvětové praxe [4,6,9,12,13,16,18] ukazují, že často používané stromové modely nejsou schopny posoudit velikost integrálního rizika technického díla, protože vycházejí z jednoho bodu technického díla. To znamená, že nevystihují dopady vnějších pohrom, vnějších teroristických útoků a lidského faktoru, které obvykle současně ovlivňují mnoho míst najednou, a nepočítají s propojeními s okolím.

Systém pro podporu rozhodování (DSS) [6] je specializovaná technika pro získávání dat pro rozhodování o složitých problémech. Pomáhá vyřešit problém podporou analytického stylu rozhodování proti heuristickému rozhodování. To znamená, že:

- organizuje informace pro rozhodovací situace,
- interaguje se subjektem rozhodování (rozhodující osobou) v různých fázích rozhodování,
- rozšiřuje informační horizont rozhodujícího orgánu,
- usnadňuje multikriteriální hodnocení, protože má vestavěné multikriteriální metody, aniž by uživatel věděl o jejich matematické struktuře.

Jeho cílem je zajistit, aby výsledek odpovídal optimálnímu řešení. Při jejich tvorbě a aplikaci se používají:

- znalosti a údaje od odborníků, kteří znají technické a další parametry, limity a podmínky technického díla a místní zranitelnosti,
- princip teorie maximálního užítku [11], tj. „čím větší, tím lepší“ nebo „čím větší, tím horší“.

Pro mnoho z výše uvedených metod je k dispozici software, která byla odvozena pro konkrétní technické dílo v konkrétním místě. Pro zajištění správných výsledků v tomto případě je nutné před použitím každého software ověřit, zda jsou splněny podmínky přenosu technologií, tj. zda jsou podmínky v místě řešení stejné jako byly pro technické dílo a místo, pro které byl software odvozen [6,10].

Vzhledem k tomu, že:

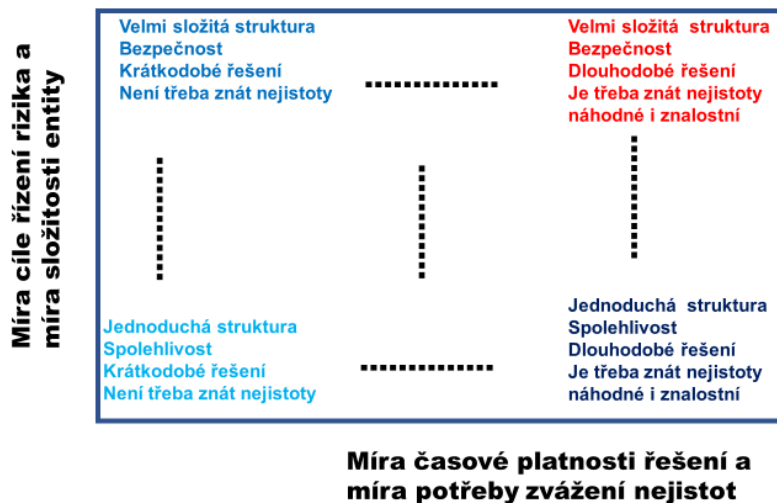
- jednotlivé nástroje inženýrských disciplín pracujících s riziky mají různé cíle a různé požadavky na znalosti, data, zkušenosti, čas, a tudíž i finance,
- v praxi jsou preferovány nástroje s nejmenšími nároky,
- stanovení integrálního (celkového) rizika technického díla je velmi závislé na jeho složitosti,

kritickým vyhodnocením schopnosti jednotlivých inženýrských nástrojů (uvedených výše) odhalit většinu závad, které vedly k nehodám a poruchám (111 případů z dat [9] mohlo být použito z důvodu nároků sledovaných metod na data), jsme určili nejméně náročné nástroje závislé na složitosti technického díla a na cíli řízení rizik technického díla.

Na základě dlouholeté zkušenosti z praxe jsme pro stanovení optimálních metod pro úlohy spojené s technickými díly, ve kterých je třeba zvažovat cíl řízení rizika, složitost technického díla, dobu platnosti řešení a existenci neurčitostí, použili u výše popsaných dat metodu skórování [6]. Její aplikaci jsme získali 4 základní kategorie podmínek pro ocenění účinnosti (schopnosti) metod dát přijatelné řešení za nejmenších nákladů (znalosti, čas, finance); obrázek 2:

- úloha je založená na jednoduché struktuře technického díla, je zaměřená na spolehlivost technického díla, vyžaduje krátkodobou platnost výsledku a nepotřebuje zvažovat ani náhodné, ani znalostní nejistoty,

- úloha je založená na velmi složité struktuře technického díla, je zaměřená na integrální bezpečnost technického díla, vyžaduje krátkodobou platnost výsledku a nepotřebuje zvažovat ani náhodné, ani znalostní nejistoty,
- úloha je založená na jednoduché struktuře technického díla, je zaměřená na spolehlivost technického díla, vyžaduje dlouhodobou platnost výsledku a potřebuje zvažovat náhodné i znalostní nejistoty,
- úloha je založená na složité struktuře technického díla, je zaměřená na integrální bezpečnost technického díla, vyžaduje dlouhodobou platnost výsledku a potřebuje zvažovat náhodné i znalostní nejistoty.



Obr. 2. Skórování důležitých aspektů pro práci s riziky technických děl.

Míra cíle řízení rizika a složitosti entity pro jednotlivé úlohy byla určena součtem následovně:

- cíl řízení rizika: spolehlivost – 1 bod; zabezpečení – 2 body; bezpečnost – 3 body,
- složitost struktury entity: bodová – 1 bod; lineární – 2 body, stromová – 3 body, plošná – 4 body, prostorová – 5 bodů.

Míra časové platnosti řešení a potřeby zvážení nejistot pro jednotlivé úlohy byla určena součtem následovně:

- potřeba zvážení nejistot: není třeba – 1 bod; jen náhodných – 2 body; náhodných i znalostních - 2 body
- platnost řešení: krátkodobá – 1 bod; střednědobá – 2 body; dlouhodobá – 3 body.

4. VÝSLEDKY

Na základě výsledků výše popsaného způsobu hodnocení metod pomocí údajů o haváriích a selháních technických děl [2,6,9] a zkušeností autorů z praxe je sestavena tabulka 2. Obsahuje optimální nástroje inženýrských disciplín pracujících s riziky vhodné pro různé cíle technického díla a jeho částí, závislé na dvou proměnných. Kromě složitosti entity jsou zvažovány tři cíle řízení rizik entity, a to uspořádané podle rostoucí náročnosti dosažení cíle:

- spolehlivost entity zajišťující provozní bezpečnost entity,
- zabezpečení entity zajišťující procesní bezpečnost entity (provoz komponenty, výrobní linky),
- bezpečnost entity, tj. integrální bezpečnost, zajišťující bezpečnost jak entity, tak jejího okolí.

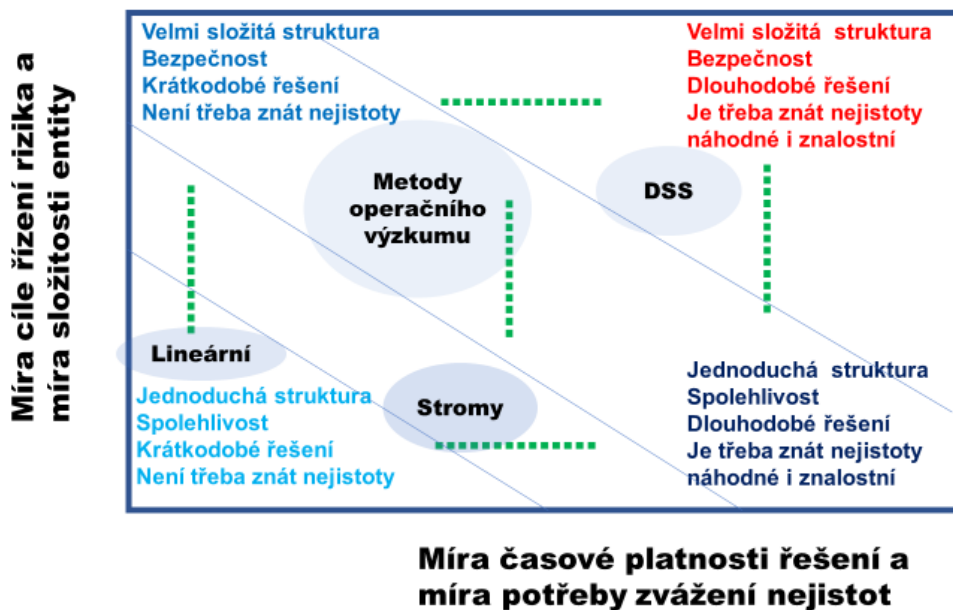
Protože čím vyšší je typ nástroje, tím vyšší jsou náklady (znalosti, finance, čas) na jeho použití, tabulka 2 ukazuje v každém případě pouze nástroje s nejnižšími náklady, které na základě současných znalostí a zkušeností mají schopnost vyřešit úkol, pokud jsou dodržována základní pravidla kultury bezpečnosti, provozní pravidla odpovídající provozním podmínkám; to znamená, že není uvažován žádný záměr poškodit entitu. Schéma rozřídění metod dle tabulky 2 je zobrazeno na obrázku 3.

Tabulka 2. Nástroje pro práci s riziky seřazené podle cíle sledovaného úkolu*).

Cíl práce s riziky	Míra složitosti	Nástroj	Předmět sledování
Spolehlivost jednotlivého technického zařízení (např. stroje)	1	Kontrolní seznam / bezpečnostní audit / What, If	Jedno aktivum
Zabezpečení jednotlivého technického zařízení (stroj je spolehlivý a je zajištěno jeho zabezpečení a bezpečí obsluhy)	2	Kontrolní seznam / bezpečnostní audit / What, If	Dvě aktiva. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci vyžadováno předem určené pravidlo.
Bezpečnost jednotlivého technického zařízení (stroj neohrožuje sebe ani v kritických podmínkách a nemá škodlivé dopady na okolí), tj. je zajištěna bezpečnost jeho obsluhy a výrobky jsou bezpečné	3	DSS	Několik vzájemně propojených aktiv. Protože mohou nastat konflikty, nejčastěji se používá teorie maximálního užítku [11].
Spolehlivost technické komponenty (několik vzájemně propojených technických zařízení)	2	Kontrolní seznam / bezpečnostní audit / What, If / stromové modely	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Zabezpečení technické komponenty (několik vzájemně propojených technických zařízení je spolehlivé a je zajištěno jejich zabezpečení a bezpečí obsluhy)	3	Kontrolní seznam / bezpečnostní audit / What, If / stromové modely / metody operačního výzkumu / DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Bezpečnost technické komponenty (několik vzájemně propojených technických zařízení se neohrožuje ani v kritických podmínkách a nemá škodlivé dopady na okolí), tj. je zajištěna bezpečnost obsluhy a výrobky jsou bezpečné	4	Kontrolní seznam / What, If / stromové modely / metody operačního výzkumu / DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv a okolí. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Spolehlivost výrobního procesu (výrobní linka)	2	Kontrolní seznam / bezpečnostní audit / What, If / stromové modely	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Zabezpečení výrobního procesu (výrobní linka je spolehlivá a je zajištěno její zabezpečení a bezpečí obsluhy)	3	What, If / stromové modely / metody operačního výzkumu / DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Bezpečnost výrobního procesu / výrobní linka se neohrožuje ani při kritických podmínkách a nemá škodlivé dopady na	4	What, If / metody operačního výzkumu / DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv a okolí. Protože může dojít ke konfliktům, je pro

okolí), tj. je zajištěna bezpečnost obsluhy a výrobky jsou bezpečné			agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Spolehlivost souboru procesů v technickém díle	3	What, If / stochastické metody operačního výzkumu / DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Zabezpečení sady procesů v technickém díle (sada procesů je spolehlivá a je zajištěno jejich zabezpečení a bezpečí obsluhy)	4	What, If // metody operačního výzkumu / DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv a okolí. Protože může dojít ke konfliktům, je pro agregaci nutné pravidlo, anebo použití teorie maximálního užítku [11].
Bezpečnost sady procesů v technickém díle (sada procesů ani při kritických neohrožuje sebe a své okolí); je bezpečná a její výrobky jsou bezpečné	4	DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv a okolí. Protože může dojít ke konfliktům, je třeba použití teorie maximálního užítku [11].
Spolehlivost technického díla	4	DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv a okolí. Protože může dojít ke konfliktům, je třeba použití teorie maximálního užítku [11].
Zabezpečení technického díla (technické dílo je zabezpečeno a bezpečí obsluhy je zajištěno)	4	DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv a okolí. Protože může dojít ke konfliktům, je třeba použití teorie maximálního užítku [11].
Bezpečnost technického díla (technické dílo ani při svých kritických podmínkách neohrožuje sebe a své okolí), tj. je bezpečné a jeho výrobky jsou bezpečné	4	DSS	Několik vzájemně propojených technických a dalších aktiv a okolí. Protože může dojít ke konfliktům, je třeba použití teorie maximálního užítku [11].

**) V daném kontextu si je třeba uvědomit, že spolehlivost znamená správné provádění úkolů entity s pravděpodobností rovné nebo vyšší než 0,95; zabezpečení znamená spolehlivost a zajištění ochrany entity; a bezpečnost znamená zabezpečení (zahrnující spolehlivost) zajištění ochrany entity a jejího okolí.*



Obr. 3. Roztřídění metod pro řízení rizik v závislosti na cíli řízení a složitosti systému.

5. ZÁVĚR

Kritická analýza závislosti nástrojů na datech ukazuje, že čím vyšší typ nástroje pro řízení rizik je použit, tím vyšší jsou náklady (znalosti, finance, čas) na jeho použití. Kritickým vyhodnocením údajů o konkrétních haváriích a selháních technických děl s různou složitostí byly identifikovány nejnižší nákladově efektivní nástroje, které na základě současných znalostí a zkušeností by měly mít schopnost vyřešit úkoly splněním základních pravidel kultury bezpečnosti, provozních předpisů odpovídajících provozním podmínkám; tj. nezvažoval se úmysl poškodit technické dílo.

Na základě zkušeností je v provozní praxi technických děl a jejich částí pouze široce použitelný nástroj, který je rychlý a nenáročný na znalosti a čas. Proto je posuzována věrohodnost nástrojů pro řízení rizik při provozu technických děl [4,12,13]. Výsledek tohoto výzkumu ukázal, že pro:

- nepřiliš složitou entitu, je osvědčeným nástrojem, kontrolní seznam specifický pro danou lokalitu se správně kalibrovanou stupnicí pro hodnocení rizik,
- nepřiliš vzájemně propojené entity, je osvědčeným nástrojem, soubor kontrolních seznamů, které jsou specifické pro danou lokalitu a mají správně kalibrované škály rizik, a výsledky těchto kontrolních seznamů jsou agregovány specifikovaným a specifickým způsobem pro konkrétní lokalitu,
- složité objekty, je osvědčeným nástrojem DSS, který zohledňuje jak konektivitu, tak změny v čase a externí zdroje rizik.

Tabulka 2 ukazuje rozdělení nástrojů inženýrských disciplín pracujících s riziky pro optimální řešení praktických úkolů v závislosti na složitosti technických děl a cíli řízení jejich rizik.

LITERATURA

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN: 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208 p.
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN 978-80-01-06180-0, e-ISBN:78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364 p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. Tools for Risk Management of Technical Facilities Operation. *European Journal of Engineering Research & Science (EJERS)*. ISSN 2506-8016. 5 (2020), 4, pp. 494-500. doi:10.24018/ejers.2020.5.4.1854
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222 p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. Complex Technical Facilities Risk Management Responsibilities. In: *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL)*. ISBN: 978-981-11-2724-3. Singapore: ESRA 2019, pp. 1735-1742, doi:10.3850/978-981-11-2724-3_0095-cd
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. ISBN 978-80-01-04842-9, Praha: ČVUT 2011, 369 p.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. Alternatives of Work with Risks Used at Technological Facilities Safety Management. *Universal Journal of Management*. ISSN 2331-950X, 6 (2018), 8, pp. 287-294. ISSN 2331-9577, <http://www.hrpub.org> DOI: 10.13189/ujm.2018.060804
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J. Risk Management Plan for Technical Facility Designing, Manufacturing and Commissioning. *International Journal of Economics and Management Systems*. ISSN: 2367-8925. (2020), 5, pp. 75-85. <https://www.ias.org/ias/home/caijems/risk-management-plan-for-technical-facility-designing-manufacturing-and-commissioning>
- [9] ČVUT. Databáze pohrom, havárií a selhání technických děl – příčiny, dopady a poučení. *Archiv*. Praha: ČVUT 2021.
- [10] OTA. *Public Law 92-484., 1972*. www.princeton.edu
- [11] KEENEY, R. L., RAIFA, H. *Decision with Multiple Objectives*. Cambridge: Cambridge University Press 1976, 569 p.
- [12] US EPA. PHA Techniques in Chemical Emergency Prevention & Planning. *Newsletter* (2008), No. 8, pp. 3-6.

- [13] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, LUKAVSKÝ, J., DOSTÁL, V., PROCHÁZKA, Z., OUHRABKA, L. *Řízení rizik procesů spojených s provozem technického díla během jeho životnosti*. ISBN 978-80-01-06675-1. Praha: ČVUT 2020, 465 p. doi:10.14311/BK.9788001066751.
- [14] BIRD, F. E., GERMAIN, G. L. *Damage Control*. New York: American Management Associations, Inc 1966.
- [15] BURGHER, P., HIRSCHBERG, S. A. A Comparative Analysis of Accident Risks in Fossil, Hydro, and Nuclear Energy Chains. *Human and Ecological Risk Assessment*. 14 (2008), 5, pp. 947-973.
- [16] BURGHER, P., ECKLE, P., HIRSCHBERG, S. Comparative Risk Assessment of Severe Accidents in the Energy Sector Based on the ENSAD database: 20 years of Experience. In: *Safety Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*. ISBN 978-1-138-00123-7. London: Taylor & Francis Group 2013.
- [17] HEINRICH, H. W. *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*. New York, NY, US: McGraw-Hill 1931.
- [18] PAUL SCHERRER INSTITUTE. *Database ENSAD*. Zurich: Paul Scherrer Institute 2019.
- [19] GEYSEN, W. The Acceptance of Systemic Thinking in Various Fields of Technology and Consequences on Respective Safety Philosophies. In: *Safety of Modern Systems. Congress Documentaion Saarbruecken 2001*. ISBN 3-8249-0659-7. Cologne: TÜV- Verlag GmbH, pp. 19-27.

Poděkování: Autoři děkují za podporu projektu RIRIZIBE (CZ.02.2.69/0.0/0.0/16 _018/000).

RIZIKA KOROZE A POVRCHOVÝCH ÚPRAV HLINÍKU V LETECKÉM PRŮMYSLU

THE RISKS OF CORROSION AND SURFACE TREATMENT OF ALUMINUM IN THE AVIATION INDUSTRY

Eva Michelle Sedláčková, Lucie Hudíková, Danis Bikmeev, Jiří Kuchař

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 16607, Praha 6, Česká republika; evamichelle.sedlackova@fs.cvut.cz

Abstrakt: Předmětný článek se zabývá problematikou koroze a technologie výroby anodické oxidace hliníku v leteckém průmyslu. Jsou zde zaznamenány chyby při výrobě anodické oxidace, příčiny a způsoby jejich odstranění. Experimentální část se zabývá zkouškami adheze a korozní odolností hliníkové slitiny AlMg₃.

Klíčová slova: Anodická oxidace; korozní ochrana; korozní odolnost; hliník; testování přilnavosti povrchu; letecký průmysl.

Abstract: This article deals with the issues of corrosion and production technology of anodic oxidation of aluminium in the aerospace industry. Errors in the production of anodic oxidation, causes and methods of their elimination are recorded here. The experimental part deals with tests of adhesion and corrosion resistance of aluminium alloy AlMg₃.

Key words: Anodic oxidation; corrosion protection; corrosion resistance; aluminium; surface adhesion testing; aerospace industry.

1. ÚVOD

V leteckém průmyslu se využívá velké množství konstrukčních materiálů. Jedním z často využívaných je hliník a jeho slitiny. Hliník má nižší hmotnost oproti oceli a vyšší korozní odolnost. Mezi nejčastěji využívané hliníkové slitiny v leteckém průmyslu patří EN AW 2xxx (pro konstrukce vystavené vyšším teplotám), 7xxx (pro konstrukce vystavené nízkým teplotám), 3xxx, 5xxx a 6xxx (pro méně zatěžované komponenty) [1].

Na letadla působí velké množství vnějších vlivů, které ovlivňují korozní podmínky, povrchové úpravy letadel a životnost celé konstrukce. Mezi hlavní faktory, které ovlivňují výběr a životnost materiálu a povrchové vrstvy patří výrazná změna tlaků, teplot a vlhkosti. Dále je pak nutné, aby povrchová úprava odolávala mechanickému poškození (kroupy, úder blesku), UV a IR záření či požáru (nutnost zpomalovat požár). Povrchové úpravy využívané v leteckém průmyslu jsou například anodická oxidace a nátěrové hmoty, popřípadě jejich kombinace.

Pro simulaci korozního prostředí a k zjištění chování materiálu a povrchových úprav v korozním prostředí se využívá umělých atmosfér. Konkrétně se jedná o kondenzační komory (ČSN EN ISO 6270-1), solné mlhy (ČSN EN ISO 9227) a QUV komory (ČSN EN ISO 16474-3). Dále je možné stanovit odolnost při cyklických korozních zkouškách (solná mlha, sucho, vlhkost, UV záření) dle normy ČSN EN ISO 11997-2. V kondenzační komoře je dle normy (38±2) °C a v solné mlze (35±2) °C, kde je dále rozprašován 5 % roztok chloridu sodného s demi vodou. Také je možnost sledovat puchýřkování vzorků v umělých atmosférách dle normy ČSN EN ISO 4628-2 nebo hodnocení degradace nátěru dle normy ČSN EN ISO 4628-8. Tato norma

hodnotí stupeň delaminace „d“ a stupeň koroze „c“, které se dají spočítat dle následujících rovnic (1,2):

$$d = \frac{d_1 - w}{2}$$

kdy d_1 je průměrná celková šířka plochy delaminace [mm], w je šířka původního řezu [mm], $w = 0,5$ [mm]

$$c = \frac{w_c - w}{2}$$

kdy w_c je průměrná celková šířka plochy koroze [mm], w je šířka původního řezu [mm], $w = 0,5$ [mm].

Dále je možné kontrolovat adhezi povrchu jednotlivých povrchových úprav. Přílnavost povrchové úpravy lze zjistit pomocí křížové zkoušky (ČSN EN ISO 16276-2), mřížkové zkoušky (ČSN EN ISO 2409), odtrhové zkoušky (ČSN EN ISO 4624) a zkoušky ohybem pomocí kónického trnu (ČSN EN ISO 6860).

Riziko výše zmíněných předúprav spočívá v jejich škodlivosti pro životní prostředí a obsluhu dané linky ve výrobě. Nejčastěji využívaná kyselina při anodické oxidaci je kyselina chromová. Při využití kyseliny chromové je vrstva velmi odolná koroznímu prostředí a má výbornou přílnavost povrchu pro nanášení nátěrových hmot. Hlavní nevýhodou zmíněné kyseliny je její nebezpečnost pro životní prostředí a její karcinogenita. Z tohoto důvodu je vývoj bez-chromových povrchových úprav aktuální zájmem v průmyslu. U nátěrových hmot je nutné zmínit VOC. Jedná se o termín pro těkavé organické sloučeniny. Organické sloučeniny jsou součástí chemických reakcí v atmosféře, kde způsobují řadu nepříznivých účinků (tvora fotochemických oxidantů a ozonu). Ozon může ve zvýšené koncentraci škodit také lidskému zdraví a životnímu prostředí. Z tohoto důvodu byl přijat protokol v rámci Úmluvy EHK OSN o snižování emisí VOC a vývoj zaměřen na vytvoření nátěrových hmot s nízkým obsahem VOC [1,2,3].

2. CHYBY, PŘÍČINY A ZPŮSOBY ODSTRANĚNÍ

V následující kapitole jsou probrány možné příčiny chyb při předúpravách povrchu a následné anodické oxidaci hliníkových slitin. Pro snazší přehlednost kapitoly, byly možné příčiny chyb a jejich zamezení sepsány do tabulky 1 [2]. V tabulce 1 nejsou zaznamenány mechanické vlivy způsobené výrobou dílu jako jsou škrábance, odřená místa nebo cizí příměsi. Tyto chyby nastávají špatnou manipulací s dílem. Je nutné kontrolovat tedy čistotu při zpracování, správné podmínky technologií, balení a transport [2]. Dále je nutné podotknout, že v tabulce 1 nejsou zaznamenány všechny možné chyby, které mohou nastat. Jedná se pouze o jejich menší přehled.

Tabulka 1. Chyby, jejich příčiny a odstranění [2].

Chyba	Možná příčina	Zamezení chyby
Skvrny po odmaštění a čištění	Neúplné odmaštění, nerovnoměrný účinek mořidla	Kontrola parametrů odmašťování a odmašťovacích lázní
Skvrny a šmouhy při moření	Nepřiměřený oplach (špatný poměr NaOH k obsahu hliníku) nebo ponoření dílů do usazenin mořidla	Úprava podmínek moření, prověřit technologii oplachu, zkontrolovat proces dezoxidace
Skvrny po kyselině	Únik kyseliny z dutin profilů, trhlin a štěrbin ve svařované konstrukci	Prověřit technologii oplachu a konstrukci.
Zrnité pruhy	Různé velikosti zrněk, uspořádání se odráží při moření a anodické oxidaci	Správný výběr slitiny a tepelné úpravy
Tenké čáry po oxidaci	Nekovové příměsi	

Koroze způsobená oplachovou vodou	Znečištění oplachové lázně, vysoký obsah chloridů v provozní lázni	Optimalizace oplachové technologie
-----------------------------------	--	------------------------------------

3. NÁVRH EXPERIMENTU

Cílem experimentální části bylo vytvořit sadu zkušebních vzorků s různými předúpravami povrchu pro ověření a srovnání adheze povrchu a korozní odolnosti pro letecký průmysl. Základní materiál vzorků byl EN AW-5754 (ČSN 42413, AlMg3) o velikosti 100x65x0,7 mm. Chemické složení materiálu je zapsáno v tabulce 2. Jedná se o materiál s výbornou korozní odolností (slitina obsahuje hořčík) a svařitelností, který lze eloxovat a obrábět. Materiál je dále odolný mořské vodě a má zhruba tvrdost 45 HBW [4].

Tabulka 2. Chemické složení slitiny EN AW-5754.

Obsah prvků	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Mn+Cr	Al
Min [%]					2,60				0,10	Zbytek
Max [%]	0,40	0,40	0,10	0,50	3,60	0,30	0,20	0,15	0,60	

Byly vybrány 3 předúpravy povrchu [5,6]:

1. Anodická oxidace černá.
2. Anodická oxidace stříbrná.
3. Prášková hmota zlatá.

Před nanášením povrchových úprav bylo nutné vzorky odmastit a zbavit tedy mastnoty a nečistot. Dále pak docházelo k moření, kde dochází k odstranění zbytků koroze a okují. Následně byly vzorky zesvětleny pro ucelení vzhledu povrchu a odstranění zbytků nečistot (po moření mohou na vzorcích zůstat nečistoty, které se nemusí rozpustit v mořící lázni, většinou na povrchu zůstává tmavá, stíratelná vrstva). Mezi jednotlivými procesy došlo vždy k opláchnutí vzorků vodou [5,6].

Vzorky byly označeny dle následujícího systému [5]: X-Y

X číslo sady vzorků (1 až 3)

Y číslo vzorku v sadě (1 až 6)

Dalším krokem po nanášení povrchových úprav bylo změření průměrné tloušťky jednotlivých vrstev. Bylo využito profiloměru Elcometer 224. Průměrné naměřené tloušťky vrstev jsou zapsány v tabulce 3 [5].

Tabulka 3. Průměrné naměřené tloušťky povrchové vrstvy [5].

Technologie	Tloušťky vrstvy [μm]	Směrodatná odchylka [μm]
Anodická oxidace černá	19,225	5,650
Anodická oxidace stříbrná	18,633	8,940
Prášková hmota zlatá	62,125	8,940

4. HODNOCENÍ ODRTRHOVÉ ZKOUŠKY

Hodnocení odtrhové zkoušky proběhlo dle normy ČSN EN ISO 4624 na automatickém odtrhoměru Elcometer 510 (model T). Panenky byly očištěny pomocí brusného kotouče a lihu. Poté byly přilepeny pomocí lepidla na zdrsňený povrch zkušební vzorku. Bylo využito dvou druhů lepidel, a to jednofázového lepidla Scotch-Weld™PR 100 (pro první vzorek z každé sady) a dvoufázového lepidla UHU Plus Endfest (pro zbylé vzorky). K výměně lepidel došlo z důvodu nevhodného výběru a špatné přilnavosti lepidla k povrchu (docházelo k odtrhu převážně mezi panenkou a lepidlem). Na každém vzorku byly provedeny dva odtrhy. Výsledné hodnoty odtrhů, jejich průměrné hodnoty a klasifikace typu lomu jsou zaznamenány v tabulce 4 [5].

Tabulka 4. Vyhodnocení odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 4624 [5].

Číslo vzorku	Číslo odtrhu	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu
1-1	1	0,840	99 % Y/Z, 1 % B
	2	0,760	100 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,800	
1-2	1	0,810	65 % B/Y, 5 % B, 30 % Y/Z
	2	1,180	20 % B/Y, 5 % B, 75 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,995	
1-3	1	1,000	70 % B/Y, 10 % B, 20 % Y/Z
	2	1,050	40 % B/Y, 10 % B, 50 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,800	
2-1	1	0,150	100 % Y/Z
	2	0,160	100 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,155	
2-2	1	0,890	35 % B/Y, 25 % B, 40 % Y/Z
	2	0,120	45 % B/Y, 20 % B, 35 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,505	
2-3	1	0,130	80 % B/Y, 20 % B,
	2	0,680	50 % B/Y, 35 % B, 15 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,405	
3-1	1	0,170	75 % A/B, 25 % Y/Z
	2	0,150	90 % A/B, 10 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,160	
3-2	1	0,150	60 % A/B, 40 % Y/Z
	2	-	-
Průměrná hodnota		0,150	
3-3	1	0,150	10 % A/B, 90 % Y/Z
	2	1,360	95 % A/B, 5 % Y/Z
Průměrná hodnota		0,930	

5. HODNOCENÍ KŘÍŽOVÉ A MŘÍŽKOVÉ ZKOUŠKY

Kapitola se zaměřuje na vyhodnocení křížové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-2 a mřížkové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 2409. Hodnoty výsledných klasifikací jsou zapsány v tabulce 5.

Při zkouškách adheze povrchu bylo využito šablon a odlamovacího (vysouvacího) nože pro vytvoření normalizovaného vrypu. Dále došlo k přilepení adhezivní pásky, k jejímu strhnutí a vyhodnocení zkoušek [5].

Tabulka 5. Vyhodnocení křížové (ČSN EN ISO 16276-2) a mřížkové zkoušky (ČSN EN ISO 2409) [5].

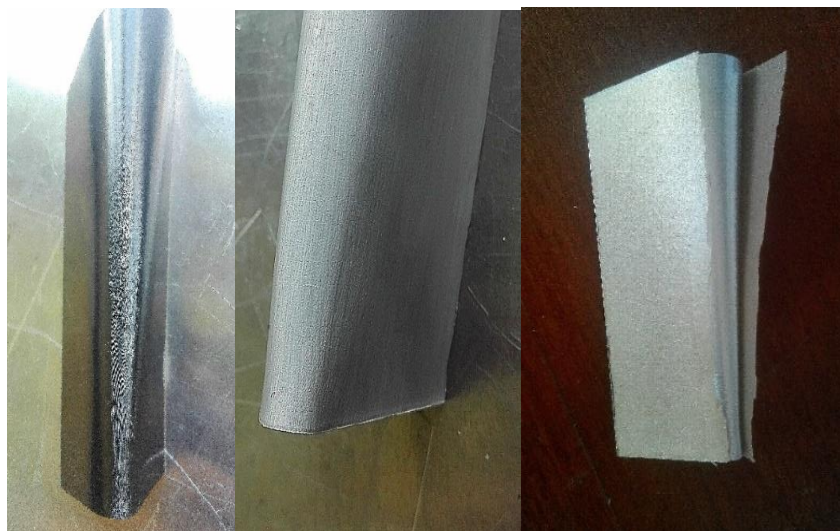
Číslo vzorku	Klasifikace křížové zkoušky	Klasifikace mřížkové zkoušky
1-1	0	0
1-2	0	0
1-3	0	0
2-1	0	0
2-2	1	0
2-3	0	0
3-1	1	5
3-2	1	5
3-3	1	5

6. HODNOCENÍ ZKOUŠKY OHYBEM NA KÓNICKÉM TRNU

Mezi poslední zkoušky přilnavosti povrchu patřila zkouška ohybem na kónickém trnu dle normy ČSN EN ISO 6860. Výsledky klasifikace byly zapsány do tabulky 6. Obrázek 1 ukazuje zvrásnění a rozlomení povrchových úprav po zkoušce ohybem [5].

Tabulka 6. Vyhodnocení zkoušky ohybem dle normy ČSN EN ISO 6860 [5].

Číslo vzorku	Klasifikace
1-5	Povrch výrazně zvrásněn v nejužším místě ohybu, zvrásnění se táhne v celé délce.
1-6	Povrch zvrásněn v celé délce, méně výrazně než na vzorku 1-5
2-5	Povrch popraskaný v místě ohybu i po stranách vzorku v celé délce
2-6	Povrch popraskaný více než u vzorku 2-5, v místě ohybu i po stranách vzorku v celé délce
3-5	Rozlomení v ohybu po celé délce
3-6	Rozlomení v ohybu po celé délce



Obr. 1 Výsledky zkoušky ohybem. Zleva vzorek anodická oxidace černá (1-5), anodická oxidace stříbrná (2-5) a prášková hmota (3-5) [5].

7. HODNOCENÍ KOROZNÍ ODOLNOSTI V KONDENZAČNÍ KOMOŘE A SOLNÉ

MLZE

Korozní odolnost byla hodnocena v tzv. umělých atmosférách. Konkrétně se jednalo o kondenzační komoru dle normy ČSN EN ISO 6270-1 a o solnou mlhu (většinou se postupuje dle normy ČSN EN ISO 9227). V případě uvedeného experimentu byla solná lázeň vytvořena a vzorky do ní byly ponořeny. Jednalo se o lázeň o objemu 1 litru vody s 5 % roztokem chloridu sodného. Kontrola vzorků pro kondenzační komoru proběhla v intervalu 240, 720 a 1000 hodin, pro solnou mlhu proběhla v intervalu 24, 48, 72, 168, 336, 504 a 672 hodin [6].

V případě solné mlhy docházelo také k měření pH. Na začátku experimentu bylo naměřené pH 6,9 zatímco na konci bylo pH 8,4 [6]. V průběhu celé zkoušky nedocházelo na zkušebních vzorcích k puchýřkování, nebo k jinému poškození povrchu. Vzorky prokazují výbornou korozní odolnost, jak ve vlhkém prostředí, tak v prostředí solném [6].

8. ZÁVĚR

Experimentální část článku hodnotí 3 druhy povrchových úprav, a to černou anodickou oxidaci, stříbrnou anodickou oxidaci a práškovou hmotu na původním materiálu EN AW-5754. Na vzorcích byly provedeny 5 druhů zkoušek rozdělené do dvou skupin. První skupina byly zkoušky korozní odolnosti, zde byla zařazena kondenzační komora a solná mlha. Druhá skupina byly zkoušky adheze povrchu, zde byla zařazena křížová zkouška, mřížková zkouška a zkouška ohybu. Výsledky všech zkoušek jsou zaznamenány v tabulkách výše.

Vzorky byly testovány v kondenzační komoře po dobu 1000 hodin a v solné mlze po dobu 672 hodin. V průběhu zkoušení v komorách nedošlo k žádnému viditelnému poškození povrchu ani k puchýřkování. Lze tedy říct, že využitě povrchové úpravy (PÚ) jsou odolné vůči koroznímu prostředí.

Dále byly vzorky testovány na přilnavost povrchu pomocí čtyř druhů zkoušek. První zkouškou je zkouška křížového řezu. Klasifikace pro všechny 3 technologie se pohybovala mezi 0 (žádný odlup) a 1 (nepatrný odlup podél řezů). Technologie stříbrné anodické oxidace se jevila jako průměr technologií. Černá anodická oxidace měla nepatrně lepší výsledky (lepší přilnavost) a prášková hmota horší. Druhou zkouškou je zkouška mřížkového řezu. Zde byly již větší rozdíly mezi technologií anodické oxidace a práškovou hmotou. Prášková hmota byla klasifikována stupněm 5 - tedy, že plocha mřížky byla poškozená z více jak 65 % zatímco černá a stříbrná anodická oxidace byla klasifikována stupněm 0 – tedy, že plocha mřížky nebyla poškozená. Čtvrtá zkouška byla zkouška ohybem pomocí kónického trnu. U práškové hmoty dochází k úplnému rozlomení po celé délce ohybu. U černé anodické oxidaci docházelo k viditelnému zvrásnění v místě ohybu v celé délce a u stříbrné anodické oxidaci k popraskání v místě ohybu. A jako poslední zkouškou byla odtrhová zkouška. Nejvyšší odtrhové napětí měly vzorky s PÚ černé anodické oxidace (průměrná hodnota 0,865 MPa), nejnižší hodnoty byly u vzorků stříbrné anodické oxidace, a to s průměrnou hodnotu 0,355 MPa.

Po srovnání všech zkoušek lze říct, že se jako nejlepší povrchovou úpravou jeví černá anodická oxidace, a to jak z pohledu korozní odolnosti, tak přilnavosti k povrchu. Povrchová úprava stříbrné anodické oxidace (AO) a prášková hmota vykazovali podobné hodnoty odtrhového napětí i klasifikaci křížové zkoušky. Prášková hmota má stejnou korozní odolnost jako stříbrná AO, ale nedosahovala dostatečné přilnavosti povrchu v určitých částech povlaku.

Jednotlivé zkoušky probíhali na různých částech povlaku a jak je viditelné v tabulkách, prášková hmota měla lepší klasifikaci u křížové zkoušky než u mřížkové. Je tedy možné, že mohlo dojít k nedostatečné předúpravě povrchu, či nebyla dostatečná drsnost povrchu pro správný

kotvící efekt v místech kde docházelo k provedení mřížkové zkoušky. Dále mohlo dojít k nekonzistentní tloušťce při nanášení práškové hmoty nebo při úpravách povrchu. Proto by bylo vhodné experiment několikrát opakovat pro snížení možnosti rizik chyb.

LITERATURA

- [1] STANDRIDGE, M.. Aerospace materials — past, present, and future. In: *Aerospace Manufacturing and Design*. Valley View (Ohio), 2012. <https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article /amd0814-materials-aerospace-manufacturing/>
- [2] MICHNA, Š. *Encyklopedie hliníku*. ISBN 80-890-4188-4. Prešov: Adin 2005, 700 p.
- [3] WERNICK, S., PINNER, R., SHEASBY, P.G. *The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys*. ISBN 0904477215. Ohio: ASM International 2001, 1387 p.
- [4] PROAL. *Hliníkové profily*. Ostrava: NPS PROAL S.R.O 2021. <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-5754/>
- [5] HUDÍKOVÁ, L. Moderní trendy a vývojové směry v oblasti anodické oxidace a jejich užití v leteckém průmyslu. *Bakalářská práce*. Praha: ČVUT 2021, 69 p.
- [6] BIKMEEV, D. Materiály a povrchové úpravy aplikované v leteckém průmyslu a jejich korozní odolnost. *Bakalářská práce*. Praha: ČVUT 2021, 63 p.

SPOLEHLIVOST A BEZPEČNOST UCELENÉ TECHNICKÉ OBSLUHY SÍDEL JE TŘEBA ŘEŠIT SYSTÉMOVĚ

RELIABILITY AND SAFETY OF COMPLETE TECHNICAL SERVICES OF SETTLEMENTS IS NECESSARY TO SOLVE SYSTEMATICALLY

Petr Šrytr, Lenka Střelbová

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 166 00 Praha 6, Česká republika; petr.srytr@fsv.cvut.cz

Abstrakt: Příspěvek je zaměřen na problematiku spolehlivosti a bezpečnosti ucelené technické obsluhy sídel při splnění podmínky garance *udržitelného stavu a rozvoje sídel* prostřednictvím veřejné infrastruktury, zejména pak na obnovu, kompletaci a modernizaci inženýrských sítí/IS v obtížných podmínkách a souvislostech, v jejich veřejných prostorách. Klíčovými jsou v tomto ohledu strategické dokumenty rozvoje sídel, především pak územně plánovací podklady a dokumentace, které dnes často negarantují splnění požadavku trvale udržitelného stavu a rozvoje. Zpřehlednění dané problematiky se opírá o nástroje systémového inženýrství, Risk Management, Critical Management, Asset Analysis apod., též o konkrétní poznatky z praxe, o vyhodnocení aktuálního stavu s cílem přispět k tvorbě systémové koncepce rozvoje ucelené technické obsluhy sídel při splnění *podmínky spolehlivosti* (minimalizace výskytu havárií a poruch), *podmínky bezpečnosti* a především též podmínky garance udržitelného stavu a rozvoje.

Klíčová slova: Řízení rizik; řízení kritických situací; technická infrastruktura; veřejný prostor sídel; inženýrské sítě/IS; bezvýkopové technologie obnovy, kompletace a modernizace IS; udržitelný stav a rozvoj.

Abstract: The article is oriented on the problems with guaranty of sustainable state and development the technical infrastructure in the public spaces of cities and villages, particularly on the reconstruction, completing and modernization of the technical utilities in complicated conditions. It is suggested system solution for general design of the technical utilities in cities and villages. Key factors in this regard are strategic documents of urban development, particularly documents of special planning which often fail to meet the requirement of sustainable state and development of the technical infrastructure.

Key words: Risk management; critical management; technical infrastructure; public space; technical utilities/TU, trenchless technologies/TT for reconstruction, completing and modernization TU; sustainable state and development.

1. ÚVOD

Období, kterým procházíme, není vůbec jednoduché. Zcela evidentně *zanechává destrukční stopy* ve všech sférách lidské činnosti. Má pak smysl si klást otázku, jak základním způsobem dostatečně ochránit nás všechny, uživatele sídel včetně zabezpečení efektivního fungování stavebního inženýrství, fungování všech dalších důležitých podpůrných oborů atd.? To by logicky mělo být a musí být ve veřejném zájmu předmětem pozornosti pracovníků státní správy na všech úrovních a dále těch, kteří se staví do pozice vůdčích nositelů příslušných aktivit, vůdčích nositelů zodpovědnosti a kontrolních funkcí těchto aktivit. Dochází k nárůstu komplikací v případech spolehlivosti veřejné infrastruktury, a tím i hrozeb pro fungování sídel a prostě žití jejich obyvatel, jejich uživatelů. Již delší dobu pak převládá nebezpečná improvizace v jejich řešení. Pozornost proto musí být smysluplně věnována všestranné diskusi s cílem identifikovat

konkrétní rizika v konkrétních sídlech a nacházet ucelená systémová řešení, jak tato rizika efektivně a včas eliminovat a to i z dlouhodobého hlediska, z hlediska garance udržitelného stavu a rozvoje sídel. Dané téma pak přesahuje rámec jednoho příspěvku a současně vyžaduje soustavné úsilí při permanentní snaze si počínat maximálně optimálně, dokázat včas a účinně reagovat, směřovat k nápravě nedostatků. V daném příspěvku jde tedy o snahu nabídnout *souhrnný pohled na věc*, jakkoliv je to nesnadné, zejména tam, kde již došlo k jistému selhání i zanedbání, k jistým nepříznivým důsledkům dlouhodobě přehlížených vážných problémů či jejich řešení jen nahodile formou improvizace.

Již zřehlednění *základních podmínek* historického vzniku a vývoje sídel musí být dostatečně cílené a představuje vlastně samostatné téma. Lze se však v tomto případě alespoň odvolat na existující informační zdroj [1] [(díl 1; kap. 4.4). Koncepce řešení inženýrských sítí (*dále IS*) (str. 102-118, kap. 4.5), Topologie IS (str. 118-130, kap. 4.6) a Spolehlivost IS (str. 131-139)] a dále též připomenout, že dnes máme z metodického hlediska k dispozici řadu konkrétních použitelných nástrojů pro řešení, metodiku případových studií (*Feasibility Study*), metodiku hodnotové analýzy (*Asset Analysis*), metodiku SWOT analýzy, metodiku *Risk Management*, *Critical Management* atp. Je pak třeba usilovat o nápravu všech *slabých míst* rozhodovacích procesů uplatňovaných již při návrhu strategických a navazujících řešení IS, tj. včetně *slabých míst* v legislativních, technických a dalších podkladech. I v tomto ohledu je důležité dokázat iniciovat širší diskusi napříč zainteresovanými obory (např. oboru dopravního inženýrství, městského inženýrství, urbanismu, oboru ochrany životního prostředí atp.), s účastí zainteresovaných jejich nositelů a výsledky pak dokázat ve veřejném zájmu efektivně realizovat. Jako konkrétní příklad *slabého místa* v důležitém metodickém podkladu [2] lze pak uvést v něm uváděné základní tvrzení, že řešení veřejných prostor sídel vychází ze *tří pilířů: sociálního, ekonomického a ekologického*, když byl překvapivě zcela opomenut *pilíř technický*. Jinými podobnými příklady nesystémovosti řešení ucelené technické obsluhy sídel jsou dnes případy, kdy jsou hojně nabízena jen dílčí vylepšení v podobě programů *Smart City* (když ve skutečnosti jde především o případy prosazování podnikatelských záměrů). Analogické, prakticky nezkoordinované, jsou též časté případy investičních akcí obnovy, kompletače a modernizace prvků dopravní a technické infrastruktury v intravilánech sídel. Jako málo vzájemně zkoordinované a málo kvalitní se pak jeví programy majitelů a provozovatelů veřejné infrastruktury a záchraných složek státu (např. hasičského záchranného sboru) v situacích selhání prvků či podstatných částí subsystémů technické obsluhy sídel, zejména v případech vzniku kritických situací. Zásadní rozpor lze pak spatřovat v aktuálních požadavcích na *spolehlivost IS* a současně na jiných dalších požadavcích na *bezpečnost IS*, kdy *bezpečnost IS* vyžaduje adekvátní ochranu a utajení důležitých informací (např. o poloze IS a jejich důležitých objektů apod.). V případě péče o *spolehlivost IS* je tomu naopak. Kompletní a dostatečně přesné informace o IS by měly být dostupné pro všechny přímo zainteresované a zodpovědné subjekty. To však nese riziko nežádoucího *úniku informací do rukou potenciálních škůdců – nositelů destruktivních aktivit*.

2. ZPŘEHLEDNĚNÍ KONKRÉTNÍCH VÁŽNÝCH PROBLÉMŮ A MOŽNOSTÍ JEJICH ŘEŠENÍ

Na základě analýzy reálné situace:

1. Chybí metodika pro systémovou koordinaci řešení ucelené technické obsluhy sídel včetně prokazování garance udržitelného stavu a rozvoje jejich technické infrastruktury. Do krajně nepříznivého stavu jsme se dostali zejména v případě vzájemné koordinace jednotlivých síťových odvětví a dále též v případě všech oprávněných nositelů zájmů ve veřejném prostoru sídel. Nepříznivá situace je v tomto ohledu pak umocňována stavem legislativních, technických a dalších podkladů. V jejich případě půjde při snaze o nápravu o *běh na dlouhé*

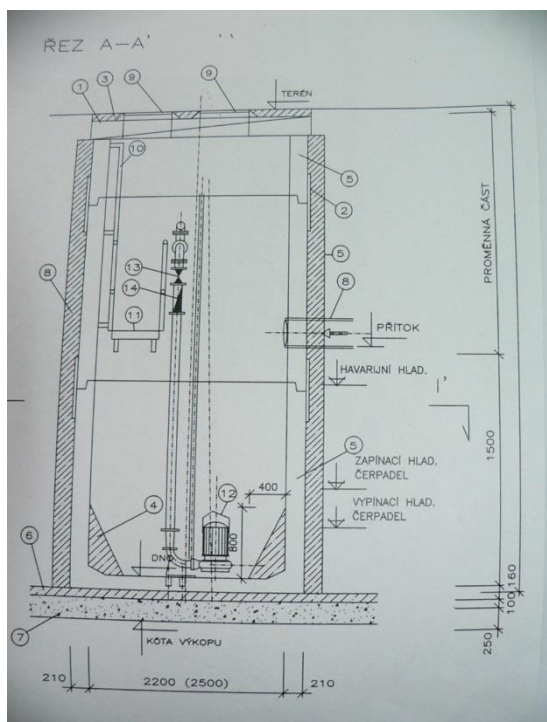
trati, když akutní potřeba vyžaduje veřejnou a dostatečně srozumitelnou dohodu všech zainteresovaných subjektů, zavazujících je se vystříhat všech rozhodnutí poškozujících jiné subjekty a především též popírající a poškozující veřejný zájem. Lze uvést též alespoň několik příkladů formou obrázků; obrázky 1–4.



Obr. 1. A – Problém neodůvodněného častého upřednostňování výkopových technologií při obnově a kompletaci VTV/vedení technického vybavení znamená popření veřejného zájmu. B – Problém kavernózních jevů ve veřejném prostoru obvykle způsobených netěsným vodovodem a netěsnou kanalizací v jeho blízkosti.



Obr. 2. A-Problém živelného přetěžování jednotné kanalizační sítě potenciálně vyvolávající hygienické znehodnocování veřejného prostoru sídel. B-Problém tolerance netěsností, paradoxně i v případě nově vybudovaných kanalizačních sítí.



A



B

Obr. 3. A-Problém výskytu přečerpávacích šachet oddílné splaškové kanalizace s absencí bezpečnostních přelivů a navazujících odlehčovacích potrubních tras s adekvátní koncovkou. B-Problém silně nebezpečných, málo pohledných a prostorově neúměrně náročných nadzemních/stožárových tras vedení VN, VVN či ZVN, dále též problém existence velikého rozsahu kabelových vedení el. energie či telekomunikačních pod úrovní terénu vyřazených z provozu a ponechaných svému osudu, vlastně „bizarních mrtvol“ v zemi včetně těch, jejichž rozkládající se Pb-ochranný plášť způsobuje nežádoucí *plumbosolvenci*.



A



B

Obr.4. A,B-Problém fungování odvodňovacích rigolů místních komunikací jako náhradní oddílné dešťové kanalizace (často též zneužívané k odvedení i jiných odpadních vod); paradoxně pak nejsou tyto rigoly zabezpečeny proti pádu osob z blízkého chodníku či prostoru.

Nezbytnost uplatnění systémové koordinace ucelených řešení pak přednostně též vyplývá z praktických poznatků získaných při působení *v terénu*. Systémovou koordinaci je třeba zajistit již na úrovni strategických územně plánovacích dokumentů či podkladů. Účelné by v tomto ohledu bylo prosazení zpracování povinné přílohy ÚPO/Územního plánu obce

„*Stabilita technických funkcí sídla*“/STFS, analogicky jako je již delší dobu povinné zpracování přílohy ÚSES („*Územní systém ekologické stability*“). V této souvislosti lze učinit i odvolávku na příspěvek v odborném časopisu ÚÚR [3] *Technická infrastruktura sídel na rozcestí svého vývoje. Jak dále?* Jinak byla v letech 2016 až 2019 zpracována ve spolupráci s pracovníky ÚÚR Brno aktualizace kap.8. *Technická infrastruktura* v rámci jejich základní metodické pomůcky [5] „*Pravidla a principy územního plánování*“ (nedošlo však dosud k faktické realizaci aktualizace kapitoly 8. v rámci jejich informačního zdroje www.uur.cz; je tam k dispozici stále jen stará verze z r. 2006).

2. Chybí metodika pro systémovou koordinaci řízení provozu ucelené technické obsluhy sídel. V tomto ohledu by bylo logické i racionální rozšířit působnost i zodpovědnost subjektů typu *Technické služby*, podléhajících městským a obecním úřadům, právě o adekvátní péči a kontrolu nad stavem ucelené technické obsluhy sídel. Metodika by mohla být operativně vytvořena např. na základě podkladů [12] s přihlédnutím k podkladům majitelů a provozovatelů dílčích subsystémů technické obsluhy sídel. Základním úkolem pak je zabezpečit přesnost a úplnost, tj. adekvátní kvalitu od r. 2020 zpracovávaných *Technických map měst a obcí ČR Asociací podnikatelů v geomatice* včetně přesného vymezení zodpovědnosti zpracovatele těchto map.
3. Dále je žádoucí uceleným způsobem a důsledně zpracovat zpřehlednění legislativních, technických a dalších podobných problémů či překážek. Přednostně pak je třeba se postarat o nápravu nepovedené revize a inovace ČSN 73 6005 *Prostorová úprava vedení technického vybavení* z konce r. 2020, analogicky též v případě ČSN 73 7505 *Sdružené trasy inženýrských sítí*.

Je např. třeba zohlednit klasifikaci VTV/vedení technického vybavení (IS v intravilánu sídel) podle místních podmínek i odhadnutelného jejich vývoje, dle dosažené úrovně koordinace jejich prostorového uspořádání, dle stavu veřejného prostoru i dle faktického stavu vedení technického vybavení:

1. VTV prostorově neuspořádaná (živelně uložená) v mnoha případech nerespektující ustanovení dřívějších i aktuální verze ČSN 73 6005, umístěná ve veřejném prostoru, který zatím vykazuje prostorové rezervy a kde i ostatní základní podmínky (geologické, hydrogeologické, náročnost objektů nemovitostí na obsluhu atd.) a stav vedení technického vybavení nevykazují havarijní stav a není tedy nezbytné bezodkladně reagovat na danou situaci (příprava návrhu adekvátních opatření pro další období vývoje je žádoucí).
2. VTV prostorově neuspořádaná (živelně uložená) v mnoha případech nerespektující ustanovení dřívějších i aktuální verze ČSN 73 6005, umístěná ve veřejném prostoru, který již nemá prostorové rezervy a kde ostatní základní podmínky (geologické, hydrogeologické, náročnost objektů nemovitostí na obsluhu atd.) a stav vedení technického vybavení vykazují zde existující závažná rizika spontánní disfunkce vedení technického vybavení a veřejného prostoru, na která je třeba bezodkladně reagovat a danou situaci řešit.
3. VTV prostorově částečně uspořádaná a v mnoha případech nerespektující ustanovení dřívějších i aktuální verze ČSN 73 6005, umístěná ve veřejném prostoru, který zatím vykazuje prostorové rezervy a kde i ostatní základní podmínky (geologické, hydrogeologické, náročnost objektů nemovitostí na obsluhu atd.) a stav vedení technického vybavení nevykazují havarijní stav a není tedy nezbytné bezodkladně reagovat na danou situaci (příprava návrhu adekvátních opatření pro další období vývoje je žádoucí).
4. VTV prostorově částečně uspořádaná a v mnoha případech nerespektující ustanovení dřívějších i aktuální verze ČSN 73 6005, umístěná ve veřejném prostoru, který již nemá prostorové rezervy a kde ostatní základní podmínky (geologické, hydrogeologické, náročnost

objektů nemovitostí na obsluhu atd.) a stav vedení technického vybavení vykazují zde existující rizika spontánní disfunkce vedení technického vybavení a veřejného prostoru, na která je třeba bezodkladně reagovat a danou situaci řešit.

5. VTV prostorově uspořádaná v souladu s ustanoveními dřívějších i nejdůležitějšími ustanoveními aktuální verze ČSN 73 6005, umístěná ve veřejném prostoru, který zatím vykazuje prostorové rezervy a kde i ostatní základní podmínky (geologické, hydrogeologické, náročnost objektů nemovitostí na obsluhu atd.) a stav vedení technického vybavení nevykazují havarijní stav a není tedy nezbytné bezodkladně reagovat na danou situaci (příprava návrhu adekvátních opatření pro další období vývoje je žádoucí).
6. VTV prostorově uspořádaná v souladu s ustanoveními dřívějších i nejdůležitějšími ustanoveními aktuální verze ČSN 73 6005, umístěná ve veřejném prostoru, který již nevykazuje prostorové rezervy, kde ostatní základní podmínky (geologické, hydrogeologické, náročnost objektů nemovitostí na obsluhu atd.) jsou relativně příznivé a též i stav vedení technického vybavení není havarijní a není tedy nezbytné bezodkladně reagovat na danou situaci (příprava návrhu adekvátních opatření pro další období vývoje je žádoucí).
7. další podobné případy lze doplnit.
8. VTV s prostorovým uspořádáním zcela zmatečným/chaotickým, když současně zcela chybí či jsou zastoupeny jen symbolicky přidružené prostory místní komunikace a stav vedení technického vybavení je poznamenán opakovanou improvizací a má zcela nedostatečnou technickou úroveň včetně použití nevhodných materiálových technologických variant, na který je třeba bezodkladně reagovat a danou situaci řešit.
9. ... další podobné případy lze doplnit.
10. další jiné případy lze doplnit na základě jejich adekvátní identifikace.

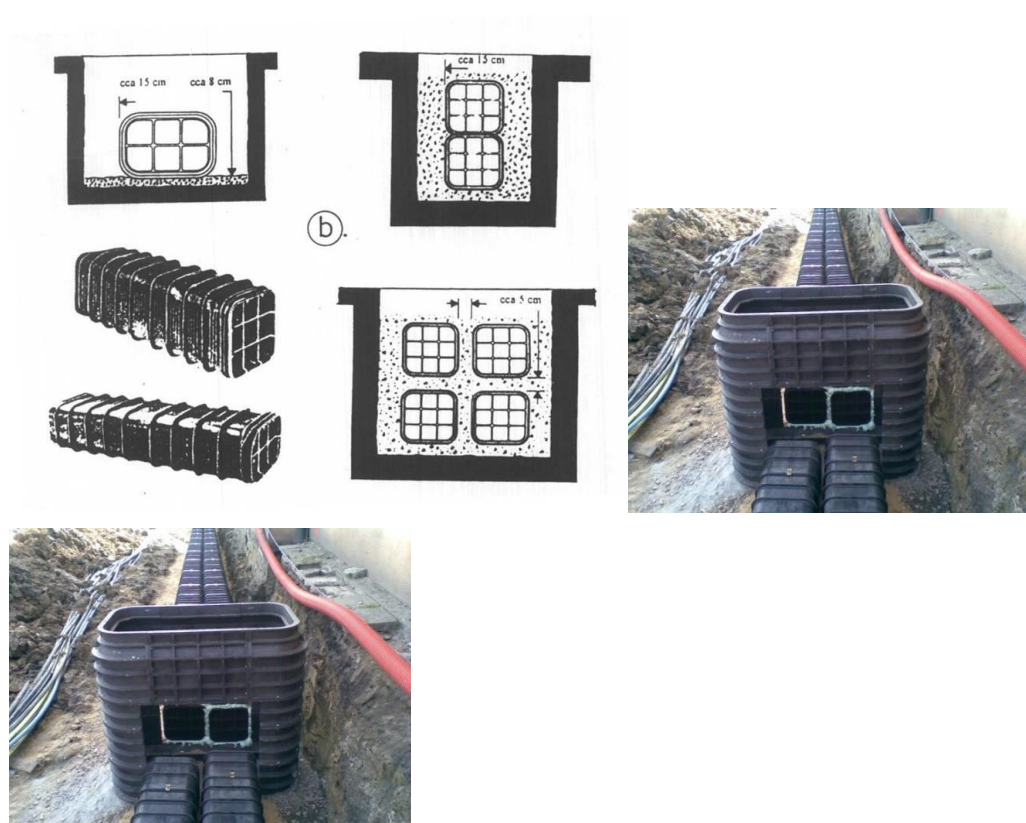
V případech ad 2, 4, 8 a v dalších odůvodněných případech s rizikem ohrožení funkce vedení technického vybavení, ohrožení funkce urbanizovaného území a jeho veřejného prostoru, je povinností subjektů zodpovědných za řádné fungování technické obsluhy tohoto území zjednat včasnou nápravu a to, zejména tehdy, když jde současně o *riziko stavu nouze* (případně i *riziko veřejného ohrožení*) vyvolané stavem vedení technického vybavení; případy typu 1,3,5,6 pak vyžadují včasnou přípravu návrhu adekvátních, zejména strategických opatření pro další období vývoje; je též žádoucí i účelně zabezpečit úplný přehled stavu všech veřejných prostor každého sídla, z tohoto hlediska tvorbou uceleného pasportu apod.

Nabízí se pak využít při tvorbě strategických dokumentů měst a obcí odzkoušené komplexní postupy zpracováním *případových studií* kompletně pro celá sídla a jejich rozvojové lokality včetně území brownfields (pro každou ulici, každý veřejný prostor či prostranství). V tomto případě je nezbytné důsledně klasifikovat jednotlivé části sídel dle jejich významu, důležitosti a podmínek řešení, i dle stupně důležitosti VTV včetně, např. ulice, veřejný prostor či prostranství v:

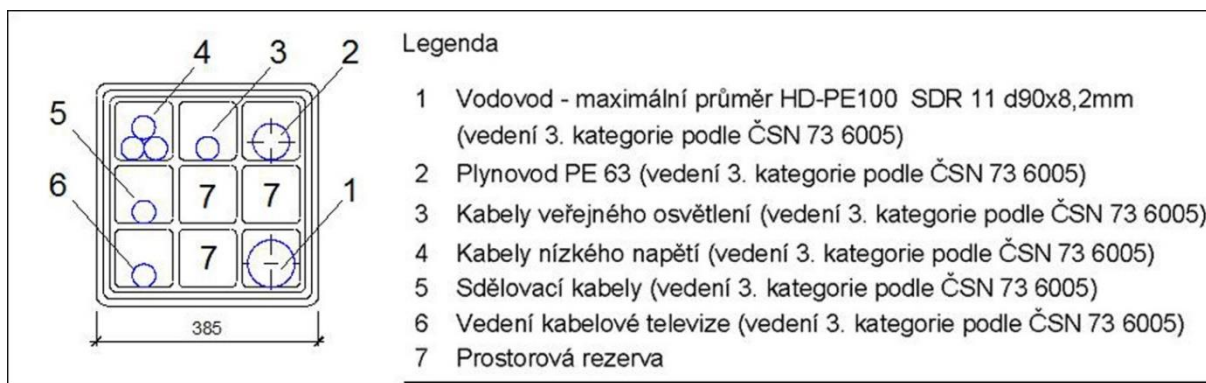
- I. Historickém jádru sídla s VTV 3. a 4. kategorie.
- II. Centrální části sídla, obvykle silně zastavěném, s významnými místními komunikacemi a s VTV 2., 3. a 4. kategorie.
- III. Zastavěném území sídla především s bytovou zástavbou se sběrnými místními komunikacemi místního významu, s potenciálem dalšího rozvoje a s VTV 2., 3. a 4. kategorie.
- IV. Periferní části sídla s předpokládaným dynamickým rozvojem a s VTV 2., 3. a 4. kategorie,

- V. Periferní části sídla dlouhodobě se rozvíjející pomalu či stagnující s **VTV** 3. a 4. kategorie.
- VI. Extravilánu, v katastrálním území vně za správní hranicí sídla s **IS 2.**, příp. též s vedeními **IS** 1. kategorie.

Z praktických zkušeností zpracování takovýchto *případových studií* vyplývá s ohledem na splnění požadavku udržitelnosti a dále výskytu většinou jen omezených prostorových podmínek pod úrovní povrchu terénu ve veřejném prostoru sídel, kde aktuálně panuje spíše chaos a nemáme to pod dostatečnou kontrolou (v rozvojových lokalitách pak skromné prostorové podmínky vyplývají z ustanovení obsažených v [24]), tak se ukazují jako perspektivní řešení VTV, řešení využívající prostorově úsporných způsobů ukládání vedení VTV, což nabízejí dostatečně odolné ochranné konstrukce sdružených tras VTV opírající se dnes o širokou nabídku typových řešení; příklady jsou na obrázcích 5. až 12. a dále i kombinované trasy VTV, které v adekvátním rozsahu preventivně počítají s cíleným a efektivním využitím BT/bezvýkopových technologií pro obnovu, kompletaci a modernizaci VTV či IS všech typů. Je dále nezbytné umět adekvátně zareagovat i na další podmínky konkrétních ulic, konkrétních úseků veřejného prostoru či prostranství.



Obr. 5. Stavebnice ochranné konstrukce IS, multikanálu SITEL, www.sitel.cz (licence fy. Carson-Brooks), která je dále vyvíjena a reaguje na potřeby praxe její další postupnou kompletací (výrobce a dodavatel pro společnost SITEL, a.s., pro ČR, je nadnárodní společnost SILON s.r.o. Planá nad Lužnicí, Průmyslová 451, 391 02 Sezimovo Ústí II, www.silon.eu).



Obr. 6. Příklad aplikace stavebnice multikanálu SITEL (Carson-Brooks), zdroj SITEL s.r.o. (www.sitel.cz), příklad možného uspořádání technologického profilu sružené trasy IS (výhodně lze uplatnit i plastová potrubní vedení do DN 100, ev. i do DN 400 při užití nově vyvinutého prvku stavebnice SITEL či paralelně trasovanou/né potrubní chráničku/y pro instalaci potrubního/ch vedení DN>DN100).

4-OTVOROVÝ MULTIKANÁL

Model 4W - 42

Základní 4-otvorový díl 265 x 265 x 1 118 mm
Celková délka všech otvorů: 4 268 mm
Reálná délka dílu: 1 067 mm
Hmotnost: 8,8 kg
Rozměr otvoru Multikanálu: 105 x 105 mm

Model 4W - M | Model 4W - MK*

4-otvorový 9° ohybový díl
Rozměr ohybové dílu: 265 x 265 x 1 080 mm
Tříska ohybové dílu: (BPO)

MULTIKANÁL 4W XL S INSTALAČNÍM OTVOREM 160 MM

Model - 4W XL

Základní 4W XL - 4-otvorový Multikanál 385 x 385 x 1 117 mm
Reálná délka dílu: 1 067 mm
Hmotnost: 13,5 kg
Velikost instalačního otvoru: 160 mm

Ohybový díl 4W XL

Základní ohybový díl 4W XL
Hmotnost: 13 kg

Model 4W - BB

4-otvorový hrdlíkový prvek 265 x 265 x 406 mm
Reálná délka dílu: 305 mm

Model 4W - SS

4-otvorový měspřek 255 x 255 x 375 mm
Reálná délka dílu: 305 mm

Model - 4W XL BB

4W XL BB - 4-otvorový adaptér
Rozměr dílu: 385 x 385 x 140 mm

Model - 4W XL SS

4W XL BB - 4-otvorový adaptér
Rozměr dílu: 385 x 385 x 140 mm

Model 4W - SDA

4-otvorový adaptér 255 x 255 x 303 mm
Vnější průměr PE trubky: 110 mm
Vytváje i pro průměr 100 mm

Model 4W - UBS

Univerzální konečka pro 4-otvorový Multikanál
Univerzální konečka pro zastřešení otvoru ústřední Multikanálu
Rozměr dílu: 265 x 265 x 67 mm

Model - 4W XL SDA

4-otvorový adaptér pro chráničky 160 mm
Rozměr dílu: 340 x 340 x 240 mm

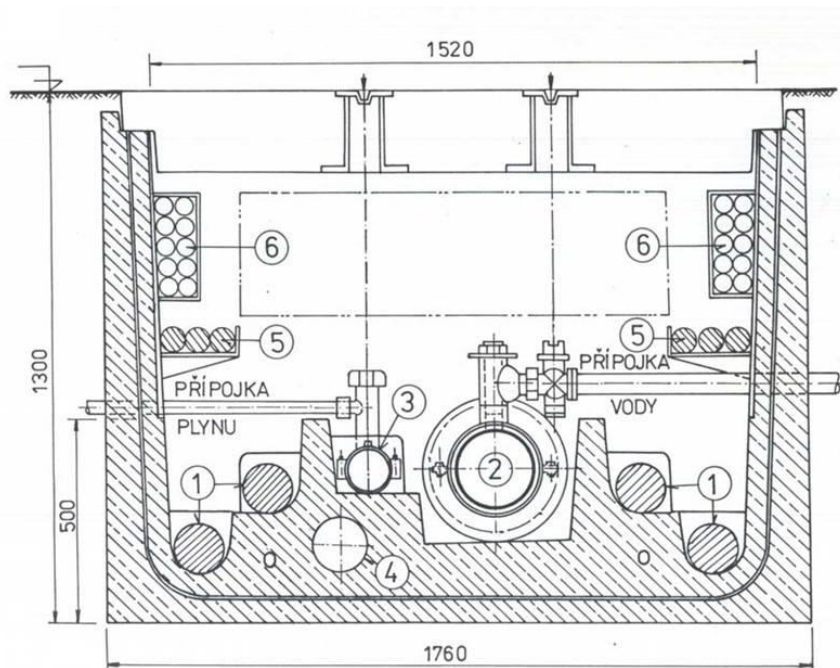
Model - 4W XL UBS

Univerzální zastřešovací víko pro Multikanál 4 W XL
Rozměr dílu: 385 x 385 x 60 mm

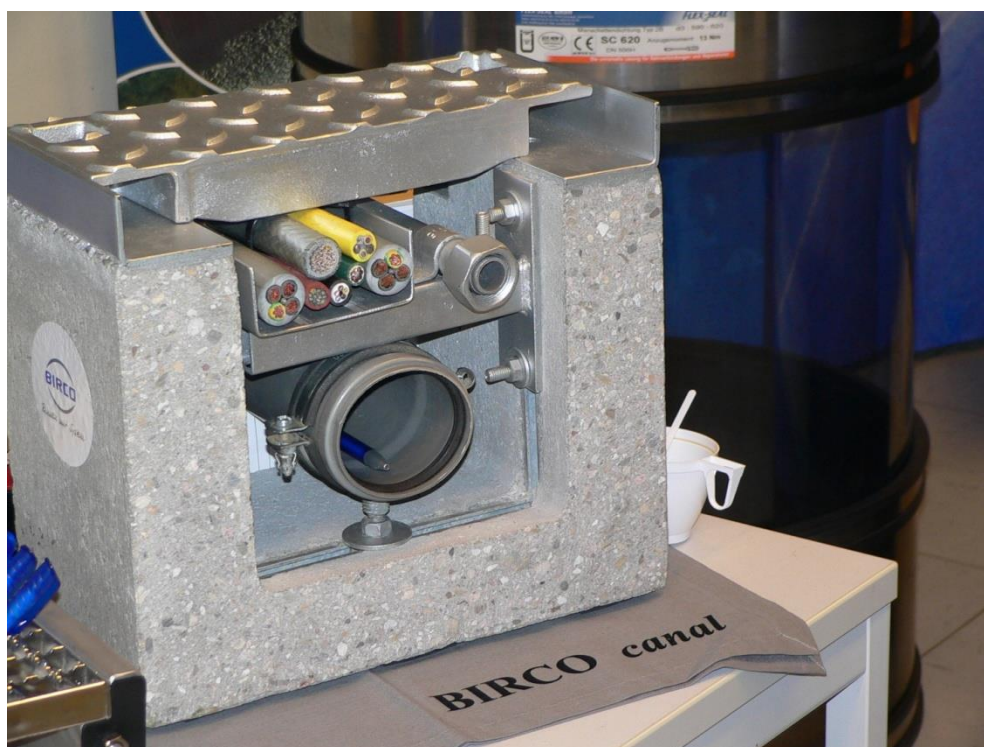
Multikanály 17

Obr. 7. Jistým potvrzením dalšího vývoje stavebnice SITEL jsou aktuálně např. její další komponenty pro čtyřotvorový stavebnicový prvek multikanálu SITEL, umožňující instalaci potrubního vedení do velikosti do DN 400 (www.sitel.cz).

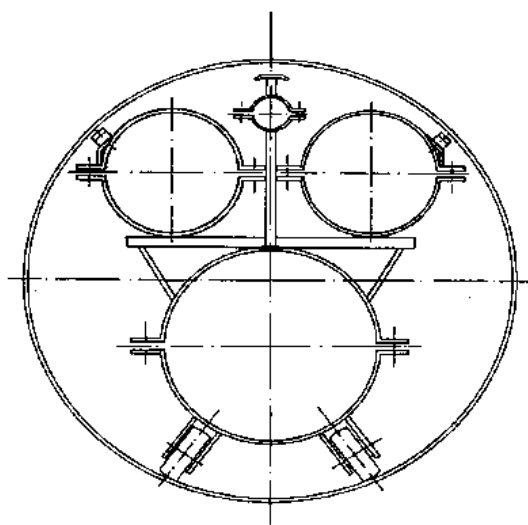
V mnoha případech pak bývá výhodné právě řešení s užitím kombinovaných způsobů ukládání (většina vedení IS bude uložena ve sružené trase a jen odůvodněně některá vybraná potrubní vedení lze ponechat klasicky uložené, prostě v zemi, zejména tehdy, když si ověříme, že jejich obnova bude snadno možná užitím BT/bezvýkopových technologií). I taková řešení by neměla chybět v rámci navrhovaných variantních řešení (v adekvátním počtu), připravovaných pro jejich objektivizované vyhodnocení metodou hodnotové analýzy (dále jen HA-Asset Management (dále jen AM)). Ověření těchto poznatků je mj. prezentováno v [1,4,5-8,10, 17,22].



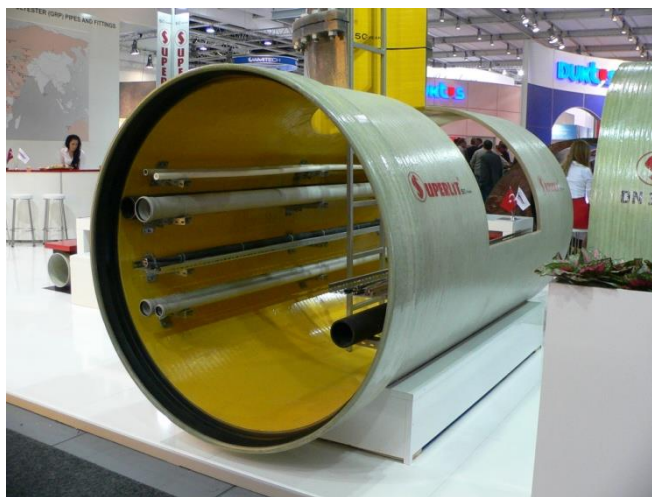
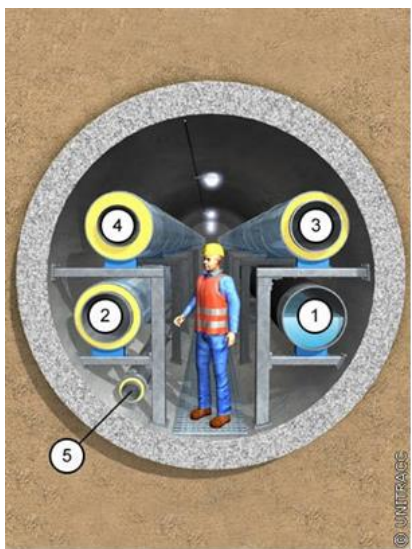
Obr. 8. Příklad podchodníkového technického kanálu typu EUREKA (1-kabely silové VN, 2-vodovod, 3-plynovod STL/NTL, 4-chránička, 5- kabely silové NN, 6-vedení elektronických komunikací), zdroj EUREKA (www.eureka.com).



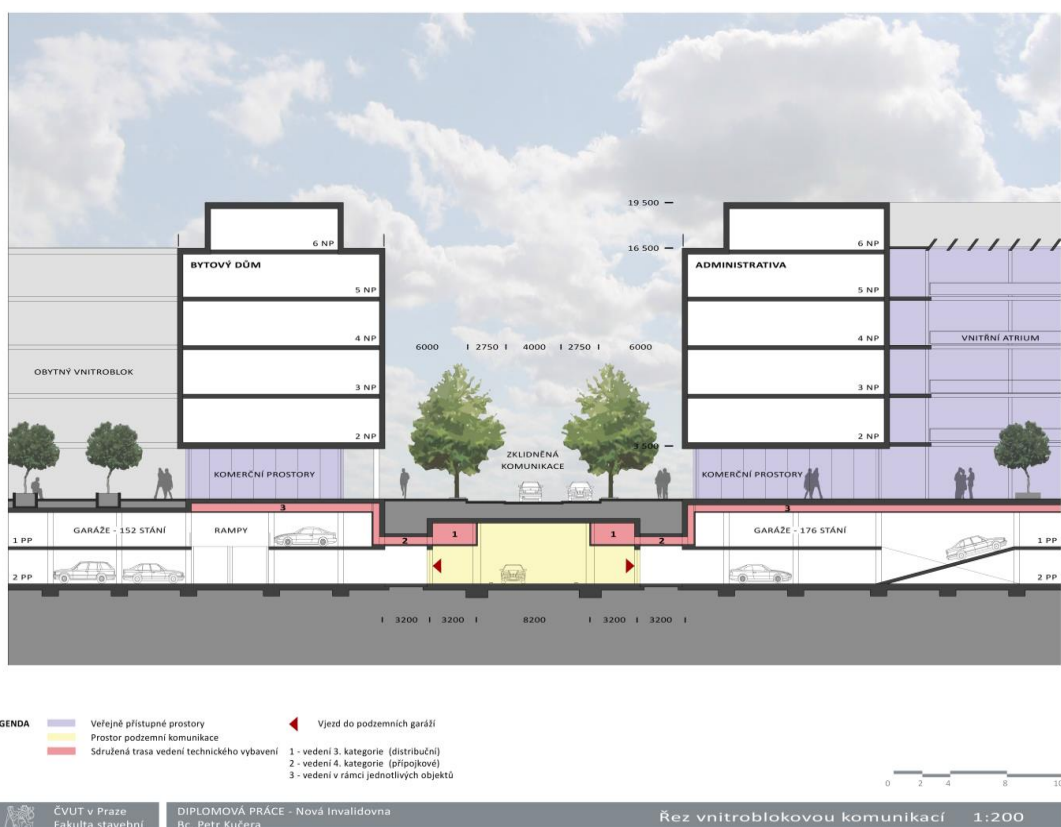
Obr. 9. Příklad technického kanálu typu birco (výstavní exponát), zdroj birco gmbh (www.birco.de); ochranná konstrukce sružené trasy is plní též funkci dešťové oddílné kanalizace; birco gmbh nabízí více rozměrových variant včetně variant řešení technologického profilu a různých detailů tohoto typu sružené trasy IS.



Obr. 10. A-Příklad sdružené chráničky HYDROS pro vedení 4. kategorie dle ČSN 73 6005, tj. pro přípojková vedení, zdroj HYDROS (www.hydros.de); Obr.10.B – Příklad varianty řešení ze sousedního Německa, sdružená chránička pro venkovní vedení VN, VVN i ZVN instalovaná prostřednictvím technologie HDD/Horizontal Directional Drilling, microtunnelling apod.; taková řešení lze doporučit, když jde současně o spolehlivost těchto vedení, evidentní ochranu obyvatel žijících v blízkém okolí těchto venkovních tras nebezpečných vedení, kdy je možné výhodně využít souběhu konce životnosti takových venkovních tras, kdy je to žádoucí též z hlediska hrubého narušování vzhledu krajiny a prostředí, z hlediska stupňujících se rizik zhroutení těchto tras při výskytu extrémních povětrnostních situací, z hlediska nároků na neúměrný rozsah ochranných pásem apod.



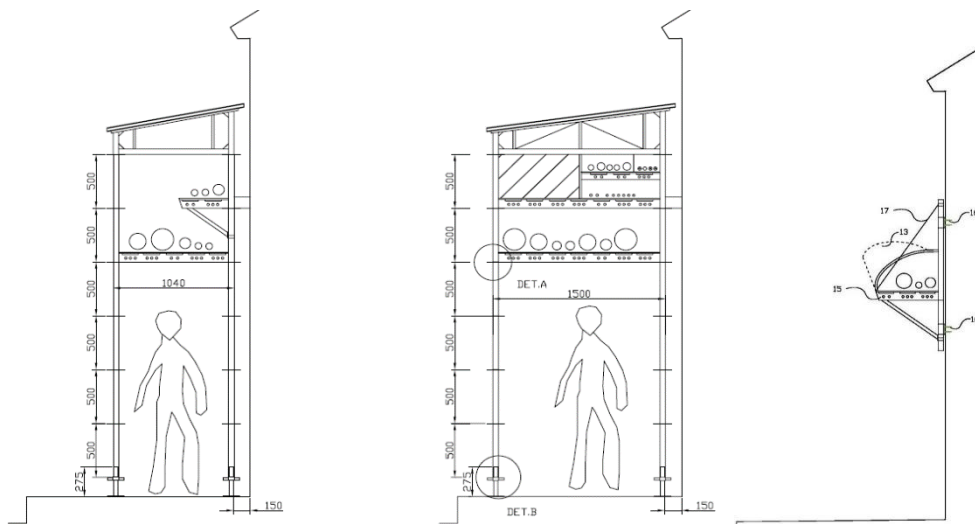
Obr. 11. A-Schéma kolektoru s aplikací trubního prefabrikátu DN 3000 realizovaném výhodně užitím technologie microtunnelling (technologie plně mechanizovaného štítování) – příklad. Legenda: 1- kanalizační potrubí, 2- přiváděcí vedení teplé užitkové vody, 3- cirkulační vedení teplé užitkové vody, 4- teplovod – přiváděcí potrubí, 5- teplovod – vratné potrubí; případně též další vedení; zdroj <http://www.unitracc.com/>; B-Jiný příklad použití technologie microtunnelling pro realizaci kolektoru užitím trubního prefabrikátu DN 1600 ze sklolaminátu HOBAS.



Obr. 12. Schéma příkladu aplikace řešení užitím *technicko-komunikačního koridoru* (červeně podbarveny jsou plochy technologických profilů sružených, přípojkových a propojovacích tras IS).

Většina existujících problémů je primárně řešitelná zajištěním adekvátní koordinace ve všech úrovních rozhodování, při všech uplatňovaných rozhodovacích procesech, především při prostorové koordinaci vedení technického vybavení ve veřejném prostoru sídel, jakkoliv je totéž nezbytné zajistit i v prostoru areálů různých typů pro vedení technicko-technologického vybavení a pro dálkovody v extravilánech, mimo správního území sídel. Řešitelnost problematiky vychází zejména z databází FM (Facility Management) inženýrských sítí/IS, na která jsou dnes kladeny mnohem náročnější požadavky, než tomu bývalo dříve. Rizika IS, která je nezbytné včas, nejlépe preventivně, řešit jsou vázána na zodpovědné fungování managementů sídel, investorů, projektantů, zhotovitelů (včetně výrobců materiálů a zařízení IS), majitelů a provozovatelů infrastrukturního majetku IS a dále též na zodpovědném fungování příslušných resortních pracovišť, která nesou zodpovědnost za stav technických, legislativních a dalších podkladů včetně podkladů koncepčních. Vše je pak v konkrétních případech extrémně závislé na stavu a změnách podmínek řešení ucelené technické obsluhy urbanizovaného území včetně změn podmínek řešení očekávaných při splnění požadavku garance udržitelného stavu a rozvoje IS.

Příklad nástroje k usnadnění postupu transformace IS do udržitelného stavu či nástroje zkvalitnění zásahů HZS (Hasičského záchranného sboru) je uveden na obrázku 13.



Obr. 13. Příklady základních aplikací *stavebnice mobilní sdružené trasy/SMS IS* dle užitého vzoru [15], využívající disponibilních systémů modifikovaných řešení.

3. ZÁVĚRY, NÁMĚTY A DOPORUČENÍ

Mimo doporučení, která zazněly již výše, je možné zejména zdůraznit či doplnit:

1. Z pohledu potřeb aplikace nástrojů *RM* a *FM* je nezbytné v případě *IS* důsledně požadovat a počítat s tím, že adekvátní strategická řešení *IS* pomáhají řešit včas (preventivně) příčiny nespolehlivosti *IS*. V provozu *IS* pak tyto nástroje umožňují zkvalitnit jejich provozní kontrolu (na úrovni majitelů a provozovatelů *IS*, na úrovni managementů měst a obcí, na úrovni kontrolních institucí státu, příslušných ministerstev, na úrovni masmédií i na úrovni uživatelů služeb *IS*).
2. Z pohledu potřeb aplikace nástrojů *CM* a *FM* je třeba konstatovat platnost požadavku operativního, účinného, efektivního a vlídného řešení eliminace následků kritických situací vyvolaných haváriemi *IS*. To pak vyvolává potřebu aktivního zlepšování technologického vybavení a postupů zásahů především Hasičského záchranného sboru. V tomto případě lze rovněž např. přispět doporučením odzkoušet využití *stavebnice mobilní sdružené trasy* dle užitého vzoru [15]; obrázek 13.
3. Ve vazbě na historický vývoj technického řešení veřejného prostoru sídel se ukazují jako rozhodující:
 - stávající stav vedení a objektů *IS*,
 - prostorové i další podmínky (příliš často se již dostáváme do situací *stavů prostorové nouze* či i *stavů obecného ohrožení*),
 - možnosti uplatnění adekvátních způsobů ukládání *IS*,
 - možnosti uplatnění adekvátních způsobů provádění/instalace vedení *IS*.

Na stavy prostorové nouze je pak třeba např. reagovat užitím prostorově úsporných způsobů ukládání *IS*, tj. adekvátním užitím prostorově úsporných typů sdružených, příp. též kombinovaných tras *IS* při současném uplatnění *BT*.

4. Již dlouhou dobu, opakovaně a otevřeně, je majiteli a provozovateli infrastrukturního majetku veřejných vodovodů a kanalizací deklarováno, že je jejich infrastrukturní majetek dlouhodobě podfinancovaný (redukována provozní údržba, obnova, kompletace i modernizace) se všemi krajně nepříznivými důsledky. V ostatních síťových odvětvích tomu je prakticky analogicky, jen to není veřejně sdělováno. To pak představuje výraznou hrozbu, na kterou je naléhavě třeba reagovat!

5. Udržitelnost stavu a rozvoje ucelené technické obsluhy urbanizovaného území a sídel v něm lze docílit především prosazením prokazatelně systémových řešení (garantujících udržitelnost a rozvoj oprávněných aktivit ve veřejném prostoru sídel) již do strategických dokumentů sídel.
6. Jistou další výzvu představuje možnost efektivního řešení nakládání s odpady, jejich dopravy z míst jejich producentů do míst jejich progresivního využití uplatňované ve Švédsku s pomocí potrubního systému CENTRALSUG. Řešitelé návrhů strategických řešení i u nás by mohli i měli zvažovat a včas signalizovat potřebu koordinovaného strategického řešení *IS* s užitím i tohoto systému.
7. Rovněž není *od věci* připomínat potřebu správného definování nejdůležitějších základních pojmů odkazem na definice autorů, kteří to dokázali a dokazují. Alespoň jeden příklad: Walter Lippmann, dvojnásobný držitel Pulitzerovy ceny to nabízí : „ ***Veřejným zájmem lze rozumět to, co by si lidé vybrali, kdyby se koukali a viděli jasně, mysleli racionálně, jednali bez ohledu na osobní zájem a byli adekvátně shovívaví k ostatním ve smyslu respektování prospěchu společnosti.*** .“ Zdůrazňuje dále, že *veřejný zájem* lze vnímat jako zájem, který ospravedlňuje státní regulaci a vlastně tím i zdůvodňuje její legitimitu v případě, že právě slouží k prosazení veřejného zájmu, tj. zájmu většiny z hlediska udržitelného rozvoje. - *Trvale udržitelný rozvoj je takový způsob rozvoje, který uspokojuje potřeby přítomnosti, aniž by oslaboval možnosti budoucích generací naplňovat jejich vlastní potřeby.*
8. Nedostatečně ošetřená zůstává anomálie v dostatečné přístupnosti k informacím o *IS* pro účely garance *spolehlivosti IS* (Risk Management) a současně potenciálně nežádoucím unikem informací o *IS* k případným *škůdcům – nositelům destrukčních aktivit.*

LITERATURA

- [1] ŠRYTR, P. A KOL. *Městské inženýrství*, díl 1. a 2. , ISBN 80-200-0663-X. Praha: Academia 1998. ISBN 80-200-0440-8, Praha: Academia 2001 (soubor ISBN 80-200-0802-0) 832 p.
- [2] MMR. *Územní studie veřejného prostranství* (Metodický návod pro pořízení a zpracování) Praha: MMR, 2015, 90 p. www.mmr.cz.
- [3] ŠRYTR, P. Technická infrastruktura sídel na rozcestí svého vývoje. Jak dále? *Urbanismus a územní rozvoj*. ISSN 1212-0855, 5 (2013), 7 p.
- [4] ŠRYTR, P. *Výpadky (poruchy, havárie) inženýrských sítí z hlediska udržitelného rozvoje*. ISBN 978-80-01-2. Praha: ČVUT 2009, 113 p.
- [5] UUZ. *Pravidla a principy územního plánování*, kap.8. – *Technická infrastruktura*. Brno: Ústav územního rozvoje, Brno 2019, 25 p. www.uur.cz
- [6] ŠRYTR, P., BERAN, V. A KOL. *Posouzení vlivu technického vybavení území na přírodní prostředí* (závěrečná zpráva řešení úkolu technického rozvoje Ministerstva lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČR a FSv ČVUT v Praze, 1990). Praha: ČVUT 1990, 159 p.
- [7] ZAVADIL, J. Zkoumání změn odtokových poměrů v urbanizovaném území způsobených dopravními stavbami. *Doktorská disertační práce*. Ostrava: FAST VŠB-TU 2014, 190 p.
- [8] ŠRYTR, P. A KOL. *Sdružené trasy inženýrských sítí v urbanizovaných územích*. ISBN 978-80-01-04289-2. Praha: ČVUT 2010, 173 p.
- [9] ŠRYTR, P. Bezvýkopové technologie jako nástroj integrace zájmů všech síťových odvětví ve prospěch udržitelného rozvoje. In: *Sborník referátů 19. NO-DIG, CzSTT, Litomyšl*. ISBN 978-80-904551-4-6. Praha: Česká společnost pro bezvýkopové technologie 2014, 15 p.
- [10] ŠRYTR, P. Bezvýkopové technologie, veřejný prostor s městskou zelení a revize ČSN 73 6005. In: *Sborník referátů odborného semináře MENDELU v Brně 26.-27.1.2015 Stromy ve městech-hodnotit nebo kácet?* Brno: Mendelu 2015, 13 p. www.nature.cz.
- [11] ŠRYTR, P. A KOL. *Městské inženýrství*. ISBN 978-80-248-2828-2. Ostrava: VŠB-TU Ostrava 2012, 196 p.
- [12] UNITRACC. *Portál společnosti UNITRACC*, www.unitracc.de (www.stein.de).
- [13] KOL. AUTORŮ. *Udržitelný rozvoj regionů*. ISBN 978-80-01-05017-0. Praha: ČVUT 2012, 104 p.
- [14] NENADÁLOVÁ L. Metodika hodnocení bezvýkopových technologií inženýrských sítí z ekologického hlediska. *Doktorská disertační práce*, FSv-ČVUT. Praha: ČVUT 2012, 120 p.

- [15] UPV. Užiténý vzor *Stavebnice mobilní sdružené trasy IS* (Osvědčení o zápisu užiténého vzoru č. 19323 ze dne 16.2.2009. Praha: Úřad průmyslového vlastnictví 2009, 11 p. www.upv.cz
- [16] ČNI. ČSN IEC 812 (010675) *Metody analýzy spolehlivosti systému, postupy analýzy způsobů a důsledků výpadků (poruch a havárií), FMEA*. Praha: Český normalizační institut 2007.
- [17] TEICHMANN M. Modelování a optimalizace spolehlivosti systémů pro zásobování pitnou vodou. *Doktorská disertační práce*. Ostrava: VŠB-TU 2017, 180 p.
- [18] ŠRYTR, P. A KOL. *Inženýrské sítě pro diferencované studium*. Praha: ČVUT 1984, 498 p.
- [19] ŠRYTR P. A KOL. *Intenzifikace provozu inženýrských sítí*. Praha: ČVUT 1990, 144 p.
- [20] UUR. *Pravidla a principy územního plánování, kap.8. – Technická infrastruktura*. Brno: Ústav územního rozvoje 2019, 25 p. www.uur.cz
- [21] ŠRYTR, P. *Zdravotní inženýrství IV. – Inženýrské sítě*. Praha: ČVUT 1976, 70 p.
- [22] KOL. AUTORŮ. *Městské inženýrství, Stavební kniha r. 2011*. ISBN 978-80-87438-09-1. Praha: IC ČKAIT 2011, 165 p.
- [23] DLASK P., ŠRYTR P. Objektivizace rozhodování při přípravě aplikací bezvýkopových technologií. In: *Sborník referátů konference NO-DIG CzSTT*. ISBN 978-80-904551-2. Praha: Česká společnost pro bezvýkopové technologie 2012, 80 p.
- [24] MD ČR. *TP 103 Navrhování obytných a pěších zón*. ISBN 80-902527-0-2. Praha: MD ČR 2008.
- [25] ISTT. *Trenchless Technology Guidelines*. London: ISTT 1989, 50 p.
- [26] EC. *Upside Down 1/2014*, www.upsidedownprotect.eu.
- [27] EC. *UPSIDEDOWN PROTECT, Special Data Protection for the Underground Critical Infrastructure Prevention, Preparedness and Consequence Mngement of Terrorism and Other Related Risks*. Brussels: EU 2011, 47 p.
- [28] KOL. AUTORŮ. *Zásady pro využití bezvýkopových technologií v oboru vodovodů a kanalizací*. ISBN 978-80-87140-07-9. Praha: SOVAK ČR 2008, 165 p.

Titul:	Řízení rizik procesů, zařízení a bezpečnost složitých technických děl
Editor:	Doc. RNDr. Dana Procházková, CSc., DrSc.
Recenzenti:	Doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D. Doc. Ing. Branislav Lacko, CSc. RNDr. Jan Procházka, Ph.D.
Vydavatel:	ČVUT v Praze
Forma	Elektronická DSPACE
Počet stránek:	389
Rok vydání:	2021

Odborné připomínky k článkům od recenzentů i editora vypořádali autoři ve spolupráci s editorem. Editor dále provedl formální úpravy, uspořádání textu a základní jazykové korekce.

ISBN 978-80-01-06906-6