



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

**Analýza a komparace softwarových nástrojů pro modelování
mimořádných událostí**

**Analysis and Comparison of Software Tools for Modeling
Emergency Events**

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: kpt. Ing. René Mildorf

Bc. Lenka Klvaňová

Kladno, květen 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Lenka Klvaňová**
Studijní obor: Civilní nouzové plánování
Téma: **Analýza a komparace softwarových nástrojů pro modelování mimořádných událostí**
Téma anglicky: Analysis and Comparison of Software Tools for Modeling Emergency Events

Zásady pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude komparace jednotlivých softwarových nástrojů a jejich význam při přípravě na mimořádné události.

Teoretická část práce bude obsahovat charakteristiku mimořádných událostí, které se mohou na území České republiky vyskytnout. Následně bude uveden přehled jednotlivých softwarových nástrojů používaných k modelování povodní, úniku nebezpečných chemických látek a požárů.

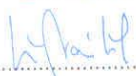
V praktické části budou vymodelovány konkrétní mimořádné události různými softwarovými nástroji, např. Aloha, TerEx, Hec*Ras a dalšími. Následně bude provedeno porovnání a posouzení jednotlivých softwarových programů pomocí minimálně tří konkrétních příkladů a SWOT analýzy. Na závěr budou uvedena doporučení ke zvýšení efektivity použití softwarových programů v oblasti krizového řízení a ochrany obyvatelstva.

Seznam odborné literatury:

- [1] BERNATÍK, Aleš, Prevence závažných havárií I, ed. 1., Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2006, 86 s., ISBN 80-86634-89-2
- [2] BLAŽKOVÁ, Kateřina, Ochrana obyvatelstva a krizové řízení, ed. 1., Praha: MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2015, 322 s., ISBN 978-80-86466-62-0
- [3] KOVÁŘ, Milan, Ochrana před povodněmi: řešení přirozených a zvláštních povodní, ed. 1., Praha: Triton, 2004, ISBN 80-7254-499-3

Vedoucí: Ing. René Mildorf

Zadání platné do: 20.08.2019


vedoucí katedry / pracoviště


děkan

V Kladně dne 02.10.2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Analýza a komparace softwarových nástrojů pro modelování mimořádných událostí* vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně 17. 5. 2018

.....
Bc. Lenka Klvaňová

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat mému vedoucímu práce panu kpt. Ing. Renému Mildorfovi. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se mnou v průběhu tvorby této práce spolupracovali. Také bych chtěla poděkovat rodině a přátelům, kteří mě provázeli celým studiem a byli mi velkou oporou za každé situace.

Abstrakt

Předkládána diplomová práce se věnuje analýze a komparaci softwarových nástrojů pro modelování mimořádných událostí.

Pro dobrou orientaci v dané oblasti se první část práce zabývá stručnou charakteristikou problematiky a popisu nejčastěji se vyskytujících mimořádných událostí na území České republiky, kterými jsou povodně, únik nebezpečné chemické látky a požáry. Dále je zmíněn geografický informační systém, jenž je nedílnou součástí softwarové podpory.

Meritum práce tvoří analýza vybraných softwarových nástrojů, které lze získat na dnešním trhu, ať už se jedná o komerční nebo volně dostupné programy se zaměřením na modelaci výše zmíněných mimořádných událostí. Následně je vytvořena modelace povodně na řece Moravě ve městě Otrokovice, únik nebezpečné chemické látky z podniku DEZA a. s. ve Valašském Meziříčí a nakonec požár v uzavřené místnosti. Pro ucelený pohled na softwarové nástroje v oblasti krizového řízení a ochrany obyvatelstva byla udělána komparace použitých programů a vytvořena SWOT analýza.

V závěru jsou uvedena doporučení pro zlepšení efektivity používání těchto programů v zájmové oblasti. Jedním z nich je výběr správného programu, což není vždy jednoduché, je tedy nutné se zaměřit na primární faktory, které chceme v simulaci zohlednit.

Klíčová slova

Mimořádná událost, únik nebezpečné chemické látky, požár, povodeň, softwarové nástroje, SWOT analýza.

Abstract

Submitted thesis deals with the analysis and comparison of software tools used for modelling emergency events.

For better orientation in this particular area is the first part of the thesis focused on brief description of the problem and description of mainly occurring emergency events in the Czech Republic such as floods, leakage of dangerous chemical and fires. Geographical information system, which is part of the software support is also mentioned.

Main focus of this theses lies on the analysis of selected software tools which can be obtained at today's market, whether they are commercial or freely available programmes focusing on modelling previously mentioned emergency events. Then a model of flooding on river Morava in Otrokovice, leakage of dangerous chemical from DEZA a. s. factory in Valašské Meziříčí and a fire in closed room are simulated for the purpose of this thesis. Comparison of used programs and SWOT analysis were created for a comprehensive view of software tools in the area of crisis management and protection of population.

At the end of the thesis there are recommendations that can help improve the efficiency in use of these programmes in the area of interest. One of these is the choice of correct programme, which is not always easy, therefore it is necessary to focus on primary factors that needs to be taken into account in these types of simulation.

Keywords

Emergency Event, Leakage of Dangerous Chemical Substance, Fire, Flood, Software Tools, SWOT Analysis.

Obsah

1	Úvod	9
2	Současný stav	10
2.1	Primární charakteristika problematiky	10
2.2	Povodně	16
2.2.1	Vymezení povodní.....	16
2.2.2	Vybrané povodně na území České republiky od roku 2000.....	19
2.3	Požáry.....	20
2.4	Únik nebezpečné chemické látky	22
2.5	Softwarová podpora krizového řízení.....	24
2.5.1	Geografický informační systém	24
2.5.2	Softwarové nástroje určené pro modelování povodní	26
2.5.3	Softwarové nástroje určené pro modelování mimořádných událostí s únikem nebezpečné chemické látky.....	33
2.5.4	Softwarové nástroje určené pro modelování požáru	40
3	Cíl práce a hypotézy	44
3.1	Stanovené hypotézy	44
4	Metodika	45
4.1	SWOT analýza.....	46
5	Výsledky.....	48
5.1	Modelace scénáře mimořádné události spojené s povodní.....	48
5.2	Modelace scénáře mimořádné události spojené s únikem nebezpečné chemické látky	54
5.3	Modelace scénáře mimořádné události spojené s požárem	60

5.4	SWOT analýza softwarových nástrojů	61
6	Diskuze	68
7	Závěr	73
8	Seznam použitých zkratk.....	74
9	Seznam použité literatury.....	75
10	Seznam použitých obrázků	83
11	Seznam grafů	84
12	Seznam použitých tabulek.....	85
13	Seznam příloh.....	86

1 ÚVOD

Den co den už od nepaměti je lidstvo svědkem různých mimořádných událostí a krizových situací, ať už se jedná o pohromy přírodního nebo antropogenního charakteru. Své místo zde zauímají požáry, povodně, dopravní nehody, průmyslové havárie nebo terorismus. Všechny tyto události mají jedno společné a to, že ohrožují životy a zdraví obyvatel, dále ničí nebo způsobují rozsáhlé škody na jejich majetku a v neposlední řadě mají neblahý dopad na životní prostředí.

Nelze předvídat, kdy a v jakém rozsahu dojde k některé z výše jmenovaných mimořádných událostí, ale lze se za pomoci predikce a prevence na tyto události připravit, aby byly v co největším rozsahu eliminovány ztráty. K tomu mohou přispět i softwarové nástroje, kterým je tato diplomová práce věnována.

Tato práce si předkládá za cíl analyzovat a porovnat vybrané softwarové nástroje a jejich význam při přípravě na mimořádné události. Pomocí softwarového nástroje POSIM a GEOSPAT nasimulovat povodeň. Na modelaci úniku nebezpečné chemické látky využít program Aloha a TerEx a na mimořádnou událost typu požár bude použit program BRANZFIRE. Následně bude vytvořena SWOT analýza. Závěr práce budou tvořit doporučení, která by měla zlepšit efektivitu používání softwarových nástrojů v oblasti krizového řízení a ochrany obyvatelstva.

2 SOUČASNÝ STAV

Základním stavebním kamenem každého demokratického státu by mělo být zajištění lidských práv a svobod, bezpečnosti občanů, ochrana jejich životů, zdraví a majetku. Přesto je člověk jako takový dennodenně vystaven nečekaným mimořádným událostem, jako jsou extrémní projevy počasí a pohromy naturogenního nebo antropogenního charakteru, které mohou mít dopad kupříkladu na ekonomiku země, narušení kritické infrastruktury, zásobování pitnou vodou nebo surovinami.

2.1 Primární charakteristika problematiky

Pro lepší pochopení dané problematiky je nezbytné vymezit a charakterizovat základní pojmy, mezi které patří: mimořádná událost, krizová situace, integrovaný záchranný systém, krizové řízení, analýza rizik a další.

Mimořádná událost

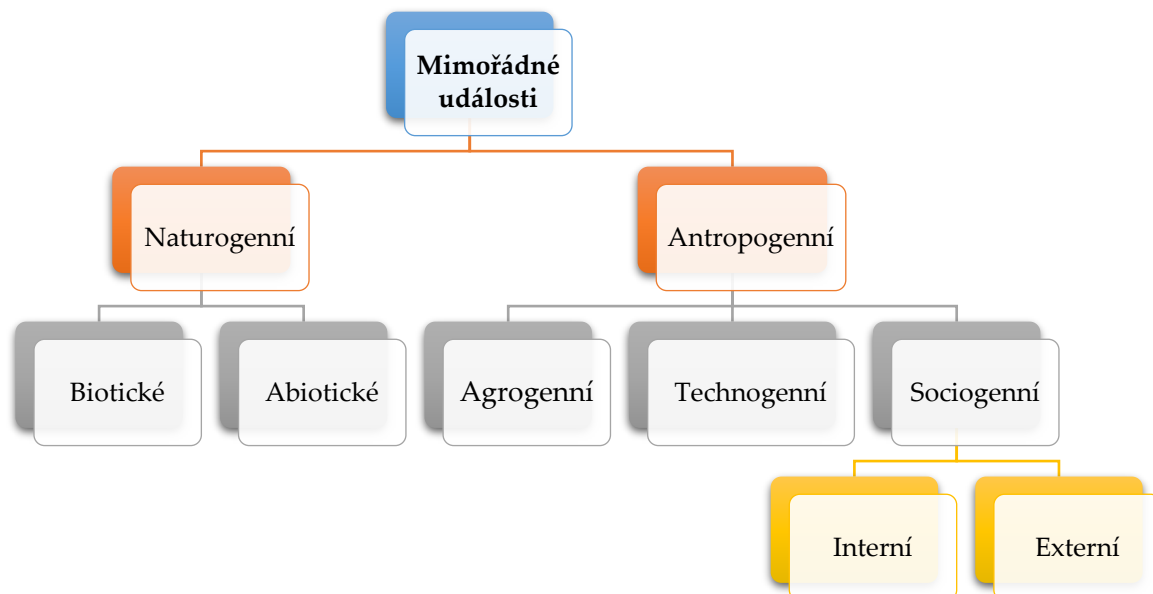
Mimořádná událost je definována v zákoně č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů.

„Mimořádnou událostí se rozumí škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.“ [1]

Lze tedy říci, že mimořádnou událost jako takovou je možno vyřešit obvyklým způsobem, tedy není potřeba vyhlášení některého z krizových stavů (stav nebezpečí, nouzový stav, stav ohrožení státu, válečný stav). Často se ale stává, že mimořádná událost přeroste v krizovou situaci, jelikož vyčleněné síly a prostředky nejsou schopny vzniklou situaci standardně překonat a k jejímu zdolání je zapotřebí vyhlášení krizového stavu.

Mimořádné události (dále jen „MU“) lze diferencovat na naturogenní a antropogenní. **Naturogenní** mimořádné události se dále člení na abiotické a biotické. Abiotické MU jsou takové, které zapříčiní neživá příroda, např. povodně, požáry, sopečnou činnost, zemětřesení, sesuvy půdy, atmosférické poruchy. Biotické MU jsou zapříčiněny živou přírodou např. hromadné nákazy (epidemie, epifytie, epizootie), abnormální vymírání druhů, přemnožení škůdců, parazitů, biologické a genové manipulace. [2,5]

Antropogenní mimořádné události, které jsou způsobené činností člověka, lze dále rozdělit na technogenní MU, sociogenní MU interní, sociogenní MU externí a agrogenní MU. O technogenních MU mluvíme v souvislosti s provozními haváriemi nebo havárie spjaté s infrastrukturou, jako je chemická havárie, radiační havárie, ropné havárie, technické havárie, technologické havárie, havárie v dopravě s únikem nebezpečné chemické látky, velké železniční, letecké havárie, znečištění životního prostředí rozsáhlými haváriemi, aj. Sociogenními MU interními se rozumí: vnitrostátní společenské a ekonomické krize. Příkladem je narušení dodávek tepla, plynu, energické energie; narušení dodávek vody a potravin; narušení dodávek léčiv; narušení funkčnosti informačních systémů a komunikačních vazeb; poškození systémů varování a vyrozumění, závažné narušení veřejného pořádku, zhroucení ekonomiky státu, migrační vlny, hrozba terorismu, narušení demokratických základů státu, aj. Dále je zapotřebí zmínit sociogenní MU externí, kde se jedná především o vojenské krizové situace, rozsáhlé ekologické havárie přesahující hranice státu, sankce hospodářského charakteru, aj. Poslední podskupinou antropogenních MU jsou agrogenní MU, které jsou spjaté s půdou a zemědělstvím, jako je kontaminace půdy, eroze půdy, poškození půdního fondu, kontaminace vodních zdrojů apod. [2,5]



Obrázek 1 Základní dělení mimořádných událostí [5]

Krizová situace

Dalším specifickým pojmem je **krizová situace**, která je definována v tzv. krizovém zákoně, což je zákon č. 240/2000Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů, a to jako: mimořádná událost podle zákona o integrovaném záchranném systému, narušení kritické infrastruktury nebo jiné nebezpečí, které je třeba řešit vyhlášením krizového stavu. Krizové situace (dále jen „KS“) lze rozdělit na nevojenské a vojenské. Zdrojem vzniku nevojenské krizové situace může být průmyslová havárie velkého rozsahu, ekologická katastrofa, živelní pohroma, hromadné nákazy, kolaps chodu hospodářství, kolaps zásobování nezbytnými produkty, migrační vlny velkého rozsahu, klíčové narušení veřejného pořádku a jiné hrozby. Vojenská krizová situace se bezprostředně vztahuje k obraně státu, k násilnému ohrožení demokracie, svrchovanosti a územní celistvosti. K úspěšnému zvládnutí krizových situací je nezbytné přijmout krizová opatření a vyhlásit některý z krizových stavů, jelikož každodenní činnost složek integrovaného záchranného systému a orgánů státní správy a samosprávy nestačí. [1,3]

Integrovaný záchranný systém

Za účelem přípravy na MU či KS a efektivního způsobu práce při jejich řešení byl vytvořen **Integrovaný záchranný systém** (dále jen „IZS“), o kterém pojednává zákon o integrovaném záchranném systému. Jedná se tedy o koordinovaný postup jeho základních a ostatních složek při přípravě na mimořádné události a při provádění záchranných a likvidačních prací (dále jen ZaLP). IZS je tedy institucionální garance vnitřní bezpečnosti státu, kde primárně poskytuje pomoc občanům v případě ohrožení jejich zdraví, životů a majetku. [1,4]

Páteř systému tvoří základní složky, kam patří Hasičský záchranný sbor České republiky (dále jen „HZS ČR“) a jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí kraje jednotkami požární ochrany, Policie České republiky a poskytovatelé Zdravotnické záchranné služby České republiky. Mezi stěžejní funkce základních složek lze považovat zabezpečení nepřetržité pohotovosti, okamžitý zásah v místě MU a samozřejmě vyhodnocení MU. [1,4]

Dále významnou roli hrají ostatní složky IZS, které poskytují plánovanou pomoc na vyžádání, a to v případech, kde základní složky nejsou schopny zajistit ZaLP na místě MU, ať už kvůli absenci personálu, materiálních, odborných, kompetenčních nebo jiných důvodů. Ostatními složkami jsou vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil, ostatní ozbrojené bezpečnostní a záchranné sbory, orgány ochrany veřejného zdraví, odborné služby, pohotovostní služby, havarijní služby, zařízení civilní ochrany, neziskové organizace a sdružení občanů. [1,4]

Krizové řízení

Problematika krizového řízení hraje důležitou roli v oblasti trvale udržitelného rozvoje společnosti, organizace, území a státu, jelikož se jedná o strategickou, koncepční a praktickou přípravu s cílem předcházet vzniku KS a v případě, že KS nastane, tak ji adekvátně zdolat, a později vyhodnotit. K tomu jsou určeny orgány krizového řízení, složky IZS a další související subjekty. [11]

Slovem krizového zákona „se krizovým řízením rozumí souhrn řídicích činností orgánů krizového řízení zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik a plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s přípravou na krizové situace a jejich řešení nebo s ochranou kritické infrastruktury.“ [1]

Rozlišují se čtyři fáze krizového řízení:

- **Fáze prevence** klade důraz na zabránění vzniku MU nebo KS, a jestliže taková situace nastane, tak se snaží omezit následky na co nejnižší míru.
- **Fáze připravenosti**, která je zabezpečována primárně po organizační stránce, technické stránce a odborné způsobilosti.
- **Fáze odezvy** se skládá ze souboru činností, které napomáhají zvládnutí MU nebo KS, kde se klade důraz především na záchranné a likvidační práce.
- **Fáze obnovy** se snaží o co nejrychlejší obnovu zasaženého území.

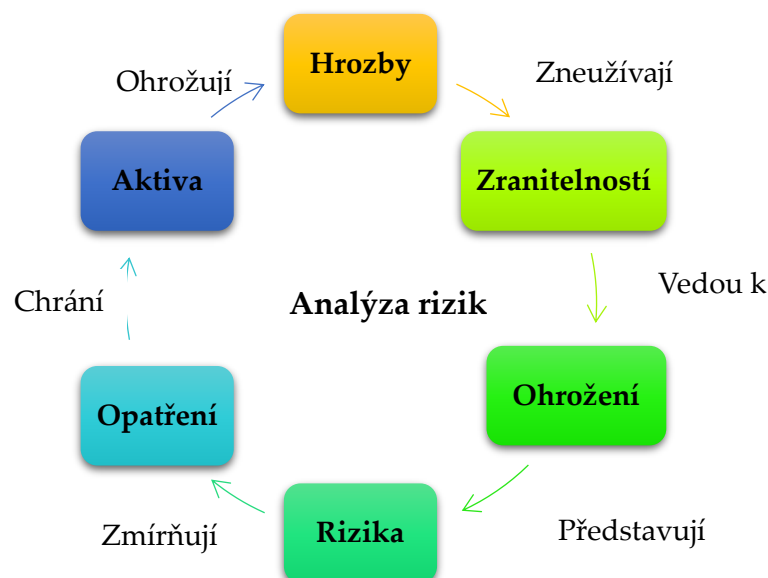
Orgány krizového řízení, jsou subjekty, jež mají rozhodující pravomoci v rámci krizového řízení a jsou jimi vláda, ministerstva a jiné ústřední správní orgány, Česká národní banka, orgány kraje a další orgány s působností na území kraje, orgány obce s rozšířenou působností a v neposlední řadě orgány obcí. [11]

Krizové plánování

Krizové plánování lze chápat jako ucelený komplex postupů, metod a opatření, které orgány krizového řízení a určené subjekty uplatňují při předcházení, přípravě a odezvě na činnosti za KS. Pokládá si za cíl připravit organizaci na zvládnutí KS a uvedení procesů do standardního stavu, který byl před vznikem KS. Zásadní roli zde hraje krizový plán, což je plánovací dokument, který zahrnuje krizová opatření a souhrn postupů ke zvládnutí krizových situací. Dalšími plány jsou - plán krizové připravenosti, havarijní plány územní a objektové.[15, 11]

Analýza a hodnocení rizik

Analýzu rizik lze definovat jako metodický nástroj, jenž má za úkol identifikovat hrozby a zranitelnosti, stanovovat případná rizika, jejich závažnost a odhad důsledků a dopadů, které mohou negativně působit na zdraví, život nebo majetek občanů, a také na životní prostředí. V průběhu procesu analýzy rizik lze získat odpovědi na otázky: Co se může stát? Proč se to může stát? Kde se to může stát? Jaká je pravděpodobnost, že se to stane? Jaké následky můžou nastat? Koho se to bude týkat? [19,20]



Obrázek 2 Analýza rizik [59]

Na základě analýzy rizik se provádí hodnocení rizik, což je proces, který vytváří úsudek o přijatelnosti rizika na základě ověřených, pravdivých a konkrétních informací, vztahující se k určité havárii, živelné pohromě, apod. Hlavním cílem je minimalizace rizika. Při hodnocení rizik se používají kvantitativní nebo kvalitativní metody, přičemž někdy dochází k jejich kombinaci. Mezi nejpoužívanější metody patří: Check List, What – If Analysis, Even Tree Analysis, Fault Tree Analysis nebo Hazard Operation Process. [18]

2.2 Povodně

V oblasti naturogenních mimořádných událostí, které mnohdy přerostou v krizovou situaci, představují povodně největší nebezpečí pro Českou republiku. Od půlky 90. let se povodně na našem území vyskytly jak v lokálním měřítku, tak ve velkém rozsahu, kdy byly postiženy stovky obcí, majetkové škody se vyšplhaly do miliard a některým lidem vzaly to nejcennější - jejich život. Na základě ničivých povodní v roce 1997 byla vypracována Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky, dále byl přijat nový vodní zákon a v roce 2015 byly zpracovány Plány pro zvládání povodňových rizik v povodí Dunaje, Labe a Odry. [5,21]

2.2.1 Vymezení povodní

Povodněmi se dle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) rozumí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda už zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Dále lze říci, že za povodeň se považuje i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat, její odtok je nedostačující nebo dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod. [6]

Členění povodní

- **Přírozené povodně** – způsobené přírodními jevy (tání sněhu, chod ledů, dlouhodobé dešťové srážky, přívalové dešťové srážky). Dle ročních období je možno dělit na jarní, letní nebo zimní.
- **Zvláštní povodeň** – způsobené nouzovým řešením kritické situace na vodním díle, protržením vodního díla nebo poruchou vodního díla. Tento druh povodní zpravidla bývá ovlivněn činností člověka, ať už úmyslně nebo neúmyslně. [7]

Zvláštním typem jsou tzv. **Bleskové povodně**, které nastávají v důsledku krátkodobých srážek o velké intenzitě. [8]

Intenzita povodní se vyjadřuje tzv. N-letou vodou (Q_N), což je statistický údaj, který určuje, s jakou dobou interakce se může povodeň o jisté velikosti v průměru vyskytnout. Je vyjadřována jednoletou, dvouletou, pětiletou, desetiletou, dvacetiletou až po tisíciletou vodu. [9]

Povodňové riziko

Nejčastěji je vyjádřeno kombinací pravděpodobnosti výskytu povodní a jejich nežádoucích účinků. Hodnocení povodňového rizika se realizuje pomocí tzv. metody matice rizika, která povodňové riziko znázorňuje pomocí škálování. Tato metoda má tři základní kroky, nejprve se vypočítá intenzita povodně, poté se stanoví povodňové ohrožení a nakonec se určí plochy s nepřijatelným rizikem. [7,14]

Povodňové nebezpečí

Lze říci, že je to stav, který má potenciál napáchat ničivé účinky masou vody v záplavovém území. Míra povodňového nebezpečí se vyjadřuje stupni povodňové aktivity, které jsou stanoveny na základě limitů z vodních stavů nebo z průtoků v hlásných profilech na vodních tocích, eventuálně na hraničních limitech sledovaných na vodním díle.[7]

Rozlišujeme 3 stupně povodňové aktivity:

- **Stav bdělosti** neboli první stupeň povodňové aktivity, který nastává, jestliže hrozí nebezpečí povodně, ale voda zůstává nadále v korytu vodního toku a nedochází k rozlivům. Předpovodní povodňová služba vydává výstražné informace a rovněž se zahajuje činnost hlídkové a hlásné služby. Tento stav zaniká ve chvíli, kdy pomine zdroj nebezpečí.
- **Stav pohotovosti**, rovněž znám pod označením druhý stupeň povodňové aktivity, je vyhlášen, jestliže nebezpečí povodně přeroste ve skutečnou povodeň, ačkoli nedochází k velkým rozlivům v krajině. V této fázi se aktivují povodňové orgány a provádějí se opatření dle příslušného povodňového plánu. Vyhláší se i na vodním díle, jestliže dojde k překročení mezních limitů sledovaných jevů.
- **Stav ohrožení**, jinak řečeno třetí stupeň povodňové aktivity, je vyhlášen při neodvratném nebezpečí a vzniku výraznějších škod, popřípadě jestliže dojde k ohrožení životů nebo statků v záplavovém území. V této fázi se realizují povodňové zabezpečovací práce, které jsou vymezeny v povodňových plánech, následně dle potřeby probíhají záchranné práce, případně evakuace. Bývá vyhlášen i na vodním díle, pokud jsou sledované limity kritické a dochází k aktivaci nouzových opatření. [7,10]

2.2.2 Vybrané povodně na území České republiky od roku 2000

V následující tabulce je sumarizace vybraných povodní, které se udály na území České republiky od roku 2000, kdy byly přijata opatření ke zvládnutí povodní po zkušenostech z Moravy roku 1997. Příkladem je přijetí tzv. balíčku krizové legislativy.

Tabulka 1 Povodně od roku 2000 v číslech [22,23,24]

Měsíc a rok	Zasažené území	Povodí řek	Nejvyšší dosažený průtok	Ztráty na lidských životech	Vyčíslené škody
Srpen 2002	753 obcí	Vltava, Labe	5160 m ³ .s ⁻¹ (Praha-Chuchle)	19 obětí	73,3 mld. Kč
Březen a duben 2006	799 obcí	Vltava, Labe, Odra, Morava, Dyje	2740 m ³ .s ⁻¹ (Hřensko)	9 obětí	5,6 mld. Kč
Květen a červen 2010	351 obcí	Morava, Odra	1070 m ³ .s ⁻¹ (Bohumín)	3 obětí	5,2 mld. Kč
Červen 2013	Přibližně 1400 obcí	Vltava, Labe	3740 m ³ .s ⁻¹ (Děčín)	15 obětí	15,4 mld. Kč

Z tabulky lze například vyčíst, že povodně v roce 2002 způsobily největší materiální škody a také si vyžádaly nejvíce lidských životů, nebo povodně v roce 2013 zasáhly bezmála 1400 obcí. V neposlední řadě je nutno dodat, že i když se systém povodňové ochrany za poslední roky vyvíjí stále kupředu, pořád jde jen o zmírnění dopadů, jelikož ochrana před povodněmi pravděpodobně nikdy nebude absolutní. Povodně tady vždy byly a budou.

2.3 Požáry

Oheň, jako jeden z primárních poznatků lidstva, zásadně ovlivnil jeho vývoj, neboť sloužil a nadále slouží jako zprostředkovatel tepla, světla, na přípravu jídla, odlesňování aj. Postupem času lidé zjišťovali, že: „*Oheň je dobrý sluha, ale zlý pán.*“

Hoření je základní dynamický proces při požáru, který je doprovázen chemicko-fyzikálními ději za vzniku exotermických reakcí, kde jsou zapotřebí tři komponenty, a to oxidační činidlo, hořlavá látka a iniciační zdroj. Lze tedy říci, že požár je neohraničené a nekontrolovatelné hoření, jak v prostoru, tak v čase. [25]

Vyhláška č. 246/2001 Sb., o požární prevenci pojednává o požáru jako o každém nežádoucím hoření, při němž došlo ke zranění nebo usmrcení osob či zvířat, vznikly škody na majetku či životním prostředí. O požáru se také hovoří, jestliže dojde k bezprostřednímu ohrožení osob, zvířat, majetku a životního prostředí. [26]

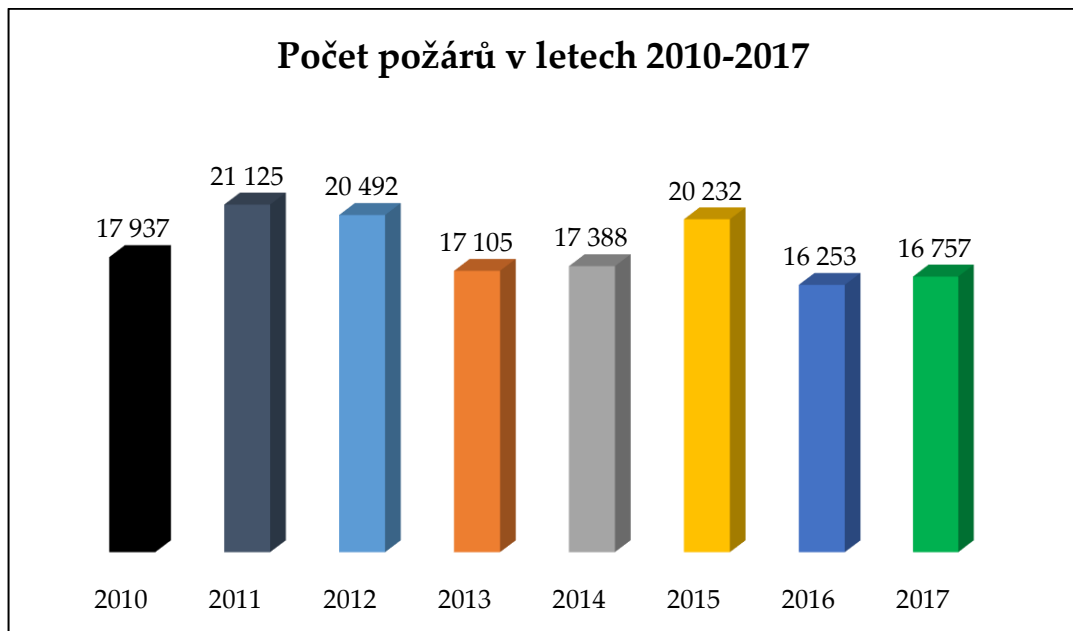
Požáry lze rozdělit do několika skupin dle různých kritérií, která mají charakteristický vliv na jeho průběh.

Dělí se podle:

- **hořících látek** - požáry pevných látek, hořlavých kapalin, plynů nebo kombinované,
- **možnosti šíření** – rozšiřující se nebo nerozšiřující se požáry,
- **rozsahu** – malé, střední, velké, katastrofické požáry,
- **zjistitelnosti** – otevřené nebo skryté,
- **doby trvání** – krátkodobé, střednědobé, dlouhodobé,
- **polohy** – nadzemní, přízemní nebo podzemní požáry,
- **výměny plynů v místě hoření** – otevřené nebo ohraničené. [25]

Dle statistické ročenky 2017, kterou vydalo Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky (dále jen „MV-GŘ HZS ČR“), vzniklo v roce 2017 na území České republiky 16 757 požárů, což je v průměru 47 požárů denně. V následující tabulce lze vidět proměnlivost počtu požárů za posledních 8 let.

Graf 1 Požáry v letech 2010-2017 [27]



Bylo zjištěno, že požáry nejčastěji vznikají v domácnostech občanů, ve veřejných a osobních službách, zemědělství nebo v dopravě. Mezi hlavní příčiny vzniku požáru patří nedbalost (např. kouření, vypalování, zakládání ohně, vznícení potravin při vaření, nedodržování bezpečnostních předpisů), technické závady, komíny, neprokázané zavinění nebo žhářství. Nejpočetnější zastoupení (přibližně 50 %) dle místa vzniku mají volné plochy (louky, lesy, aj.), dále budovy a stavby (cca 35 %) a zbytek tvoří požáry dopravních prostředků (cca 15 %). Každopádně přímé škody jsou mnohonásobně vyšší na budovách a stavbách, než u volných ploch nebo na dopravních prostředcích. Co se týče usmrcení osob, tak nejvíce jich zahyne právě v objektech, zejména z důvodů nadýchání kouře a následnému upadnutí do bezvědomí, dále pak v souvislosti s jiným zraněním nebo absencí únikové cesty. [27]

Požáry se vyskytují den co den a způsobují újmu na zdraví osob, jejich majetku a také na životním prostředí. Nelze jim úplně zabránit, ale je zapotřebí, dodržovat jisté postupy a zásady, aby došlo k jejich eliminaci výskytu i rozsahu.

2.4 Únik nebezpečné chemické látky

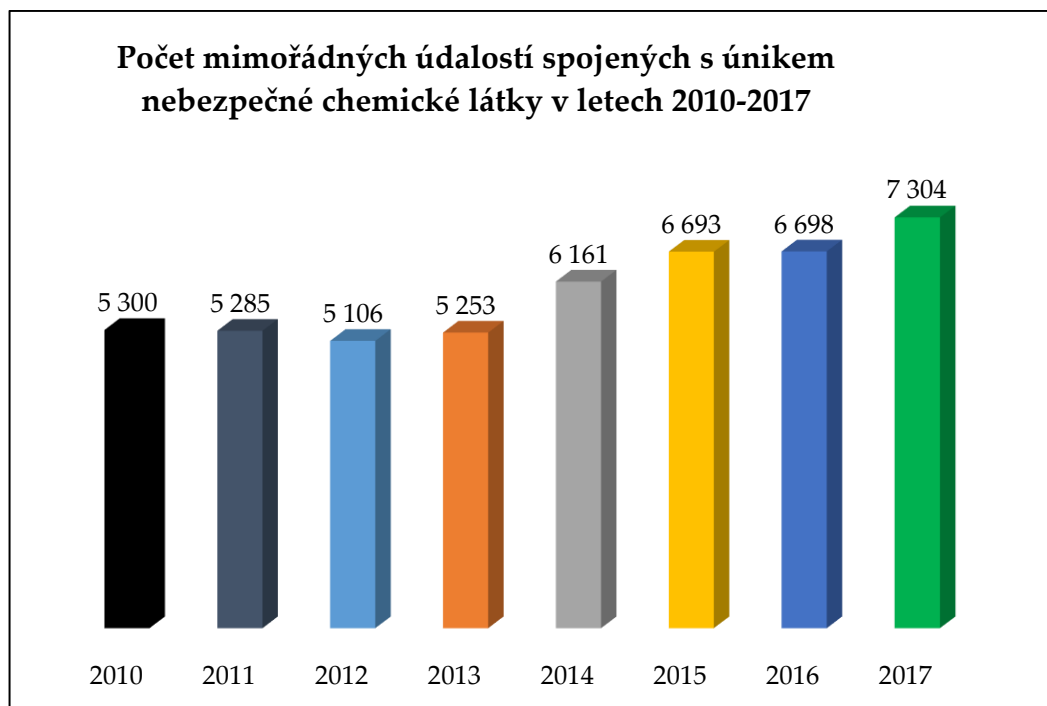
Člověk jako takový se setkává každý den s nebezpečnými chemickými látkami, aniž by si to uvědomoval. Nejen v chemickém průmyslu, ale třeba i v potravinářském průmyslu, farmacii, zemědělství, na zimních stadionech nebo bazénech. Každá nebezpečná chemická látka má specifické vlastnosti, jako je toxicita, hořlavost, výbušnost, žíravost, karcinogenní účinky, mutagenní účinky, zdraví škodlivé účinky atd. O těchto látkách pojednává chemický zákon (zákon č. 350/2011 Sb.), kde charakterizuje povinnosti při jejich používání, výrobě, balení, klasifikaci, označování, vývozu, dovozu aj. Mezi základní látky, které mají potenciál hrozby, patří pohonné hmoty (nafta, benzín, LPG), chlór, amoniak, fosgen, propan-butan. [27,34,35]

Únik nebezpečné chemické látky (dále jen „NCHL“) se řadí mezi často vyskytující se mimořádné události. Zákon o prevenci závažných havárií (zákon č. 224/2015 Sb.) vymezuje závažnou havárii, kam patří i únik nebezpečné chemické látky, jako mimořádnou, částečně nebo úplně neovladatelnou událost. Zároveň je ohraničená jak prostorově tak časově a vždy je přítomná jedna nebo více NCHL. Vzniká ze stacionárních zdrojů, kde je NCHL skladována, vyráběná, zpracovávána nebo používána. Dále k úniku může dojít z mobilního zdroje, což jsou dopravní prostředky. Může mít za následek závažné ohrožení životů a zdraví osob či zvířat, znečištění životního prostředí nebo majetkové ztráty. Mezi příčiny vzniku úniku patří selhání lidského faktoru, domino efekt, přírodní vlivy, poruchy zařízení, koroze, sabotáž, prasknutí nádrže, nehoda cisterny převážející chemikálii aj. [34,35]

Důležitou roli zde hraje prevence závažných havárií, kterou lze vymezit jako systém zaměřený na eliminaci pravděpodobnosti vzniku průmyslových havárií, v důsledku přítomnosti NCHL a závažnosti jejich účinků na zdraví a životy osob i zvířat, taktéž na životní prostředí a na majetek. Skládá se z organizačních, bezpečnostních, technických, ekonomických a dalších opatření, které mají za cíl předcházet vzniku havárie a vytvářet podmínky pro dosažení havarijní připravenosti. Prevenci závažných havárií na celostátní úrovni zastřešuje Ministerstvo životního prostředí. [16,35]

V následujícím grafu jsou zpracovány údaje ze statistických ročenek vydaných MV-GŘ HZS ČR vztahující se k únikům NCHL na území České republiky od roku 2010 do roku 2017. Jsou zde zahrnuty i pohonné hmoty, které unikly v důsledku dopravních nehod. Lze konstatovat, že k nehodám či haváriím spojeným s únikem bude nadále docházet, a je zřejmé, že se bude navyšovat i jejich četnost, a to z důvodu navyšování výroby a používání NCHL.

Graf 2 Úniky nebezpečných chemických látek v letech 2010-2017 [27]



2.5 Softwarová podpora krizového řízení

V krizovém řízení se používá mnoho softwarových nástrojů, které dovedou spolehlivě simulovat mimořádné události různého charakteru. V současné době jich je k dispozici nepřehledné množství, jen je třeba pečlivě zvážit vhodnost softwaru pro konkrétní potřeby modelování a vybrat ten nejvhodnější. Většina programů je komerčních a pohybují se v různých cenových relacích, ale existují i takové, které lze sehnat v tzv. free verzi.

Tyto programy jsou založené na matematických modelech, jež nám dovedou, po zadání vstupních hodnot, vypočítat, jakým směrem a jak rychle se bude požár, nebezpečná chemická látka, voda aj. šířit. Zároveň výpočty převedou do grafické nebo textové formy, které nám znázorní, jak velká oblast bude zasažena.

Na simulace mimořádných události se klade stále větší důraz, protože dokáží předvídat jejich rozsah a tím mohou pomoci k efektivnějšímu řešení. Využívají se především v oblasti predikce a prevence.

Nyní bude zmíněn geografický informační systém jako nedílná součást softwarové podpory a následně budou charakterizovány vybrané softwarové nástroje pro simulaci povodní, pro modelování úniku nebezpečných chemických látek a nakonec pro modelaci požárů.

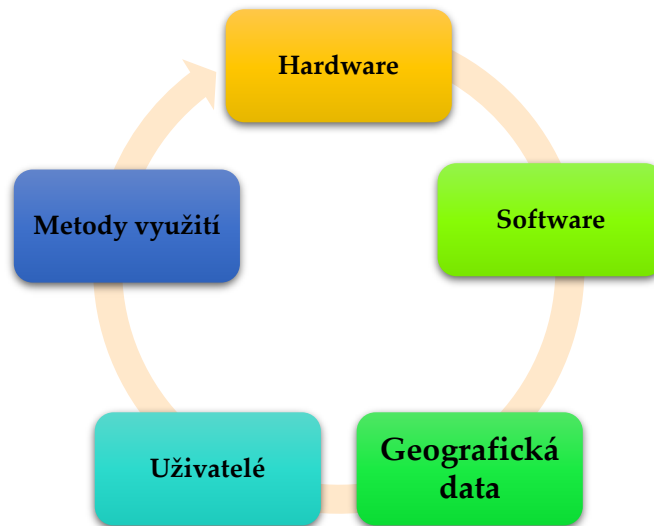
2.5.1 Geografický informační systém

Geografický informační systém (dále jen „GIS“) je systém, který pracuje s prostorovými daty a je navržený zejména pro efektivní získávání, upravování, analyzování, modelování, ukládání, obhospodařování a vizualizaci veškerých forem geografických informací. Klíčovou roli zde hrají prostorové informace, jež jsou data, která mají určitou spojitost s povrchem Země a pomáhají určit vztah objektu k jinému objektu. Typickým příkladem jsou řeky, silnice, města,

hory, státy, budovy aj. Další složkou jsou tzv. data atributová, jinými slovy data popisná, které postrádají prostorovou složku, ale pro práci v GIS jsou podstatná, např. průtoky řek, počty obyvatel, teploty, srážky, názvy ulic. [36]

GIS jako takový se skládá z komponentů, mezi které patří:

- **Hardware** – počítače, tiskárny, skenery, servery aj.
- **Software** – počítačové programy, aplikace.
- **Geografická data:**
 - Rastrová data se vyznačují souborem pixelů o striktně vymezeném počtu. Primárně se využívají pro tvorbu 3D modelů území nebo pro prostorové analýzy. Získávají se z leteckého snímkování, družicových snímků dálkového průzkumu nebo naskenováním papírových map.
 - Vektorová data jsou tvořena pomocí bodů, čar a polygonů, které jsou vymezeny souřadnicemi x a y. Předností těchto dat je, že umožňují pracovat s jednotlivými objekty a nejsou náročná na paměť. Získávají se měřením v terénu, laserovým skenováním nebo z databází obsahující geodata.
- **Uživatelé** – GIS zaujímá široké pole působnosti, od státní správy a samosprávy až po soukromý sektor.
- **Metody využití** – Zde se jedná např. o komplexní analýzy - vymezení záplavového území, odhad povodňových škod atd. [17]



Obrázek 3 GIS komponenty

GIS má dva typy výstupů, a to analogové výstupy, kde patří globy, tištěné mapy a plány. Druhým typem jsou digitální výstupy, které se shodují s analogovými, v tom rozdílu, že mapy a modely jsou zobrazovány pomocí GPS navigace, monitoru počítače, mobilu atd. Oba výše zmíněné výstupy mají své pozitiva i negativa. Digitální verze umožňuje podrobnější informace nebo změnu měřítka na rozdíl od analogového. Proti tomu použití analogových výstupů lze využít při komplexním pohledu na zájmové území v určitém měřítku. [17]

2.5.2 Softwarové nástroje určené pro modelování povodní

V dnešní době pro potřeby odborníků zabývajících se problematikou tzv. velké vody je vyvinuto početné množství programů, ať už na povodně přírodního charakteru, nebo na zvláštní povodně týkající se destrukce vodního díla. Primárním požadavkem uživatele těchto softwarů je stanovení velikosti záplavového území, aby mohla být provedena nezbytná opatření k úspěšnému zvládnutí povodní v zasažené oblasti. Z toho vyplývá, že prostřednictvím těchto programů lze vytvářet povodňové plány.

MIKE FLOOD

MIKE FLOOD je dánská sada nástrojů, která se skládá z MIKE HYDRO, MIKE URBAN a MIKE 21 a slouží pro modelaci jakýchkoli povodňových problémů. Program zvládne vymodelovat přirozené povodně, destrukci vodního díla, výměny vody mezi kanály a mezi vodními plochami nebo modelaci vlnobití v pobřežní zóně. [28]

Využívá se především pro predikci povodní, zmírnění nastalých povodní a jejich zvládnutí, řešení protipovodňové ochrany, plánování evakuačních tras a prioritních záchranných činností. Dále umožňuje vytvářet analýzu rizik a mapování povodňových rizik v mnoha oblastech, ať už se jedná o obytné části, kulturní dědictví nebo průmyslové oblasti. V neposlední řadě hodnotí klimatické změny a zabývá se destrukcí vodního díla. Výstupy z programu se integrují do GIS, kde se vytvoří mapa se záplavovým územím. [28]

Americká agentura Federal Emergency Management Agency spadající pod Ministerstvo vnitřní bezpečnosti používá program MIKE FLOOD, který byl zahrnut mezi nástroje, které je možné použít jako národní pojišťovací nástroje při povodních. Používá se tedy k vytváření aplikací, jež obsahuje analýzu rizik a další. Tento program je distribuován po celém světě a v současné době jej využívá přes 30 zemí, kam patří např. Česká republika, Argentina, Mexiko, Malajsie, Austrálie, Rakousko, Německo, Brazílie, Kanada, Čína, Bulharsko, Kostarika, Francie, Řecko, Indie, Indonésie, Irán, Itálie, Japonsko, Korea, Slovensko, Jižní Afrika, Slovinsko, Polsko, Švédsko, Velká Británie, USA, Vietnam. [29, 30]

VLNA

VLNA je softwarový nástroj vyvinutý v České republice za účelem vizualizace a analýzy dopadů záplavové vlny při porušení hráze vodního díla. Předností programu je, že dovede stanovit výšku čela záplavové vlny v závislosti na profilu krajiny a vzdálenosti od vodního díla, jenž bylo porušeno, a to ve velmi krátkém čase vzhledem k jednoduchosti použití. Při použití softwaru VLNA lze poměrně včas a spolehlivě predikovat charakter záplav a následně provést nezbytná opatření týkajících se především varování a ochrany obyvatelstva v záplavové zóně. [31]

Pro práci v programu jsou důležité vstupní údaje, jako je: objem nádrže, délka hráze, hloubka nádrže, dále lze zadat čas protržení hráze, nadmořskou výšku terénu, tvar údolí atd. Výstupem jsou výpočty parametrů záplavové vlny, např. výška čela vlny, rychlost čela vlny, vzdálenost profilu od hráze, průtokové množství, doba průchodu vlny aj. Program dále umožňuje vykreslení záplavového území v mapovém podkladu, načež také poskytuje zobrazení 3D modelu. V neposlední řadě vyznačuje objekty, které mohou být zasaženy povodní. [31]

Korektnost výstupních údajů závisí na správnosti vložených dat, výpočtu výšky záplavové vlny ve frakčních profilech a rozsahu uplatnění dynamických jevů záplavové vlny ve skutečném reliéfu krajiny. [31]

Lze tedy konstatovat, že se jedná o lehce ovladatelný nástroj, který lze využívat jak na krajských úřadech na oddělení krizového řízení, tak např. u HZS ČR krajů.

BOSS DAMBRK

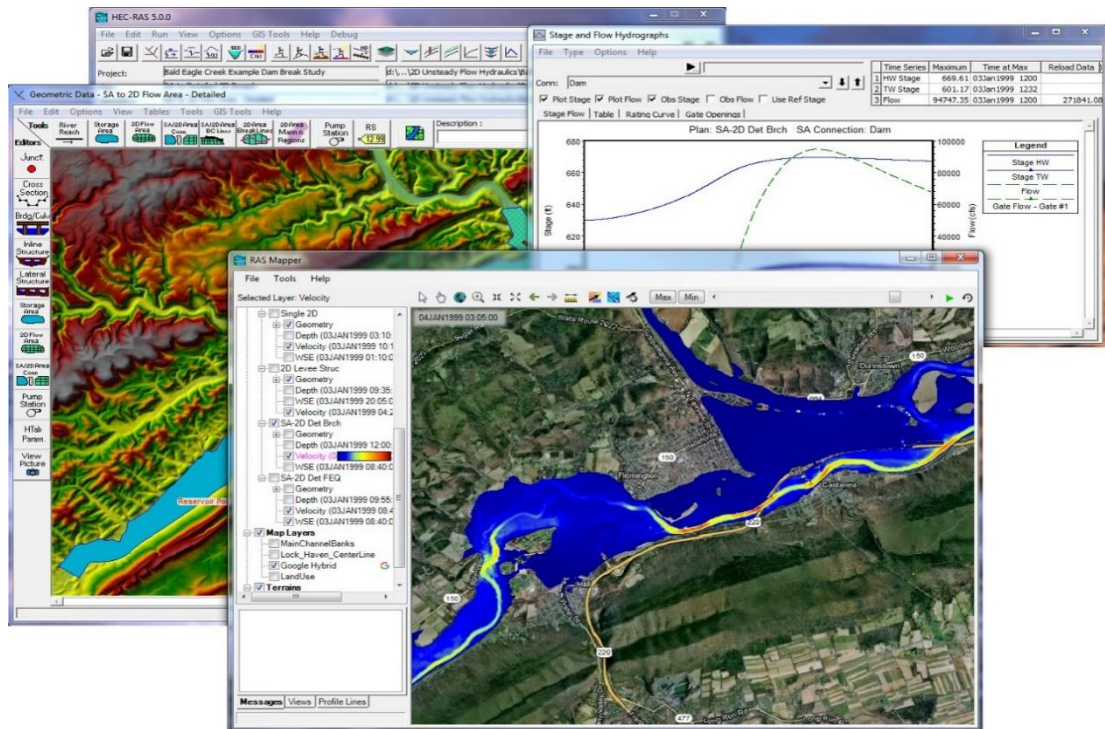
Jedním z nejsofistikovanějších komerčních nástrojů je americký program BOSS DAMBRK, který je využitelný pro sledování a předpovídání rozvoje povodní, modelaci záplavové vlny, která vznikla v důsledku destrukce vodního díla nebo vylitím vody z koryta vodního toku. Lze jej také použít na analýzy vztahujících se k poruchám hrází a mostů, akumulčních efektů aj. Výstupem programu jsou 2D nebo 3D grafy. [37,41]

Dle výrobce je velmi snadné se s tímto softwarem naučit pracovat a používat jej v běžné praxi. Program disponuje vlastní odbornou dokumentací, která slouží k vytvoření požadovaného modelu, nicméně lze také data importovat z existujících databází. Umožňuje zobrazit více než třicet odlišných grafů pojímajících nastín počátečního stavu, nákres čar odtoků a jejich souhrn, mapu záplavového území nebo 3D vyobrazení koryta řeky. Při tvorbě grafů lze použít i starší analýzy, které se navrství na současné, a tak lze srovnat výsledky, např. stav hladiny v době povodní. Dále disponuje systémem BOOSS ADVISOR, který slouží ke kontrole vstupních dat, zda jsou správně zadány nebo dokáže upozornit na chybu v průběhu vytváření modelace. Z toho plyne, že je možné relativně rychle dosáhnout požadovaných korektních výstupů, jako je např. časový průběh záplavové vlny nebo čas kulminace povodně. [37,41]

HEC-RAS

Integrovaný softwarový nástroj, který byl vyvinut americkou armádou jako součást projektu „Next Generation“ hydrologického inženýrského programu. Byl vytvořen pro jednorozměrné hydrologické výpočty pro přírodní i umělé vybudované vodní sítě. HEC-RAS umožňuje: vytvářet hydraulické analýzy, 1D a 2D modelaci nestabilních toků, výpočty profilů ustálených vodních toků, výpočty pohybu splavenin a sedimentů, analýzu povodňových škod.

Výstupy z HEC-RAS lze vykreslit v mapovém podkladu a lze si tento program stáhnout ve free verzi. [37,38]



Obrázek 4 Pracovní okna HEC-RAS [38]

HYDROCHECK

Český program Hydrocheck byl vyvíjen od roku 1990 firmou Hydrossoft Veleslavín s. r. o. a o rok později se poprvé dostal na český trh. Tento komerční software se zabývá primárními úkony spojené s ustáleným nerovnoměrným prouděním v otevřených korytech vodních toků. Kromě toho řeší stanovení aktivní zóny, průběhy svislicových rychlostí a jiné úlohy. Nástroj jako takový především využívají čeští vodohospodáři, ale také je hojně využíván na Slovensku. Cílem programu je, aby byl pro uživatele co nejkomfortnější a ušetřil jim čas při výpočtech a zpracování výstupů, dále je zaměřen na českou legislativu, především v situacích, kdy dochází k hodnocení aktivních zón nebo při zpracování výkresových materiálů, kde lze vygenerovat příčné i podélné profily. [39]

Simulátor 3D POVODEŇ

Simulátor 3D povodeň je moderním a atraktivním softwarovým nástrojem, který využívá virtuální realitu k simulaci taktických činností složek IZS při řešení povodní. V tomto herním prostředí je tedy možno nacvičovat provedení řízené evakuace, nasimulování povodní a nasazení sil a prostředků složek IZS, a to vše za skutečných podmínek, kde sedí např. výškové mapy, rozmístění objektů v krajině nebo skutečný rozliv v dané oblasti. [12,13]

Simulátor umožňuje nastavení výšky vodní hladiny a tato změna se neprodleně projeví na odečtu vodočetných latí, které jsou umístěny na toku, a také na vizualizaci rozlivu vody v okolní krajině. Lze tedy upravovat i stupně povodňové aktivity, aby odpovídaly reálné výšce vodní hladiny. Vodočetné latě zobrazují aktuální výšky vodní hladiny v závislosti na stupni povodňové aktivity. Z latí lze dále vyčíst např. souřadnice nebo popis umístění na vodním toku. V aplikaci je možno upravovat změny v prostředí a počasí. Primárně se jedná o nastavení času (den, noc), oblačnosti, povětrnostních podmínek a srážek. Dále je umožněna simulace pohybu osob, vozidel, dislokovat síly a prostředky složek IZS, simulace různých činností, jako je např. pytlování. Jde pracovat i s budovami, kde lze nastavit jejich obsazenost, ale i zobrazit hustotu zalidnění na určitém území. Aplikace tedy napomáhá k upevňování návyků pomocí vizuálních vjemů, dále dává možnost vracet se ke svým rozhodnutím, měnit je, začínat nové situace a komentovat parciální nebo konečné výsledky. Velkou předností simulátoru je jeho jednoduchá forma používání. Po stručném seznámení s programem zvládá uživatel sestavit různé varianty scénářů a nastavit si uživatelské prostředí. Nyní jsou modely terénu udělány jen pro 5 malých obcí – Putin, Libočany, Želiv, Lobodice a Vestec. [12,13]

POSIM

Program POSIM neboli povodňový simulátor byl vyvinut českou firmou T - Soft a. s. a využívá se pro ukázkou, modelaci situací a dopadů dlouhodobých povodní. Software poskytuje dva základní režimy funkce. Jednou z nich je aktuální stav, který znázorňuje situaci na zvoleném výřezu v mapě na základě dat, (což jsou např. stavy a průtoky na měrných profilech) a jsou k dispozici na standardním rozhraní pro zvolené území. Druhá funkce simuluje situace, kde můžeme editovat faktická data a následně vymodelovat na daném profilu průtok, jenž odpovídá vyššímu stupni povodňové aktivity, popř. víceleté vody. Poté lze sledovat dopady, které daný stav způsobí. Výstupy jsou samozřejmě vyobrazeny v mapovém podkladu. [42,43]

GEOSPAT CFD

Komerční softwarový nástroj, který vyvinula firma Geospat. Tento program je zaměřen na simulaci proudění vody v krajině, povodní či záplav. Založen na analýze konečných prvků a matematicko-fyzikálním numerickém řešení proudění kapalin. Tímto softwarovým nástrojem lze vytvořit simulace historických povodní pro celé území České republiky na základě dat z DIBAVOD. Díky GEOSPAT lze nasimulovat, jaký bude mít vliv povodeň na kanalizace, čističky odpadních vod, hydrotechnické stavby nebo různé objekty v zasaženém území. Také je možná simulace reálných rozlivů podle průtoků Českého hydrologického ústavu atd. Výstupy je možno exportovat do Google Earth. [58]

2.5.3 Softwarové nástroje určené pro modelování mimořádných událostí s únikem nebezpečné chemické látky

V digitální době, jakou je 21. století, existuje mnoho softwarových nástrojů určených k modelaci úniku nebezpečné chemické látky, jak ze stacionárního tak z mobilního zdroje. Mezi nejznámější a nejpoužívanější programy v České republice patří: Aloha, Terex a Rozex Alarm, které jsou níže popsány. Dále budou zmíněny programy, které jsou využívány převážně v zahraničí, jako je: PHAST, HGSYSTEM, WHAZAN aj. Většina těchto programů je komerčních a jejich cenová relace je různorodá, ale jsou i takové, jako např. Aloha nebo RMP*comp, které lze volně stáhnout, aniž by bylo potřeba zakoupit licenci.

ALOHA

Volně dostupný softwarový nástroj Areal Locations of Hazardous Atmosphere, který je určen pro havarijní plánování nebo jako pomůcka pro záchranné týmy. Byl vyvinutý a stále je vyvíjen americkou agenturou U. S. EPA pro modelaci úniků NCHL a modelaci šíření oblaku do prostředí. Tento program disponuje vlastní databází nejčastěji používaných chemických látek. [16,40]

Na začátku každé modelace je zapotřebí zadat tyto vstupní informace:

- údaje o místě události, jako je název země, potažmo města a také druh zástavby,
- údaje o množství uniklé látky,
- údaje týkající se atmosféry, jako je rychlost a směr větru, teplota vzduchu, oblačnost, vlhkost,
- čas a datum.

ALOHA poskytuje odhad koncentrace uniklé látky, která je závislá na fyzikálních vlastnostech dané látky. Výstupní údaje jsou v textové podobě, kde je rekapitulace vstupních údajů, grafů a samozřejmě je grafické zobrazení „stopy“ uniklé látky, kterou lze zobrazit v mapovém podkladu, např. v MARPLOT, Google maps nebo ArcView. „Stopa“ je vypočtena ve třech úrovních, tudíž i ve třech barevných liniích. Červená linie zobrazuje největší nebezpečí neboli nejvyšší koncentraci v dané oblasti, dále je oranžová linie a poslední s nejnižší koncentrací je žlutá linie. [16,40]

TEREX

TerEx neboli teroristický expert, je komerční program, který byl vyvinut českou firmou T-SOFT a.s., jenž primárně slouží pro okamžitou prognózu dopadů a následků působení nebezpečných chemických látek, výbušných systémů a otravných látek. Teroristický expert je přímo propojen s geografickým informačním systémem, tudíž jsou výsledky bezprostředně zobrazené v mapě. [44]

Primárně byl tento program určen pro operativní použití složkami integrovaného záchranného systému, ale lze jej využít i při analýze rizik pro havarijní plánování. Jednotky IZS využívají tento program při zásahu pro rychlé stanovení rozsahu ohrožení, aby byla následně provedena opatření týkající se ochrany obyvatelstva (např. evakuace). Dále tento program využívají vzdělávací instituce, podniky a orgány státní správy a samosprávy. Jeho výsledky jsou použitelné i při nedostatku přesných vstupních informací. Výstupy z TerExu vždy odpovídají konzervativní prognóze neboli nejhorší variantě dopadů mimořádné události. [16]

TerEx disponuje vlastní databází nebezpečných chemických látek a u každé látky jsou dostupné informace typu:

- **Základní parametry** (chemický název, vzorec a synonyma; Kódy - UN kód, Kemler kód a Hazchem kód; R-věty a S-věty; Nebezpečnost - symboly, teplotní třída, skupina výbušnosti),
- **Havarijní a toxické vlastnosti** (havarijní projevy; rozptyl - difúzní, turbulentní; únik - jednorázový, kontinuální, časově omezený; toxické vlastnosti - mortalita, hodnota koncentrace IDLH);
- **Fyzikální vlastnosti** (teplota - sublimace, tání, varu; hustota; teplo - výparné, spalné; specifické teplo pro plyn nebo kapalinu; relativní molekulová hmotnost, výhřevnost, ostatní – difúzní koeficient, rychlost odhořívání, tlak nasycených par, dolní a horní mez výbušnosti, výparnost, kritický tlak a teplota, teplota vzplanutí, parciální tlak);
- **Popis vlastností** (charakteristika - hořlavost, zápach, barva, skupenství, rozpustnost; zraňující projevy - příznaky a následky při zasažení látkou; první pomoc, požární projevy - třída požáru, opatření v místě požáru; hasební prostředky; ochrana; další vlastnosti - dekontaminace, typy filtrů, stálost);
- **Havarijní moduly**. [16,45,46]

Program TerEx má několik základních modelů havarijních situací. Výběr adekvátního typu modelu umožní uživateli korektní výstupy. Lze použít modely typu:

- **TOXI** - vyhodnocuje tvar a obsah oblaku na základě koncentrací toxické látky.
- **UVCE** - vyhodnocuje účinnost vzdušné rázové vlny, které předcházela detonace směsi látky se vzduchem pro modely s jednotlivými druhy havárií:

- PLUME - modelace déletrvajícího úniku plynu do oblaku, pomalého odparu kapaliny z louže do oblaku, déletrvajícího úniku vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku,
 - PUFF - modelace jednorázového úniku vroucí kapaliny s rychlým odparem do oblaku, jednorázového úniku plynu do obsahu.
- **FLASH FIRE** - stanovuje velikost území ohrožení osob plamennou zónou:
- POOL FIRE - modelace mimořádné události spojenou s hořením louže kapaliny nebo vroucí kapaliny.
 - BLEVE - modelace situace, kdy dojde k ohrožení nádrže plošným požárem.
 - JET FIRE - modelace déletrvajícího masivního úniku plynu, který vede k požáru.
- **EXPLOSIVE** - modelace potenciálních dopadů detonace výbušných systémů, které jsou založeny na kondenzované fázi a mají za cíl ohrožit okolí detonace.
- **POISON** - modelace dosahu a tvaru oblaku při použití otravných látek. [16,44,45,46]

2.5.3.1 Další využívané softwary

EFFECTS – Nizozemský komerční program, který modeluje chování hořlavých a zkapalněných plynů nebo kapalin při úniku za různých provozních podmínek a počasí. Program je schopen vypočítat např. tepelnou radiaci, dosah toxických koncentrací, přetlaky při explozi, nebo také úmrtnost a poškození staveb. Program disponuje vlastní databází s 2200 NCHL a umožňuje vlastní nadefinování chemické látky nebo směsi. EFFECTS má k dispozici více než 70

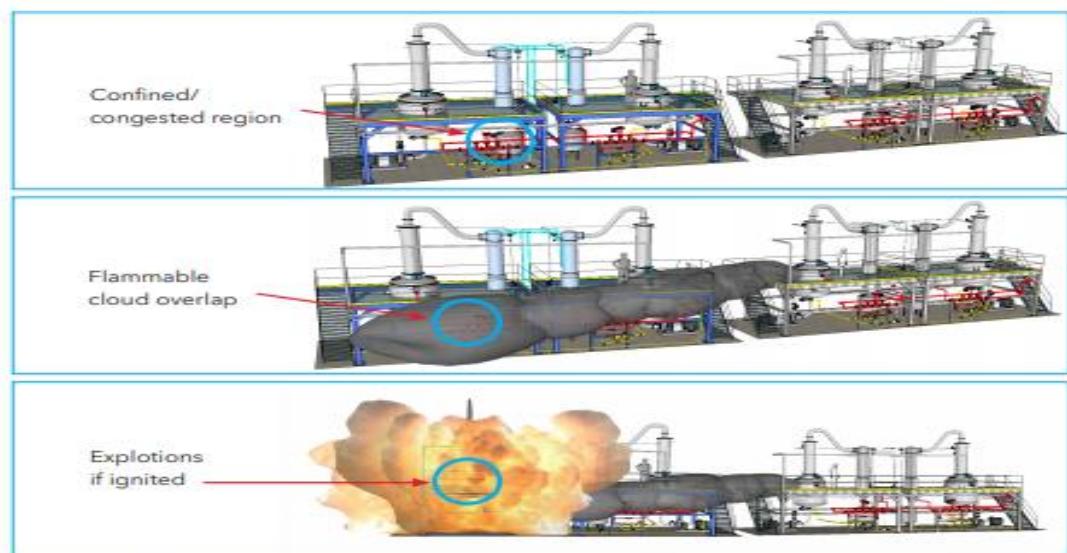
scénářů událostí, které lze při modelaci úniku využít. Jedná se např. o BLEVE model; modely jednorázového, přerušovaného nebo kontinuálního rozptýlu plynu; model dvoufázového výtoku z potrubí. Výstupy lze implementovat do tabulek, vlastních nákresů nebo do různých mapových podkladů. [48]

RMP*Comp – Americký volně dostupný program, který lze spustit i z webových stránek a není potřeba si jej stahovat. RMP*comp je možno charakterizovat jako plánovací nástroj pro snadnou identifikaci nebezpečí. Disponuje databází se 77 toxickými látkami a 63 hořlavými plyny a kapalinami. Má velmi jednoduché rozhraní a stačí zadat pouze chemickou látku, množství, vybrat scénář (nejhorší případ nebo alternativu). U kapalin se dále zadává jejich teplota. U toxických plynů fyzický stav a typ terénu a u hořlavých plynů pouze fyzický stav. Výstupní data jsou pouze v textové podobě, kde je rekapitulace zadaného scénáře a odhadovaná vzdálenost. [47]

ROZEX ALARM – Český komerční softwarový nástroj, používaný k modelování úniku nebezpečné chemické látky, jako nástroj pro odhad následků úniku nebo jako podpora při tvorbě analýzy rizik. Zaměřuje se na jednorázové i kontinuální úniky. Program je schopen okamžitě předložit potřebné informace, které jsou nezbytné pro složky integrovaného záchranného systému na místě zásahu. Tento nástroj má vlastní databázi, která obsahuje přibližně 8000 NCHL. Jsou v ní uvedeny jak fyzikální, tak chemické vlastnosti látek, ale i údaje o toxicitě nebo bezpečnostně technické a požární postupy. Dále disponuje databází modelových projevů MU, ve které lze výpočty uložit pro případné pozdější použití. Výstupy z programu tvoří grafický model následků úniku, který lze zobrazit v mapovém podkladu, kde vyobrazí zóny dopadu mimořádné události. Tento jednoduchý softwarový nástroj je vhodný především pro velitele zásahu na místě MU pro okamžité hrubé zobrazení maximální zasažené zóny. [48,16]

WHAZAN – Softwarový nástroj, který slouží k predikci a k vyhodnocení dopadů úniku kapalin a plynů do prostředí. V programu je k dispozici 17 modelů, ze kterých si lze vybrat dle požadavků uživatele. Jedná se např. o model dvoufázového výtoku, model úniku nebezpečných chemických látek potrubím, model tvorby a vypařování z kaluže, šíření plynů uvnitř objektů nebo model tryskavého požáru. Byl vyvinut norskou společností DNV Technica. [46]

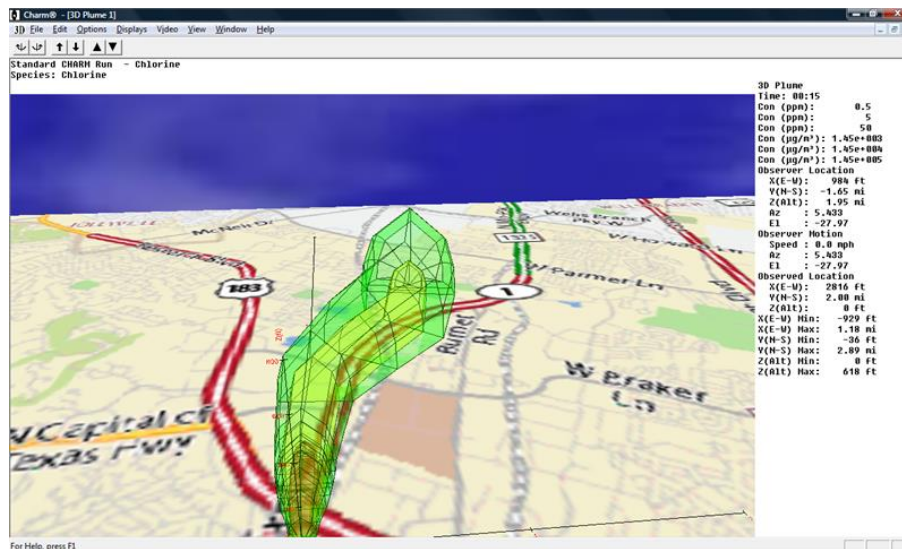
PHAST – *Process Hazard Analysis Software Tool* je sofistikovaný komerční softwarový nástroj, který vytvořila taktéž norská společnost DNV.GL pro analýzu nebezpečí procesů v různých průmyslových odvětvích. Lze jej použít na modelaci úniku a následného šíření NCHL, toxických rizik, požárů, 3D výbuchů aj. Výhodou tohoto programu je, že lze modelovat několik scénářů a současně je analyzovat. Následné výsledky jsou vyhotoveny v grafické podobě. [50]



Obrázek 5 Ukázka modelace 3D výbuchu pomocí programu PHAST [50]

HGSYSTEM – Tento program byl primárně vyvinut k modelaci úniku a šíření nebezpečných chemických látek a směsí v prostředí, které jsou těžší než vzduch. HGSYSTEM byl vytvořen britskou společností Shell Research Ltd a první dostupná verze vyšla již v roce 1990. Skládá se z mnoha modulů, které jsou schopny vymodelovat rozptyl v prostředí, pasivní rozptyl látek, odpařování látek z kaluže, dvoufázový výtok, okamžitý výtok látky aj. K dispozici je i vlastní databáze látek, která generuje jejich fyzikální vlastnosti. [51]

CHARM – *Complex Hazardous Air Release Model* je americký komerční a velmi sofistikovaný software, který lze použít na modelaci odhadů dopadů úniku NCHL následnému požáru nebo výbuchu. Tento program je vcelku složitý a určený převážně pro specializované odborníky pohybující se v dané oblasti, kteří musí do programu zadat poměrně dost konkrétních vstupních informací. K dispozici jsou dvě verze. První verze a zároveň jednodušší, modeluje uvolňování NCHL z jednoho zdroje v rovinném terénu. Tato verze je vhodná pro rychlou analýzu. Druhá verze umožňuje modelaci více zdrojů ve složitém terénu, přičemž vyžaduje více vstupních informací než první verze. Druhá verze se hodí pro podrobné a komplexní analýzy. Výstupy jsou zprostředkovány pomocí tabulek, 2D a 3D grafů a taktéž je lze, jako u většiny softwaru, zobrazit v mapových podkladech. Na následujícím obrázku lze vidět jeden z možných výstupů. [52]



Obrázek 6 Grafický výstup z programu CHARM [52]

Mezi dále využívané softwary patří např. DAMAGE, DEGADIS, RISKAT, SAFETI, SAVE, SEVEX View nebo SLAB View.

2.5.4 Softwarové nástroje určené pro modelování požáru

Modelování požáru se začalo do povědomí odborníků dostávat v období 80. let minulého století, kdy docházelo k čím dál většimu množství událostí, v jejichž důsledku vznikaly rozsáhlé materiální škody a v některých případech i ztráty na životech. V současnosti lze k modelaci požáru využít mnoho programů, které jsou použitelné v různých podmínkách a prostředích. Lze je použít na modelaci odlišných scénářů požáru, jeho průběhu i následků, a také umožňují odhadnout rizika, jež mohou směřovat ke škodám a předcházet důsledkům potenciálních požárů, které mohou v budoucnu nastat.

ARGOS

Argos je moderním komerčním programem, který vyvinul Dánský institut pro požární a bezpečnostní technologie. Jedná se o zónový model, který spolehlivě dokáže nasimulovat rozvoj požáru a šíření zplodin v rozsahu deseti místností. Disponuje vlastní knihovnou požárních modelů, kde si lze vybrat mezi více typy požáru, např. požár pevných látek, požár

kapalin, požár tajících hmot, doutnání předmětů nebo lze zadat vlastní vstupní data. Je schopen vytvářet grafy a textové zprávy, tudíž není třeba data dále importovat, ale pokud uživatel přeci jen chce, tak je lze zobrazit např. v Excelu. Tento software je nejčastěji využíván v průmyslu, pojišťovnictví, vyšetřovateli požárů nebo výzkumníky. [52]

CFAST

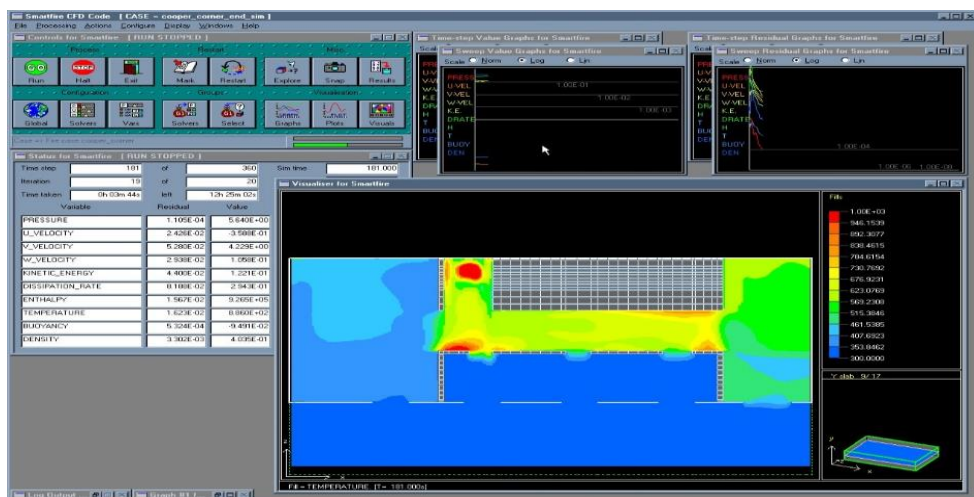
Volně dostupný zónový model, který byl a nadále je vyvíjen americkou výzkumnou institucí National Institute of Standards and Technology. Používá se primárně na stanovení průběhu požáru v uzavřených místnostech v rozsahu do 30 místností. CFAST je využívám k simulaci vlivu požáru na danou stavbu a slouží především vyšetřovatelům požárů, bezpečnostním pracovníkům, architektům a stavebním inženýrům. Výstupy z CFAST lze zobrazit v programu Smokeview. [53,55]

BRANZFIRE

Tento novozélandský program patří do skupiny zónových modelů. Je plně integrován s modelem šíření plamene a rozvoje požáru v uzavřených místnostech. Zejména se využívá pro simulaci rohových požárů v místnostech dle normy ISO 9705, ale lze s ním vypočítat i dobu aktivace sprinklerů a hlásičů požárů. Pomocí BRANZFIRE lze namodelovat najednou až 12 pokojů s neomezeným počtem stěnových a stropních větracích otvorů. Tento program umožňuje nadefinovat požárně bezpečnostní zařízení nebo rozbíjení skla během simulace vlivem tepelného působení požáru, a tím je možné odhadnout dobu vypadnutí okenního skla. Výstupy z programu jsou zobrazeny v tabulkách a grafech, které lze importovat do Excelu. [32,54,55]

SMARTFIRE

Moderní prostorový model požáru, který byl vyvinut na Univerzitě v Greenwich a stále je upgradován, aby byla zvýšena úroveň modelování a analýzy. Tento program se využívá pro propracovanou a rychlou požární analýzu, která je založená na rychlé specifikaci problému, tím umožňuje poskytnout efektivní odpovědi na určité řešení problému. V programu je možno simulovat ustálené nebo přechodné stavy požáru a určit tak např. toxicitu zplodin hoření nebo velikost přenosu tepla. Mohou s ním pracovat i začátečníci, jelikož má snadné uživatelské rozhraní. Prostředí pro modelování scénářů je ve 3D. Výstupy lze získat v grafické podobě. Za velkou výhodou tohoto softwaru lze považovat to, že dokáže spolupracovat i s dalšími programy, např. s programem určeným pro evakuaci osob EXODUS. [55,56]



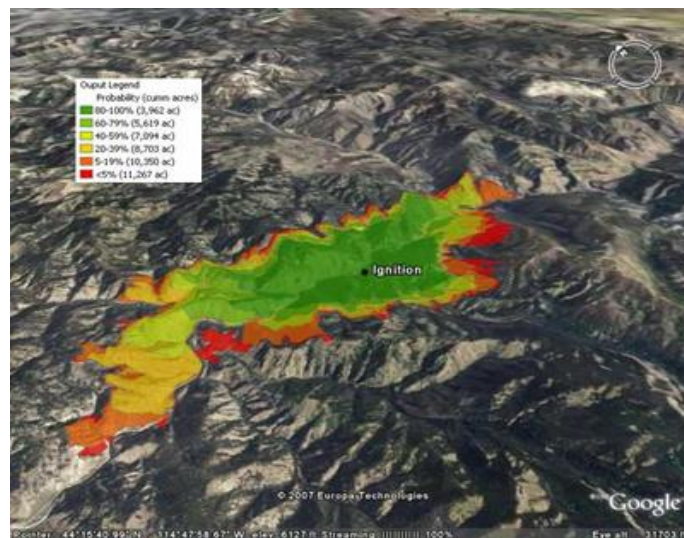
Obrázek 7 Uživatelské prostředí při modelaci požáru ve SMARTFIRE. [56]

FARSIDE

FARSIDE patří do nejrozšířenějších a volně dostupných amerických softwarů, které jsou schopny modelovat lesní požáry. Program dokáže znázornit chování požáru, jeho účinky a vlastnosti požárního prostředí. Tento softwarový nástroj disponuje dvoudimenzovými modely rastru nebo povrchovými a korunními modely požáru. Zajímavostí je, že v tomto softwaru lze nasimulovat i požární zásah jak pozemní tak letecký. Výstupy typu plocha požáru, směr a rychlost šíření nebo jeho intenzitu lze zobrazit v grafické podobě pomocí geografického

informačního systému nebo v tabulkách. FARSIDE je primárně určený pro odborníky, kteří mají zkušenosti v oblasti požárního chování, jelikož se jedná o složitější program. V Americe ho používá např. U. S. Forest Service, National Park Service a dalšími státními i nestátními organizacemi. [55,57]

Mezi podobné programy jako je FARSIDE patří např. FlamMap, BehavePlus nebo FSPro.



Obrázek 8 Grafický výstup z FARSIDE [57]

2.5.4.1 Další často používané programy

OZONE – Belgický volně dostupný zónový model, který slouží pro odhad teploty v jedné místnosti a k posouzení navrhované požární odolnosti ocelových prvků. [32]

DSLAYV – Švédský zónový model použitelný pro jednu místnost na simulaci rozvoje požáru. [32]

HARVARD – Americký program, který se využívá na simulaci požáru ve více místnostech. [32]

3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem této práce je provedení analýzy a komparace jednotlivých softwarových nástrojů a jejich význam při přípravě na mimořádné události. Dále pak pomocí vybraných softwarových nástrojů namodelování mimořádných událostí typu: povodně, únik nebezpečné chemické látky a požáru. Tyto tři typy mimořádných událostí byly vybrány z důvodu četnosti výskytu na území České republiky. Následně provedení porovnání použitých softwarových nástrojů a vytvoření SWOT analýzy. Na závěr jsou uvedeny doporučení ke zvýšení efektivity použití softwarových nástrojů v oblasti krizového řízení a ochrany obyvatelstva.

3.1 Stanovené hypotézy

Hypotéza č. 1: Lze se domnívat, že program GEOSPAT je ideální nástroj pro modelování povodní.

Hypotéza č. 2: Lze se domnívat, že vhodně zvolený softwarový nástroj zvyšuje efektivitu prevence v oblasti ochrany obyvatelstva.

4 METODIKA

Ke zpracování diplomové práce bylo nejprve nutné zpracovat rešerši z předmětné oblasti, kde byl kladen důraz na odbornou literaturu, právní normy, koncepční dokumenty a adekvátní internetové zdroje. Následně získané informace zpracovat a racionálně uspořádat.

Meritum práce tvoří charakteristika softwarových nástrojů a modelace mimořádných událostí se zaměřením na povodeň, únik nebezpečné chemické látky a požár.

K simulaci povodně byly použity 2 komerční softwarové nástroje. Jedním z nich je POSIM neboli Povodňový simulátor a lze k němu dostat přístup na Fakultě biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Kladně. Druhým programem je GEOSPAT, který byl nalezen na internetu a následně kontaktován výrobce, s kterým byla navázána spolupráce. Nejprve mělo být zvolenou lokalitou město Valašské Meziříčí, ale jelikož POSIM k této oblasti nedisponuje povodňovou mapou, tak bylo vybráno město Otrokovice, kde se nachází odloučený podnik firmy DEZA, a. s.

K modelaci v souvislosti s únikem NCHL byly použity 2 softwarové programy dle dostupnosti a vlastního uvážení. Jedná se o program TEREK, který je komerční a také lze k němu dostat přístup na Fakultě biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Kladně. Dále byl použit program ALOHA, což je program nekomerční, tudíž volně ke stažení z oficiálních stránek výrobce. Pomocí těchto dvou programů byl namodelován pomalý odpar benzenu z louže do oblaku v objektu DEZA, a. s. nacházející se ve Valašském Meziříčí.

K prezentaci softwarového nástroje, který se používá na modelaci požáru v uzavřené místnosti, byl vybrán program BRANZFIRE, který byl stažen z oficiálních stránek programu.

4.1 SWOT analýza

SWOT analýza je základní a často využívaná analytická metoda, kterou lze v praxi implementovat v různých oblastech lidské činnosti. Aplikuje se pro posouzení vnitřních a vnějších faktorů, které ovlivňují zkoumanou problematiku. Předností této analýzy je, že dokáže na zkoumanou problematiku nahlížet ze čtyř úhlů pohledu. A to:

1. **STRENGTHS** – Silné stránky, které hodnotí přednosti a výhody zkoumané problematiky. Lze je chápat jako odpověď na otázku: „*Co je na nás dobré?*“
2. **WEAKNESS** – Slabé stránky, které zkoumají nedostatky a slabiny. Dají nám odpověď na otázku: „*Čím se sami ohrožujeme?*“
3. **OPPORTUNITIES** – Příležitosti, které zkoumají možnosti pro další rozvoj a maximalizaci posílení své pozice, neboli: „*Co se nám nabízí?*“
4. **TREATS** - Hrozby, které identifikují případná rizika. „*Co by nás mohlo omezovat?*“ [57]



Obrázek 9 Složky SWOT analýzy [57]

Cílem analýzy je maximalizovat silné stránky a eliminovat slabé, nicméně je zapotřebí srovnání s konkurencí, jelikož jejich síla je relativní. Dále pak maximální využití nabízených příležitostí a minimalizace hrozeb. [57]

SWOT analýza bude vyhodnocena pomocí váhy a hodnocení. Váha vyjadřuje důležitost jednotlivých komponentů a vždy musí být konečný součet 1. Funguje zde pravidlo, které říká, čím důležitější položka, tím vyšší číslo. Hodnocení silných stránek a příležitosti jsou vyjádřeny pomocí čísel 1 – 5, kde 1 znamená nejnižší spokojenost a 5 naopak nejvyšší spokojenost. Při hodnocení slabých stránek a hrozeb se používá záporná stupnice, v rozmezí 1 – 5, kde -1 vyjadřuje nejnižší nespokojenost a -5 nejvyšší nespokojenost.

5 VÝSLEDKY

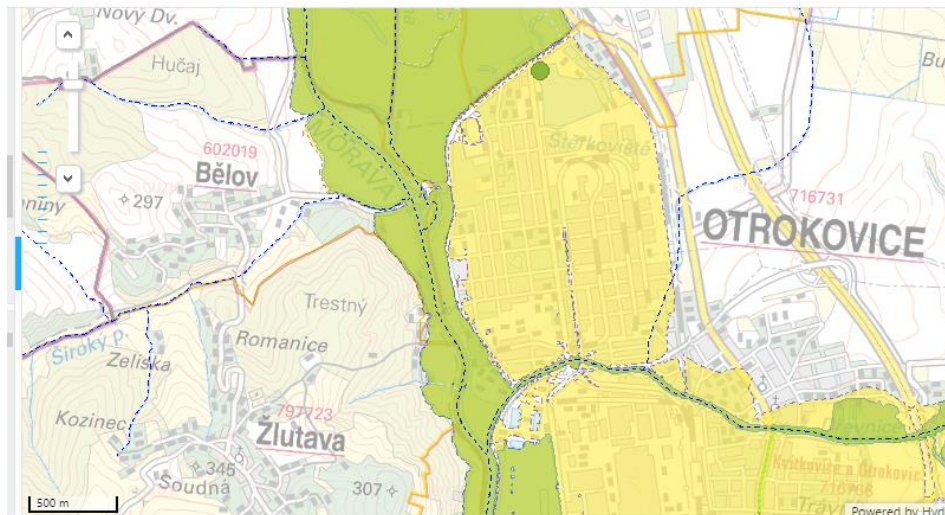
Všechny modelace softwarovými nástroji, které zde budou uvedeny, ať už se jedná o povodně, únik nebezpečné chemické látky nebo požár, budou postaveny na reálných situacích. Všechny zvolené oblasti se nacházejí na území Zlínského kraje. Jedná se o města:

- Otrokovice, kde bude nasimulována povodeň se zaměřením na odloučený podnik, který patří pod chemický závod DEZA a. s. sídlící ve Valašském Meziříčí.
- Valašské Meziříčí, kde bude namodelován únik nebezpečné látky, v tomto případě benzenu přímo z areálu podniku DEZA a. s.

5.1 Modelace scénáře mimořádné události spojené s povodní

Pro simulaci povodní byla vybrána řeka Morava. Konkrétně v části, kde protéká kolem města Otrokovice. V blízkosti řeky se nachází průmyslová zóna, kde sídlí významné firmy, jako je Mitas a. s., Continental Barum s. r. o. nebo Tomatex Otrokovice a.s. Další významnou firmou v této lokalitě je DEZA a. s., která zde má svůj odloučený provoz. Pro simulaci stoleté vody byl použit program POSIM a pro modelaci největší přirozené povodně komerční program GEOSPAT.

Na následujícím obrázku č. 10 je vyznačeno zájmové území při Q100 světlezelenou barvou a žlutou barvou největší přirozená povodeň. Pro potřeby POSIM je důležité žluté vyobrazení a pro GEOSPAT zobrazení zelené.



Obrázek 10 Mapa záplavového území v Otrokovicích

Výstup z Povodňového simulátoru (POSIM)

POSIM má předem nadefinovaná data, stačí si jen vybrat kolikaletou vodu je potřeba vygenerovat. V tomto případě byla vybrána stoletá voda na řece Moravě v blízkosti DEZA a. s. v Otrokovicích. Zde se počítá s průtokem $817 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.



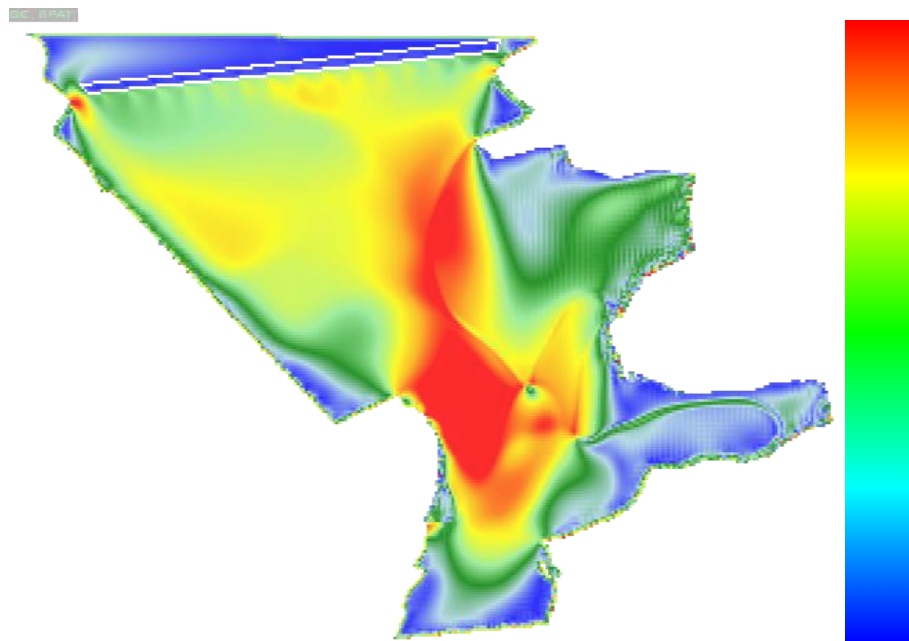
Obrázek 11 Simulace POSIM - Q100 na řece Moravě (Otrokovice)

Na předchozím obrázku č. 11 je vyobrazena mapa, kde je vyznačeno zaplavené území při stoleté povodni neboli vylití z koryta řeky modrou barvou. Dále v mapě byla zaznačena poloha podniku DEZA a. s. Lze vidět, že dle simulace z POSIMu, DEZA a. s. nebude povodní zasažena.

Výstup z programu GEOSPAT

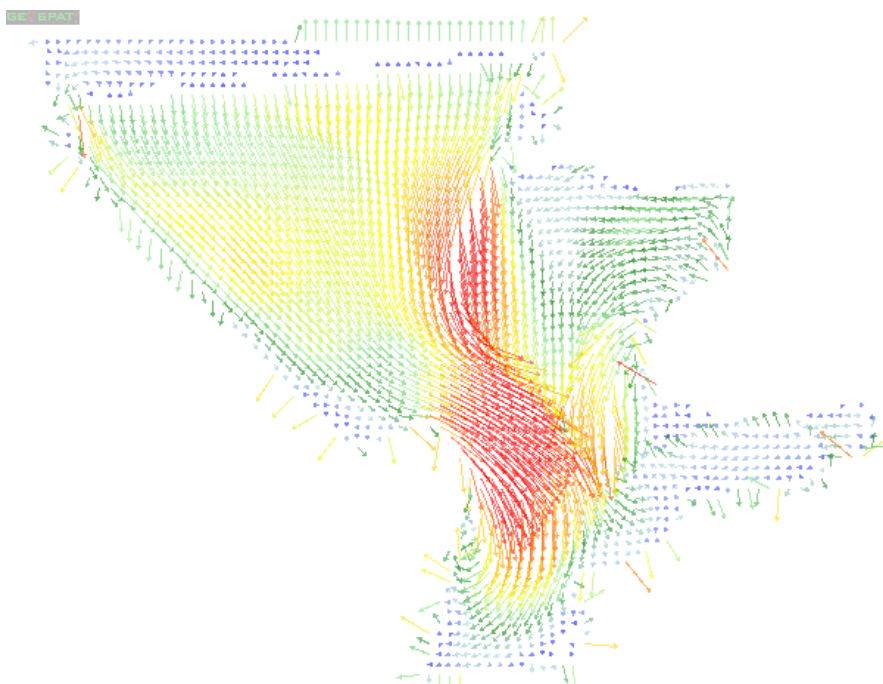
Pro modelaci v programu GEOSPAT byla použita data z digitální databáze vodohospodářských dat DIBAVOD, které lze stáhnout na internetové stránce www.dibavod.cz. Tato data byla zaměřena na záplavové území největší zaznamenané přirozené povodně. Výstupy byly importovány do Google Earth Pro.

Na následujícím obrázku č. 12 lze vidět vytvořenou výslednou vrstvu s gradientem, který barevnou škálou znázorňuje riziko zaplavení. Od modré barvy (nejmenší riziko) po barvu červenou (největší riziko).



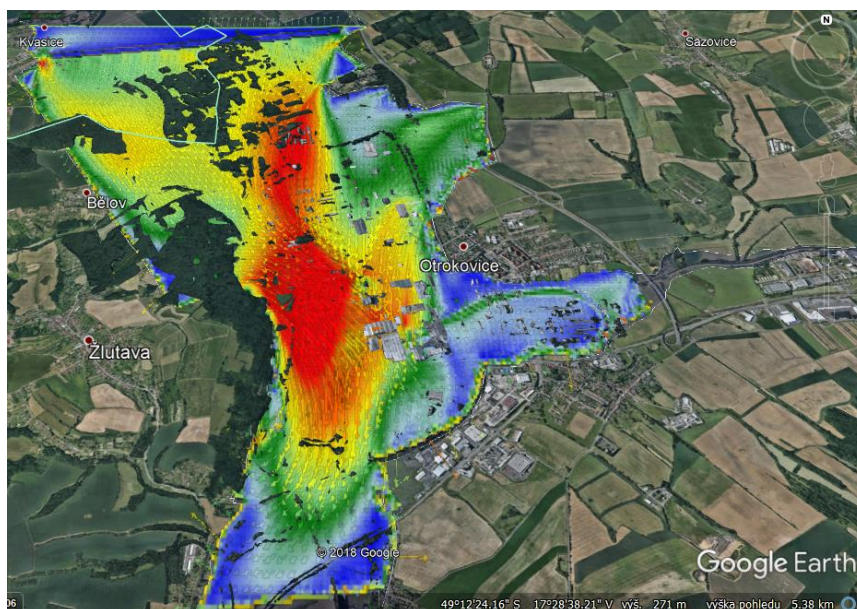
Obrázek 12 Výsledná vrstva s gradientem

Obrázek č. 13 znázorňuje relativní rychlost a směr proudění kapaliny.



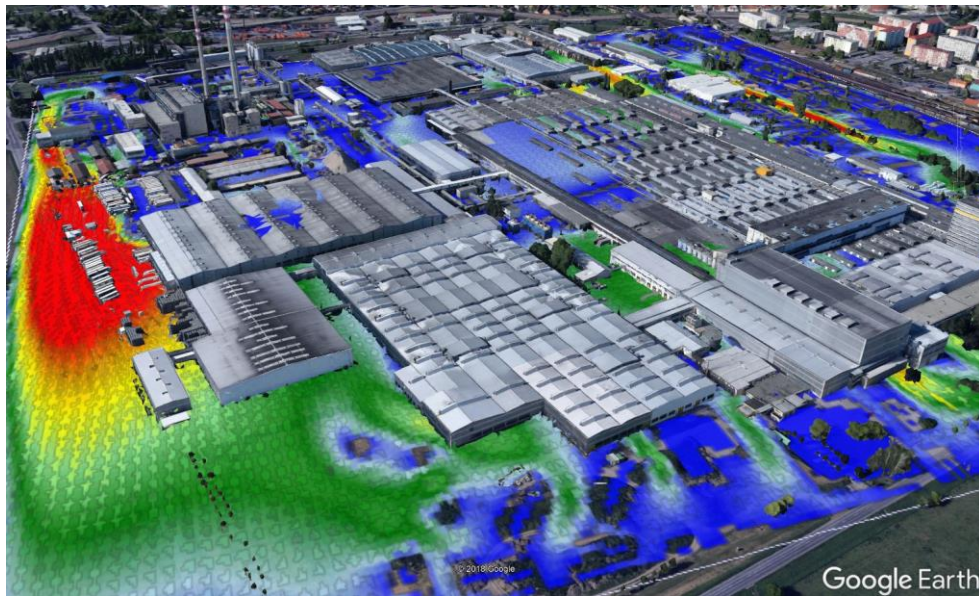
Obrázek 13 Rychlost a směr proudění kapaliny

Na obrázku č. 14 lze vidět vytvořené vrstvy, které byly uvedeny výše v mapovém podkladu Google Earth Pro ke snadnější představě.



Obrázek 14 Výsledná modelace zobrazena Google Earth Pro

Na následujícím obrázku č. 17 jsou výše zmiňované vrstvy importované do mapového podkladu Google Earth Pro. Lze vidět, ve kterých místech objektu měla povodeň nejhorší dopad. Tuto oblast znázorňuje červená barva.



Obrázek 17 Detailní pohled na zaplavený podnik DEZA a. s.

Komparace POSIM a GEOSPAT

Nutno konstatovat, že program POSIM je vhodný pouze pro názornou ukázkou povodní od aktuálního stavu po stoletou vodu. Ale nelze s tímto softwarovým nástrojem vytvářet, žádné konkrétní a detailní analýzy. Kdežto program GEOSPAT lze použít na podrobné analýzy. Lze zde vytvořit analýzu pro celé povodí, ale je to velmi časově náročné. Na druhou stranu je možné vytvořit výstupy pro jednotlivá města nebo přímo objekty. Vše je pěkně barevně odstínováno dle gradientu. Pomocí Google Earth Pro, kde lze vytvořené vrstvy importovat lze vidět skutečnost zasažení území povodní.

5.2 Modelace scénáře mimořádné události spojené s únikem nebezpečné chemické látky

Pro modelaci úniku nebezpečné chemické látky byl vybrán chemický závod DEZA, a.s. sídlící ve Valašském Meziříčí. Zabývá se zpracováním surového dehtu a surového benzolu a výrobou základních organických látek (benzen, naftalen, fenoly, kresoly aj.), které jsou určeny pro další chemické využití.

Jako scénář MU byl zvolen pomalý odpar benzenu z louže do oblaku.

Benzen patří mezi organické sloučeniny, přesněji do skupiny, která se nazývá arény. Lze jej charakterizovat jako bezbarvou, lehce zápalnou, vysoce hořlavou a aromaticky zapáchající toxickou kapalinu, která má rakovinotvorné účinky a špatně se rozpouští ve vodě.

TerEx - Vlastnosti látky

Látka: **Benzen** Skupenství: **Kapalina** C_6H_6 UN **1114**

F T

Vzorec

Základní parametry Havarijní a toxické vlastnosti Havarijní modely Fyzikální vlastnosti Popis vlastností

Chemický název a synonyma
Benzen
Benzol, Cyklohexatrien

Kódy
33 Kemler lehké hořlavá kapalina (bod vzplanutí pod 23 °C)
1114 UN 71-43-2 CAS
3WE Hazchem PĚNA, OHRADIT, ÚPLNÁ OCHRANA, ZVÁŽIT EVAKUACI

R-věty
45-46-11-36/38-48/23. Může vyvolat rakovinu.
Může vyvolat poškození dědičných vlastností.
Vysoce hořlavý.

S-věty
53-45 Zamezte expozici - před použitím si obstarejte speciální instrukce.
V případě úrazu, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě

Nebezpečnost
Symboly : F,T
Teplotní třída: T1
Skupina výbušnosti: IIA

ERG 2004 NIOSH

Obrázek 18 Základní parametry benzenu z programu TerEx

Společné vstupní informace:

- celková plocha louže je 300 m²
- teplota benzenu v louži je 79 °C,
- rychlost větru v přízemní vrstvě je 3 m/s,
- zataženo, tudíž 100% pokrytí oblohy oblaky,
- mimořádná událost vznikla přes den na jaře v průmyslové oblasti (14. 3. 2018 v 10:20 středoevropského času).

Tyto hodnoty byly vloženy do softwarových nástrojů Aloha a TerEx.

Výstup z programu Aloha

Program Aloha po zadání vstupních hodnot vygeneroval výstupní údaje ERPG (hodnota jednodinové koncentrace nebezpečných látek, které jsou charakteristické vysokou toxicitou par) a AEGL (Hodnoty úrovně akutní expozice).

```
SITE DATA:
Location: DEZA A.S. VALAŠSKE MEZIŘÍČI, ĚSKA REPUBLIKA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.61 (unsheltered single storied)
Time: March 14, 2018 1020 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: BENZENE
CAS Number: 71-43-2 Molecular Weight: 78.11 g/mol
AEGL-1 (60 min): 52 ppm AEGL-2 (60 min): 800 ppm AEGL-3 (60 min): 4000 ppm
IDLH: 500 ppm LEL: 12000 ppm UEL: 80000 ppm
Carcinogenic risk - see CAMEO Chemicals
Ambient Boiling Point: 79.0° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.060 atm
Ambient Saturation Concentration: 61,749 ppm or 6.17%

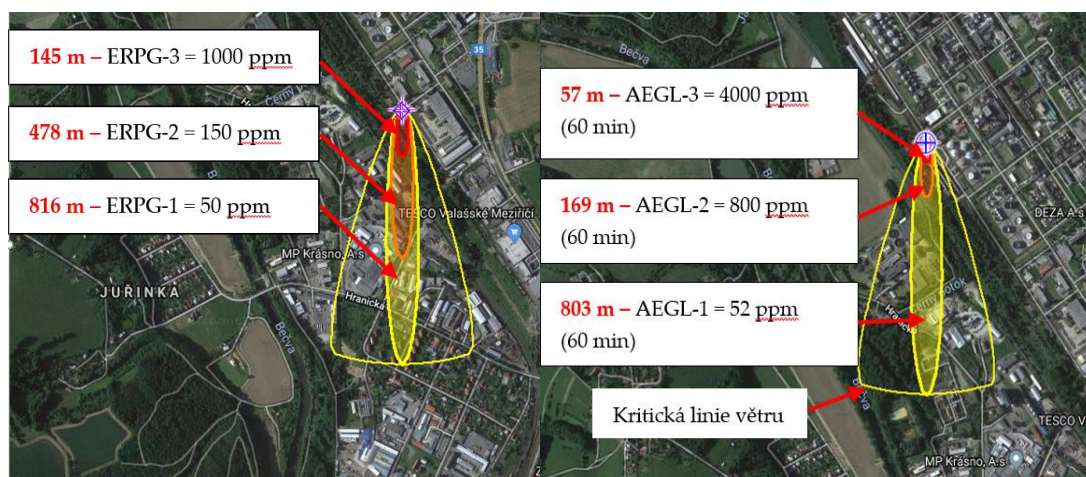
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 3 meters/second from 135° true at 3.8 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths
Air Temperature: 10° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 80%

SOURCE STRENGTH:
Evaporating Puddle (Note: chemical is flammable)
Puddle Area: 300 square meters Puddle Volume: 3229.17 liters
Ground Type: Concrete Ground Temperature: 10° C
Initial Puddle Temperature: 79° C
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 175 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 1,209 kilograms

THREAT ZONE:
Model Run: Heavy Gas
Red : 57 meters --- (4000 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 169 meters --- (800 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 803 meters --- (52 ppm = AEGL-1 [60 min])
```

Obrázek 19 Aloha – textový výstup

Na následujícím obrázku č. 20 lze vidět grafický výstup z mapového podkladu MARPLOT, kde byly dokresleny hodnoty ERPG i AEGL pro lepší představu a pro viditelný rozdíl mezi těmito ukazateli. Žlutý obrys bez výplně vyznačuje toleranci ve změně proudění větru.



Obrázek 20 Grafický výstup z programu Alohsa – zasažená oblast

Hodnoty ERPG stanovují koncentraci NCHL, které charakterizuje vysoká toxicita par a stanovuje se za jednu hodinu. Červená elipsa charakterizuje ERPG - 3. Uvádí, že do vzdálenosti 145 metrů při koncentraci 1000ppm by neměli osoby nacházející se v podniku zakusit nebo se u nich vyvinout účinky ohrožující zdraví nebo život. ERPG-2 znázorněno oranžovou elipsou, říká, že do vzdálenosti 478 metrů od místa úniku by neměli jedinci zakusit nebo se u nich vyvinout nezvratné nebo vážné známky nebo účinky, jež by mohly omezit jejich schopnosti podniknout záchrannou činnost v této zóně. ERPG-1 sahající do vzdálenosti 816 metrů je vyznačeno žlutou elipsou se žlutou výplní. Tato vzdálenost vypovídá o tom, že jedinci nacházející se v této oblasti, by neměli zakusit jiné než mírné nepříznivé, ale přechodné účinky na svém zdravotním stavu.

Hodnoty AEGL charakterizují akutní expozici, které popisují riziko působení NCHL rozptýlených ve vzduchu na jedince v zasažené oblasti. V tomto případě po dobu expozice 60 minut. AEGL-1 vyznačeno v mapě červeně, zasahuje

do vzdálenosti 57 metrů od místa odparu a v této oblasti mohou jedinci pociťovat zdravotní účinky ohrožující jejich život. AEGL-2 znázorněno oranžovou barvou vypovídá o tom, že do vzdálenosti 169 metrů od epicentra, může populace zakusit nevratné nebo jiné vážné, déletrvajících nepříznivé zdravotní problémy, a také zde může dojít k zhoršené schopnosti úniku. Poslední hodnotou je AEGL-1, znázorněno žlutě vyplněnou elipsou do vzdálenosti 803 metrů. V této oblasti lze předpokládat, že zasažení jedinci mohou pociťovat podráždění, nepohodlí nebo některé smysly nepostřehnutelné symptomatické účinky. Nutno podotknout, že tyto účinky nejsou oslabující a jsou přechodné.

Výstup z programu TEREX

Pro únik benzenu byl v programu TerEx zvolen model PLUME – pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku. Základní vstupní informace jsou stejné jako u programu Aloha. TerEx po zadání vstupních hodnot vypočítal vzdálenosti neodkladných opatření, která jsou potřeba pro zvládnutí této události. Kde jsou stanoveny zóny: ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku, ohrožení toxickou látkou, ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem a doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku.

```

-----
Událost: TE180410_1329
Model: PLUME - Pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku
Látka: Benzen
Teplota kapaliny v louži: 79 °C
Plocha louže kapaliny: 300 m2
Rychlost větru v přízemní vrstvě: 3 m/s
Pokrytí oblohy oblaky: 100 %
Doba vzniku a průběhu havárie: Den - Jaro
Typ atmosférické stálosti: D - izotermie
Typ povrchu ve směru šíření látky: Průmyslová plocha

Ohrožení osob toxickou látkou
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 422 m (1384.51 ft.)
[ Koncentrace IDLH: 1.595 g/m3 (Aktuální: 1.589 g/m3) ]
Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku 633 m (2076.77 ft.)
[ Koncentrace: 781 mg/m3 ]

Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 64 m (209.974 ft.)

Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním
NUTNÝ ODSUN OSOB 132.5 m (434.711 ft.)

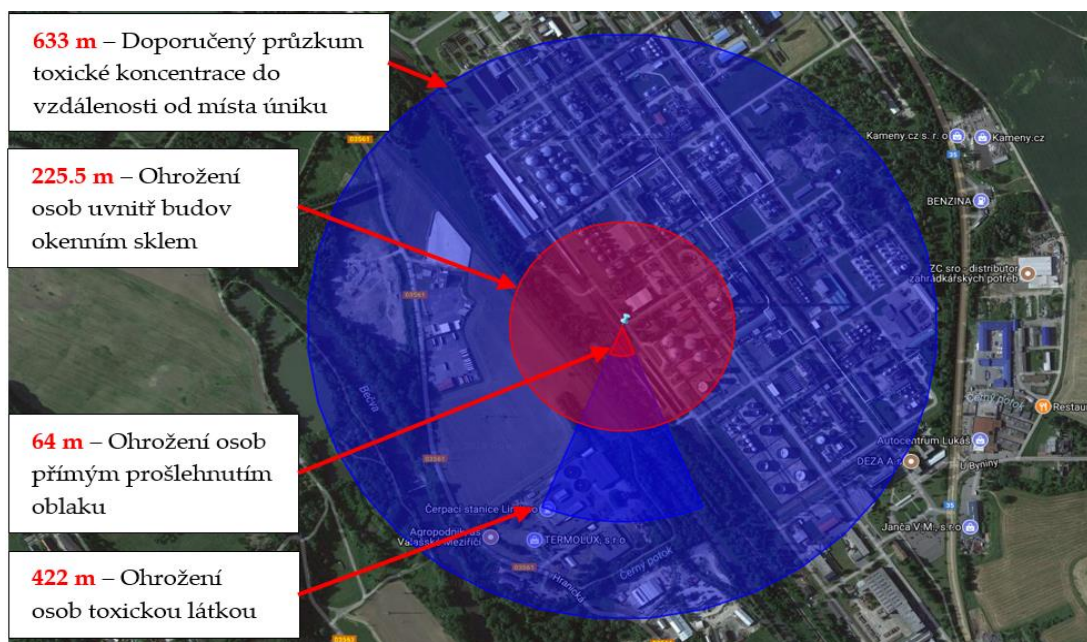
Závažné poškození budov
NEZBYTNÁ EVAKUACE OSOB 96.5 m (316.601 ft.)

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem
DOPORUČENÁ EVAKUACE OSOB Z BUDOV DO VZDÁLENOSTI 225.5 m (739.829 ft.)

```

Obrázek 21 TerEx – textový výstup

Na následujícím obrázku č. 22 lze vidět výstup v mapovém podkladu z programu, kde jsou vyznačené nebezpečné zóny. Červená kružnicová výseč vyznačuje přímé ohrožení osob prošlehnutím oblaku, což by se týkalo pouze osob nacházejících se přímo v areálu podniku do vzdálenosti 64 metrů. Červeně vyznačená kružnice udává vzdálenost, kde mohou být ohrožené osoby uvnitř budov okenním sklem, a sahá do vzdálenosti 225,5 metrů od místa úniku chemické látky a i do této vzdálenosti je doporučena evakuace osob z budov. Vyznačená modrá výseč udává, do jaké vzdálenosti je potřeba počítat s ohrožením osob toxickou látkou. V tomto případě je nutno počítat s 422 metry od místa úniku, což zasáhne i oblast mimo areál podniku. Největší plochu zaujímá modrá kružnice, která udává, do jaké vzdálenosti od epicentra je doporučené udělat průzkum toxické koncentrace, zde se jedná o 633 metrů.



Obrázek 22 Grafický výstup z TerExu – zasažená oblast v podniku DEZA, a.s.

Únik benzenu byl přímo znázorněn do mapových vrstev, kde lze vidět reálné ohrožení ve zvolené oblasti. V této modelové situaci je možno vidět, že by byl primárně ohrožen areál podniku, ale i firmy jako je CS CABOT spol., s.r.o.; TERMOLUX, s.r.o.; CEMEX Czech Republic, s.r.o. nebo Agropodnik, a.s. Valašské Meziříčí.

Program dále poskytuje grafy, které jsou v příloze č. 2, kde první dva znázorňují závislost mezi koncentrací benzenu a vzdálenosti od epicentra úniku benzenu. Tedy graf doporučeného průzkumu a graf oblasti možného výbuchu. Třetí graf, který znázorňuje závislost přetlaku rázové vlny a vzdálenosti od místa úniku je pojmenován jako graf ohrožení výbuchem.

V následující tabulce č. 2 lze vidět komparaci výstupů z programu Aloha a TerEx při zadání stejných základních vstupních informací.

Tabulka 2 Komparace výstupu ze softwarového nástroje ALOHA a TEREX

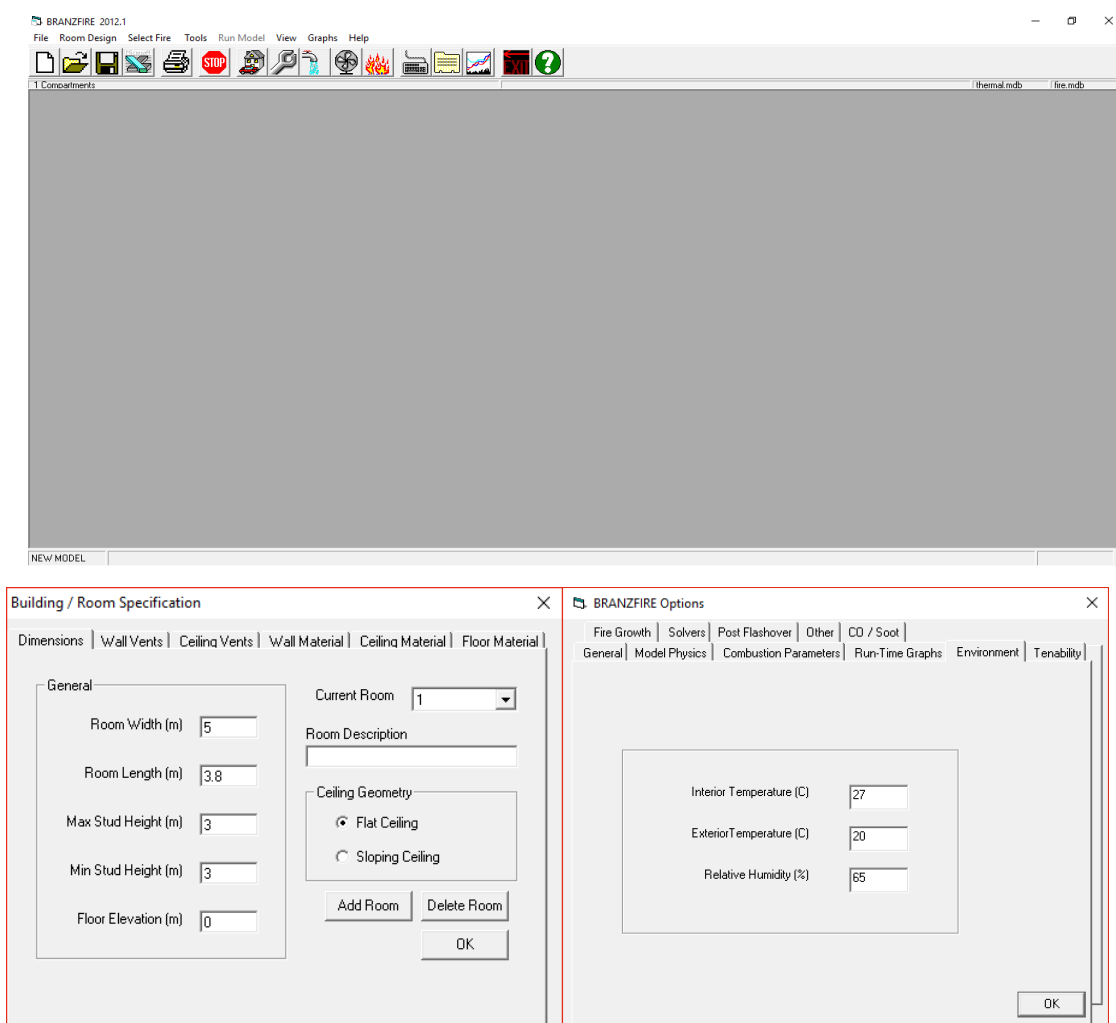
ALOHA		TEREX	
AEGL-3 (4000 ppm, 60 min)	53 metrů	Ohrožení osob přímým prošlehnutím oblaku	64 metrů
AEGL-2 (800 ppm, 60 min)	169 metrů	Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem	225,5 metrů
AEGL-1 (52 ppm, 60 min)	803 metrů	Ohrožení osob toxickou látkou	422 metrů
ERPG-3 (1000 ppm)	145 metrů	Doporučený průzkum toxické koncentrace do vzdálenosti od místa úniku	633 metrů
ERPG-2 (150 ppm)	478 metrů		
ERPG-1 (50 ppm)	816 metrů		

Jak je zřejmé z předchozí tabulky, tak výsledky obou softwarových nástrojů se liší. Oba programy interpretují své výsledné vzdálenosti od místa úniku v jiných veličinách. Aloha pracuje s ERPG a AEGL ve třech úrovních, zatímco TerEx uplatňuje IDLH pro stanovení doporučené evakuace osob.

5.3 Modelace scénáře mimořádné události spojené s požárem

Pro ukázkou programu na modelaci požáru v uzavřené místnosti byl vybrán softwarový nástroj BRANZFIRE, který je dostupný na webových stránkách www.branz.co.nz.

Obrázek č. 23 představuje prostředí v jakém BRANZFIRE funguje.



Obrázek 23 Uživatelské prostředí programu BRANZFIRE

Na následujícím obrázku č. 24 lze vidět, jaké vstupní data se do programu musí minimálně zadat. Ať už se jedná o parametry typu velikosti pokoje, materiálu nebo typů požárů.

BRANZFIRE Multi-Compartment Fire Model (Ver 2012.1)		Wall Vents	
Description of Rooms		From room 1 to outside, Vent No 1	
Room 1 :		Vent Width (m) =	0.800
Room Length (m) =	5.00	Vent Height (m) =	2.000
Room Width (m) =	3.80	Vent Sill Height (m) =	0.000
Maximum Room Height (m) =	3.00	Vent Soffit Height (m) =	2.000
Minimum Room Height (m) =	3.00	Opening Time (sec) =	0
Floor Elevation (m) =	0.000	Closing Time (sec) =	0
Room 1 has a flat ceiling.			
Wall Surface is concrete, lightweight		Ceiling/Floor Vents	
Wall Density (kg/m3) =	800.0	Upper outside to lower room 1, Vent No 1	
Wall Conductivity (W/m.K) =	0.210	Vent Area (m2) =	0.00
Wall Emissivity =	0.50	Opening Time (sec) =	0
Wall Thickness (mm) =	100.0	Closing Time (sec) =	0
		Open method =	Manual
Wall Substrate is brick		Ambient Conditions	
Wall Substrate Density (kg/m3) =	1600.0	Interior Temp (C) =	25.0
Wall Substrate Conductivity (W/m.K) =	0.690	Exterior Temp (C) =	20.0
Wall Substrate Thickness (mm) =	150.0	Relative Humidity (%) =	65
		Inability Parameters	
Ceiling Surface is concrete		Monitoring Height for Visibility and FED (m) =	2.00
Ceiling Density (kg/m3) =	2300.0	Occupant Activity Level =	Light
Ceiling Conductivity (W/m.K) =	1.200	Visibility calculations assume:	reflective signs
Ceiling Emissivity =	0.50	FED Start Time (sec) =	0
Ceiling Thickness (mm) =	100.0	FED End Time (sec) =	600
Floor Surface is concrete		Sprinkler / Detector Parameters	
Floor Density (kg/m3) =	2300.0	Sprinkler installed in Room	
Floor Conductivity (W/m.K) =	1.200	Sprinkler suppression is simulated.	
Floor Emissivity =	0.50	Response Time Index (m.s) ^{1/2} =	140.0
Floor Thickness = (mm)	100.0	Sprinkler C-Factor (m.s) ^{1/2} =	1.00
		Radial Distance (m) =	3.20
		Actuation Temperature (C) =	74.0
		Water Spray Density (mm/min) =	5.0
		Distance below ceiling (mm) =	25
		Ceiling Jet model used is NIST JET.	
Wall Vents			
From room 1 to outside, Vent No 1			
Vent Width (m) =	0.800		

Sprinkler / Detector Parameters	
Sprinkler installed in Room	1
Sprinkler suppression is simulated.	
Response Time Index (m.s) ^{1/2} =	140.0
Sprinkler C-Factor (m.s) ^{1/2} =	1.00
Radial Distance (m) =	3.20
Actuation Temperature (C) =	74.0
Water Spray Density (mm/min) =	5.0
Distance below ceiling (mm) =	25
Ceiling Jet model used is NIST JET.	
Mechanical Ventilation (to/from outside)	
Mechanical Ventilation not installed in Room 1	
Description of the Fire	
Radiant Loss Fraction =	0.30
CO Yield pre-flashover(g/g) =	0.040
Soot Alpha Coefficient =	2.50
Smoke Epsilon Coefficient =	1.20
Smoke Emission Coefficient (1/m) =	0.80
Characteristic Mass Loss per Unit Area (kg/s.m2) =	0.011
Air Entrainment in Plume uses McCaffrey (default)	
Burning Object No 1	
Located in Room	1
Energy Yield (kJ/g) =	46.6
CO2 Yield (kg/kg fuel) =	1.200
Soot Yield (kg/kg fuel) =	0.013
HCN Yield (kg/kg fuel) =	0.000
Fire Height (m) =	0.400
Fire Location =	Centre
Time (sec)	Heat Release (kW)
Postflashover Inputs	
Postflashover model is OFF.	

Obrázek 24 Textový výstup – BRANZFIRE

5.4 SWOT analýza softwarových nástrojů

SWOT analýza je použita k explikaci kladů a záporů softwarových nástrojů, které se používají k modelaci mimořádných událostí. Zde byly položeny čtyři základní otázky:

- Jaké mají softwarové nástroje přednosti?
- Jaké mají softwarové nástroje nedostatky?

- Co by se dalo na programech zlepšit?
- Co by mohlo ohrozit jejich používání?

Silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby softwarových nástrojů jsou stanoveny pomocí odpovědí na výše uvedené otázky. V tabulce je vytyčeno pět silných a slabých stránek a následně šest příležitostí a hrozeb. Vyobrazeny jsou v následující tabulce č. 3.

Tabulka 3 SWOT Analýza



Následně byly vytvořeny tabulky pro každou část SWOT analýzy, kde každá položka byla posouzena pomocí váhy a hodnocení. Důležitost jednotlivých bodů je vyjádřena váhou, kde konečný součet vah v tabulce musí být a je roven 1. Čím vyšší číslo, tím důležitější položka. Hodnocení bylo vyjádřeno pomocí stupnice 1 - 5 u silných stránek a příležitostí. U slabých stránek a hrozeb byla použita záporná stupnice 1 - 5.

Tabulka 4 Vyhodnocení silných stránek softwarových nástrojů

SILNÉ STRÁNKY (STRENGTHS)	VÁHA	HODNOCENÍ	VÝSLEDNÁ HODNOTA
Vytvoření rychlé představy o průběhu MU	0,3	4	1,2
Významné postavení na trhu	0,1	3	0,3
Schopnost přizpůsobit se požadavkům zákazníků	0,3	3	0,9
Rychlost vytvoření a různorodost výstupních dat	0,2	4	0,8
Internetové stránky a manuály použití	0,1	4	0,4
VÝSLEDNÝ SOUČET			3,6

Vytvoření rychlé představy o průběhu MU je primární a nejdůležitější požadavek, který každý softwarový nástroj pro řešení MU musí splňovat a také splňuje. A tím poskytují potřebný pohled, který může napomoci k vyřešení daného problému.

Rychlost vytvoření a různorodost výstupních dat. Po zadání požadovaných hodnot softwarové nástroje vygenerují výstupní data. Výstupní informace je možno získat v textových editorech, tabulkách, grafech nebo v grafické formě, kterou lze u většiny programů implementovat do mapových podkladů. Např. výstupy z programu Aloha lze zobrazit v MARPLOT. Program TerEx využívá mapové podklady Google maps nebo softwarový nástroj GEOSPAT používá pro zobrazení povodňových vrstev Google Earth Pro.

Další silnou položkou jsou internetové stránky a manuály použití. Všechny softwarové nástroje, které jsou v této práci uvedeny, mají přehledné a aktualizované webové stránky, na kterých je možno nalézt potřebné informace k programům. S tím jsou spojeny i manuály používání softwarových nástrojů, které u všech volně dostupných programů lze stáhnout. Taktéž u komerčních programů jsou k dispozici volně na webových stránkách zprostředkovatele nebo při zakoupení programu je dán manuál použití automaticky.

Mezi další silné stránky patří schopnost přizpůsobit se požadavkům zákazníků. Zde je kladen důraz na to, aby koncový uživatel programu byl spokojen s vybraným softwarovým nástrojem a splňoval jeho požadavky. Z toho vyplývá, že každá inovace, aktualizace či nová verze programu disponuje vylepšením oproti té předešlé dle požadavků uživatelů. K tomu se bezesporu řadí i významné postavení na trhu.

Tabulka 5 Vyhodnocení slabých stránek softwarových nástrojů

SLABÉ STRÁNKY (WEAKNESSES)	VÁHA	HODNOCENÍ	VÝSLEDNÁ HODNOTA
Cena	0,2	-2	-0,4
Absence změny platformy	0,2	-2	-0,4
Velké množství programů se stejnou tématikou	0,1	-1	-0,1
Orientační výsledky	0,3	-3	-0,9
Získávání vstupních informací	0,2	-2	-0,4
VÝSLEDNÝ SOUČET			-2,2

Cena jako slabá stránka je zde zmíněna proto, že komerční programy jsou poměrně drahé. Cena se pohybuje od pár tisíců až po desítky tisíc korun, záleží na požadavcích uživatele. Většina volně dostupných programů je ochuzena o některé funkce, které jsou právě zpřístupněny po zakoupení licence.

Dále pak chybí změna platformy, což znamená, že programy nelze spustit např. na mobilních telefonech; dle mého je to škoda, protože v některých případech by to ulehčilo práci na místě MU.

Další úskalí, které lze řadit do slabých stránek je, že je vyvinuto velké množství programů na stejnou tematiku. Zde se to vztahuje především k programovému vybavení, které se zabývá požárním návrhem.

Orientační výsledky jsou bezpochyby největším problémem, jelikož koncový uživatel požaduje co nejpřesnější výstupní informace. Jedním z takových programů, který poskytuje orientační výstupy, je TerEx.

Získání vstupních informací není vždy jednoduchá záležitost. Jestliže některé potřebné údaje chybí, tak nelze pokračovat v modelaci nebo je velmi nepřesná. Tudíž má minimální vypovídající hodnotu.

Tabulka 6 Vyhodnocení příležitostí softwarových nástrojů

PŘÍLEŽITOSTI (OPPORTUNITIES)	VÁHA	HODNOCENÍ	VÝSLEDNÁ HODNOTA
Kompatibilita s GIS	0,2	4	0,8
Výběr z jazyků	0,2	3	0,6
Získání nových uživatelů	0,1	3	0,3
Zpětná vazba uživatelů	0,1	3	0,3
Rozšíření použitelnosti	0,1	3	0,3
Připravenost na mimořádné události	0,3	4	1,2
VÝSLEDNÝ SOUČET			3,5

Většina programů, které se využívají na modelaci povodní a úniku NCHL jsou kompatibilní s GIS. Což umožňuje reálné zobrazení v mapě, kde se MU udála. Jedná se např. o: POSIM, GEOSPAT, TerEx nebo Aloha.

Mezi další příležitost patří výběr z více jazyků. Všechny programy disponují anglickým jazykem, který by měl ovládat jak každý průměrný obyvatel České republiky, tak i zahraniční uživatelé. Některé programy nabízejí výběr z více jazyků. Např. u programu CFAST je možné kromě angličtiny nastavit i češtinu.

Dle mého lze zpětnou vazbu od uživatelů považovat za podstatnou, jelikož každý námět, ať už kladný nebo záporný, může mít vliv na další vývoj a inovaci programu.

Pomocí těchto softwarových nástrojů lze predikovat vývoj MU nebo je lze použít v rámci prevence. Proto je vhodné využívat tyto programy při tvorbě povodňových plánů, vnitřních a vnějších havarijních plánů, dalších plánovacích a strategických dokumentů.

Tabulka 7 Vyhodnocení hrozeb softwarových nástrojů

HROZBY (THREATS)	VÁHA	HODNOCENÍ	VÝSLEDNÁ HODNOTA
Nedostatek financí pro další rozvoj	0,1	-2	-0,2
Při problémech není jistá podpora výrobce	0,2	-1	-0,2
Klesající poptávka po produktech	0,1	-1	-0,1
Složitost použití	0,2	-2	-0,4
Selhání softwarového nástroje	0,3	-2	-0,6
VÝSLEDNÝ SOUČET			-1,5

Mezi hrozby byly zařazeny body, které by mohly ohrozit či zkomplikovat používání softwarových nástrojů.

Mezi primární hrozbu patří selhání softwarového nástroje, a to buď z důvodu výpadku elektrického proudu, bez něhož nelze výpočetní techniku využívat, nebo příčinou může být omezenost programu a tudíž jej nelze aplikovat pro potřebnou činnost.

Nelze garantovat podporu výrobce při potížích s používaným programem. Tato hrozba se může vyskytnout především u volně dostupných softwarových nástrojů.

Dále je zmíněna klesající poptávka po produktech, která úzce souvisí s cenou produktu, nabídkou konkurence na trhu a celkovou ekonomickou situací. S touto hrozbou může jít ruku v ruce i nedostatek finančních zdrojů pro další rozvoj a vývoj.

Na závěr SWOT analýzy bylo provedeno sečtení všech čtyř výsledných součtů $[3,6 + (-2,2) + 3,5 + (-1,5) = 4,4]$ a konečné číslo vyšlo jako kladné, což znamená, že příležitosti dominují nad hrozbami, tudíž lze konstatovat, že používání softwarových nástrojů má smysl a práce s programy, které jsou určeny k řešení MU, znamenají velký přínos v oblasti Krizového řízení a ochrany obyvatelstva. Je potřeba klást důraz na silné stránky a příležitosti. Na druhou stranu je nezbytné eliminovat slabé stránky a hrozby.

6 DISKUZE

V této kapitole práce jsou shrnuty veškeré informace, které se týkají softwarových nástrojů ve výzkumné části diplomové práce. Zabývá se modelací třemi představiteli MU - povodeň, únik nebezpečné chemické látky a požár.

V dnešní moderní době, kde významnou roli hrají technologie a výpočetní technika, zaujímá modelace a simulace různých mimořádných událostí podstatnou část v oblastech, jakou je havarijní plánování, územní plánování, krizové řízení nebo tvorba povodňových plánů. Právě softwarové nástroje, které lze na simulování a modelování použít, dokáží odborníkům v předmětné oblasti dát zjednodušenou představu o dané reálné situaci. Dávají odpovědi na otázky typu: Jaký rozsah MU bude mít?, Kdo a do jaké vzdálenosti bude ohrožen?, Jak se dále MU může vyvíjet?, Jaký zvolit postup při zásahu pro zvládnutí situace? atd. Zde hrají důležitou roli fyzikální veličiny, pro představu například: teplota prostředí, síla a směr větru, tlak, oblačnost, úhrn srážek, průtok korytem řeky. Ne všechny výše jmenované veličiny jsou potřebné pro každý typ MU. Každý program požaduje jiné vstupní informace v závislosti na druhu a typu řešené MU. Je potřeba říci, že jsou nezbytné pro tvorbu modelace a simulace, protože tvoří podstatnou část vstupních dat.

Nespornou výhodou většiny programů je, že dokáží své výstupy implementovat do mapových podkladů, kde je vyznačená zasažená zóna, což lze vidět např. na obrázku č. 11 nebo obrázku č. 22., kde jsou zobrazeny výstupy z použitých programů. Díky tomu si uživatel rychleji dokáže představit, jaké bezpečnostní opatření a pro jak velkou část území nebo objektu je nutné stanovit nebo kolik sil a prostředků bude potřeba vyčlenit na zvládnutí dané situace.

Simulace povodní byla provedena na řece Moravě ve městě Otrokovice se zaměřením na odloučený provoz společnosti DEZA a. s., pomocí dvou českých softwarových nástrojů POSIM a GEOSPAT.

Pomocí programu POSIM byla vygenerována stoletá povodeň a jak je patrné z obrázku č. 11 odloučený podnik DEZA a. s. by neměla ohrozit. Pro výstupy z programu GEOSPAT byly aplikovány data z digitální databáze vodohospodářských dat DIBAVOD, pomocí kterých byla vytvořena vrstva (obrázek č. 12) znázorňující zasaženou oblast, která následně byla implementována do Google Earth Pro. Jak je patrné z obrázku č. 15 nebo z detailního obrázku č. 17, objekt odloučeného provozu DEZA a. s. byl povodní zasažen.

Dle České asociace pojišťoven, kde byla zadána adresa podniku do povodňových map a následně vyhotovena „Zpráva o nebezpečí povodně“, tak odloučený provoz DEZA a. s. se nachází v rizikové zóně 3, což je zóna se středním nebezpečím výskytu povodně.

Z modelování vyplynulo, že program GEOSPAT je ideálním pomocníkem při tvorbě povodňových map, plánování povodňových opatření nebo podrobných analýz, ať už vzhledem k povodí, obci nebo konkrétnímu objektu a nezáleží na tom, kde se v České republice nachází. Tím byla **hypotéza č. 1 POTVRZENA**. Zatímco POSIM, ten byl vytvořen za účelem demonstrace povodně na středním toku Moravy. Tudíž je vhodný primárně pro výuku v předmětné oblasti a zatím to účelem byl i vyvinut.

Původně měl být místo programu GEOSPAT použit HEC-RAS, ale jelikož se naskytla příležitost využít český program GEOSPAT, tak mi přišlo vhodné představit nový program, který ještě nebyl aplikován v žádné práci. Zatímco HEC-RAS je využíván poměrně často.

Na modelaci pomalého odparu benzenu z louže v chemickém závodu DEZA a. s. sídlící ve Valašském Meziříčí, byl zvolen program Aloha a TerEx. Do obou programů byly zadány totožné vstupní informace. Ještě měl být použit program RMP*comp, jenže jeho chemická databáze nedisponovala zvolenou nebezpečnou chemickou látkou - benzenem.

Jak je patrné z tabulky č. 2, kde jsou srovnány výstupy z programů, tak Aloha vykazuje větší zasaženou zónu od epicentra než softwarový nástroj TerEx. Dle výpočtu softwarového nástroje Aloha lze pociťovat mírné nepříznivé působení benzenu na zdravotní stav jedince až do vzdálenosti 816 metrů od epicentra. Zatímco TerEx doporučuje provedení průzkumu toxické koncentrace od místa úniků jen do vzdálenosti 633 metrů. Z toho lze vyvodit, že Aloha je ve výpočtu vzdálenosti obezřetnější oproti programu TerEx. Je zřejmé, že primárně by byl zasažen areál chemického závodu DEZA a. s., ale také by únik mohl ohrozit objekty v bezprostřední blízkosti, jako je CS CABOT spol., s. r. o.; TERMOLUX, s. r. o.; CEMEX Czech Republic, s. r. o., nebo Agropodnik, a.s. Valašské Meziříčí.

Při zamyšlení nad klady a zápory obou programů, lze vyzdvihnout především jednoduchost programu TerEx, který je dle mého vhodný i pro laiky, kteří nejsou hlouběji erudováni v dané problematice. Další nespornou výhodou programu je že uživatelské rozhraní disponuje češtinou, jelikož pochází z tvorby české firmy T-Soft a. s. Dle Petra Skřehota lze záporně hodnotit absenci výpočtu dosahu referenčních koncentrací a nepřítomnost v rozšířeném zadání vstupních informací, určovat např. třídu stability atmosféry. [16]

Program Aloha lze považovat za sofistikovanější oproti TerExu, a to především z toho důvodu, že lze do vstupních dat zadat podrobnější informace. Dle mého názoru je možné brát za částečně svazující fakt,

že uživatelské rozhraní je v angličtině nikoli češtině. Skřehot ve svém díle uvedl, že tzv. free verze, kterou lze stáhnout na stránkách výrobce neumožňuje zobrazit výstupní data v mapovém podkladu, což s tímhle tvrzením už nelze souhlasit, protože při stažení MARPLOT lze výstupy vykreslit do mapy i z volně dostupné verze. [16]

Na modelaci požáru byl vybrán program BRANZFIRE, všechny údaje, které bylo třeba zadat do programu lze vidět na obrázku č. 24, kde je celkový přehled. Kladně lze hodnotit uživatelské rozhraní, které je vcelku přehledné a k tomu vytvořenou uživatelskou příručku.

Ze SWOT analýzy vyplynulo, že silné stránky dominují nad slabými a příležitosti nad hrozbami, tudíž lze konstatovat, že používání softwarových nástrojů má smysl a je nutné klást důraz na silné stránky a příležitosti, zatímco slabé stránky a hrozby eliminovat. Jestliže má být dosaženo správné a co nejpřesnější modelace, je zapotřebí vybrat správný softwarový nástroj, což není tak jednoduché, jak se na první pohled může zdát. Při výběru jednotlivých programů se musí brát zřetel, pro jaký účel bude softwarové vybavení používáno a co má modelace primárně zohledňovat. Z toho plyne, že když dojde k odstranění slabin programů, tak se zvětší efektivita používání softwarových nástrojů v oblasti krizového řízení a ochrany obyvatelstva. Pomocí těchto softwarových nástrojů lze totiž predikovat vývoj MU nebo je lze použít v rámci prevence. Proto je vhodné využívat tyto programy při tvorbě povodňových plánů, vnitřních a vnějších havarijních plánů, dalších plánovacích a strategických dokumentů. **Hypotéza č. 2 byla POTVRZENA.**

Dle mého názoru by měla probíhat častěji osvěta z této oblasti, aby si pracovníci, jak u záchranných složek, tak např. pracovníci na odborech krizového řízení na městských úřadech, zvykli využívat tyto softwarové nástroje

na denní bázi. Dále pokládám za nutné, aby výše zmíněným byl umožněn výběr alespoň ze dvou programů, které se zabývají určitým typem MU. Při kupování licencí vybraných programů, je potřeba si nejprve říct, na co má daný program sloužit a jaké jsou požadované výstupy, aby bylo docíleno efektivní práce.

Dle mého názoru, by měl být věnován větší prostor výuce zaměřující na softwarové nástroje, které se používají k modelaci MU, u oboru typu Ochrana obyvatelstva, Civilní nouzové plánování apod.

7 ZÁVĚR

Primárním cílem této diplomové práce bylo analyzovat problematiku softwarových nástrojů pro modelaci mimořádných událostí a případně navrhnout doporučení pro zlepšení efektivity používání těchto programů v oblasti krizového řízení a ochrany obyvatelstva.

První část práce se snažila přiblížit základ dané problematiky, kde jsou vymezeny základní pojmy a členění mimořádných událostí s návazností na popis třech vybraných – povodeň, únik nebezpečné chemické látky a požár. Poté je zmíněn geografický informační systém, jenž je nedílnou součástí softwarové podpory. Následně jsou představeny konkrétní programy, které lze získat na dnešním trhu, ať už se jedná o komerční nebo volně dostupné, např. GEOSPAT, VLNA, MIKE FLOOD, TerEx, Aloha, WHAZAN, RMP*comp, Argos, CFAST nebo BRANZFIRE.

Jádro práce tvoří modelace povodně na řece Moravě ve městě Otrokovice pomocí programu GEOSPAT a POSIM, únik nebezpečné chemické látky z podniku DEZA a. s. ve Valašském Meziříčí programem Aloha a TerEx a nakonec požár v uzavřené místnosti s představením programu BRANZFIRE. Pro ucelený pohled na softwarové nástroje v oblasti krizového řízení a ochrany obyvatelstva byla udělána komparace použitých programů a vytvořena SWOT analýza.

Pro zlepšení efektivity používání těchto softwarových nástrojů v zájmové oblasti je nejdůležitější výběr správného programu, což není vždy jednoduché, je tedy nutné se zaměřit na primární faktory, které chceme v simulaci zohlednit.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
ČR	Česká republika
ERPG	Emergency Response Planning Guidelines
GIS	Geografický informační systém
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
IZS	Integrovaný záchranný systém
KS	Krizová situace
MU	Mimořádná událost
NCHL	Nebezpečná chemická látka
Q _n	N-letá povodeň
ZaLP	Záchranné a likvidační práce

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Úplné znění: Krizové zákony; Hasičský záchranný sbor; Požární ochrana.* Redakční uzávěrka 14. 12. 2015. Ostrava: Sagit, 2015. ÚZ. ISBN 978-80-7488-135-0.
- [2] KOPECKÝ, TIKEROVÁ, ŠIMAN, KOUCKÁ a VOPIČKA. Ochrana obyvatelstva za mimořádných událostí. In: *Katedra antropologie a zdravotní vědy* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: http://oldwww.upol.cz/fileadmin/user_upload/PdF-katedry/KAZ/FRVS/21_Priloha_8_Studijni_materialy_OOMU_Kopecky.pdf
- [3] VIČAR, Dušan a Radim VIČAR. *Vybrané aspekty práva bezpečnosti a obrany České republiky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-80-7454-279-4.
- [4] KROUPA, Miroslav a Milan ŘÍHA. *Integrovaný záchranný systém*. 4. aktualizované vyd. Praha: ARMEX PUBLISHING s.r.o., 2011. ISBN 978-80-87451-01-4.
- [5] HORÁK, Rudolf, Lenka DANIELOVÁ, Ludvík JURÍČEK a Ladislav ŠIMÁK. *Zásady ochrany společnosti*. Ostrava: Key Publishing, 2015. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-236-5.
- [6] *Úplné znění: Životní prostředí*. Redakční uzávěrka 6. 2. 2017. Ostrava: Sagit, 2017. ÚZ. ISBN 978-80-7488-216-6.
- [7] ADAMEC, Vilém. *Ochrana před povodněmi a ochrana obyvatelstva*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-118-7.
- [8] ŠAFR, Gustav, ed. *Ochrana obyvatelstva v případě krizových situací a mimořádných událostí nevojenského charakteru I*. Brno: Tribun EU, 2014. ISBN 978-80-263-0721-1.

- [9] KRÖMER, Antonín, Petr MUSIAL a Libor FOLWARCZNY. *Mapování rizik*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-086-9.
- [10] TARČÁNI, Ondrej. *Teorie a praxe krizového řízení I. 2.*, doplněné a upravené vydání. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2015. ISBN 978-80-7251-435-9.
- [11] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management IV*. Zlín: VeRBuM, 2014. ISBN 978-80-87500-57-6.
- [12] *Simulator3D* [online]. Praha: Centrum pro bezpečný stát o.s., 2015 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://www.simulator3d.eu/>
- [13] Vzdělávání a výcvik v oblasti povodňové ochrany s využitím simulačních technologií. In: *Ochranaobyvatel.cz* [online]. Prah: Centrum pro bezpečný stát, 2013, 4/2015 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: https://www.ochranaobyvatel.cz/3dpovoden-cz/o-projektu/files/160303153244_0001.pdf
- [14] Mapování povodňových rizik v České republice. In: *VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, v. v. i.* [online]. Praha: VÚV TGM, 2018 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: http://www.vuv.cz/files/pdf/aktuality/2014-06-11_mapy_povodnoveho_nebezpeci_a_povodnovych_rizik/doprovodne_materialy/Mapy-povodnovych-rizik.pdf
- [15] Terminologický slovník pojmů z oblasti krizového řízení, ochrany obyvatelstva, environmentální bezpečnosti a plánování obrany státu. In: *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, 2018, 8. 6. 2016 [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/terminologicky-slovník-krizove-řízení-a-planovani-obrany-statu.aspx>

- [16] SKŘEHOT, Petr. *Prevence nehod a havárií: 2. díl: mimořádné události a prevence nežádoucích následků*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009. ISBN 978-80-86973-73-9.
- [17] Co je GIS? In: *Geoportal Praha: GEOGRAFICKÁ DATA PRAHY NA JEDNOM MÍSTĚ* [online]. Praha, 2010 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://www.geoportalpraha.cz/cs/clanek/11/co-je-gis#.WHSTFPnhDIX>
- [18] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií I*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 80-866-3489-2.
- [19] *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení: Skripta*. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2015. ISBN 978-80-86466-62-0.
- [20] Řízení rizik BOZP a jeho uplatnění při integraci systémů řízení. In: *BOZPinfo: Oborový portál pro BOZP* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, ©2002-2018, 2007 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/rizeni-rizik-bozp-jeho-uplatneni-pri-integraci-systemu-rizeni>
- [21] *STRATEGIE OCHRANY PŘED POVODNĚMI PRO ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY: Praktická příručka* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 2000 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/sopp.pdf
- [22] Projekty vyhodnocení povodní. *Český hydrometeorologický ústav: Úsek hydrologie* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2014, 2014 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov/index.html>
- [23] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. 10 let po velké povodni (2002). In: *Youtube* [online]. 2012 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=zloU6XNeHXM&feature=plcp>
- [24] *Souhrnná zpráva o povodni v srpnu 2002: Povodí Vltavy, státní podnik* [online]. Praha: Vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, s.p., 2003 [cit. 2018-03-

- 13]. Dostupné z: http://www.dibavod.cz/data/povodnove_zpravy/vltava/vltava_08_2002.pdf
- [25] KONSPEKTY ODBORNÉ PŘÍPRAVY: KONSPEKTY ODBORNÉ PŘÍPRAVY I. *Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. Praha: Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, c2018 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/konspekty-odborne-pripravy-i.aspx?q=Y2hudW09Nw%3d%3d>
- [26] ČESKO. Vyhláška č. 246/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS, 2018 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246>
- [27] Statistika: Statistické ročenky Hasičského záchranného sboru ČR. Hasičský záchranný sbor České republiky: Chráníme vaše životy, zdraví a majetek [online]. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2017 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>
- [28] MIKE FLOOD: Urban, coastal and riverine flooding. In: *MIKE Powered by DHI* [online]. Denmark: DHI [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-flood>
- [29] Přehled dostupných programů pro modelování povodní. In: *Moodle: Univerzita obrany v Brně* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/18797/mod_resource/content/2/P%C5%99ehled%20program%C5%AF%20pro%20mod.povodn%C3%AD.pdf
- [30] Contact us. In: *MIKE Powered by DHI* [online]. Denmark: DHI [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/contact-us>
- [31] BARTA, Jiří. INFORMAČNÍ SYSTÉMY PRO KRIZOVÉ ŘÍZENÍ: Použití informačních systémů pro modelování a simulace krizových situací.

- In: Moodle: Univerzita obrany v Brně [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/16042/mod_resource/content/2/Vyu%C5%BEit%C3%AD%20programu_Vlna.pdf
- [32] KUČERA, Petr a Zdeňka PEZDOVÁ. *Základy matematického modelování požáru*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-095-1.
- [33] MARTÍNEK, Bohumír. *Ochrana člověka za mimořádných událostí: příručka pro učitele základních a středních škol*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2003. ISBN 80-866-4008-6.
- [34] Sbírka zákonů ČR. *Zákony pro lidi.cz* [online]. AION CS, c2010-2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/sbirka>
- [35] SKŘEHOT, Petr. *Prevence nehod a havárií: 1. díl: nebezpečné látky a materiály*. Česko: PINK PIG, 2009. ISBN 978-80-86973-70-8.
- [36] HRUBÝ, Martin. *Geografické Informační Systémy (GIS): Studijní opora* [online]. In: Září 2006 [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: <http://perchta.fit.vutbr.cz/vyuka-gis/uploads/1/GIS-final2.pdf>
- [37] Přehled dostupných programů pro modelování povodní. In: Moodle [online]. Brno, <https://moodle.unob.cz/> In: 2015 [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/18797/mod_resource/content/2/P%C5%99ehled%20program%C5%AF%20pro%20mod.povodn%C3%AD.pdf
- [38] HEC-RAS. In: *Hydrologic Engineering Center: U.S. Army Corps of Engineers* [online]. [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [39] Hydrocheck. In: *HYDROSOFT Veleslavín* [online]. Praha: HYDROSOFT Veleslavín, c2018 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://www.hydrosoft.cz/produkty/hydrocheck/>

- [40] ALOHA Software. In: *EPA: United States Environmental Protection Agency* [online]. 2018 [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
- [41] DAMBRK: Overview. In: *BOSS International* [online]. BOSS International, c2018 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.bossintl.com/dambrk-overview.html>
- [42] VIČAR, Dušan, Jan STROHMANDL, Ivan PRINC, Jakub RAK, Ivan MAŠEK a Danuše ULČÍKOVÁ. Vzdělávání v oblasti bezpečnosti a ochrany obyvatelstva [online]. In: Uherské Hradiště, 2016 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.population-protection.eu/prilohy/casopis/31/235.pdf>
- [43] POSIM [online]. Praha: T-Soft [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://app.ucebnakr.fbmi.cvut.cz/posim/>
- [44] TERoristický EXpert. In: *T-SOFT* [online]. Praha: T-SOFT, 2017 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://www.tsoft.cz/teroristicky-expert/>
- [45] Zdroj: Program TerEx. Dostupný na FBMI v Kladně.
- [46] OVČÁČÍK, Radek. Přehled a možnosti informačních systémů pro modelování krizových situací. *Ochrana & Bezpečnost* [online]. Praha, 2014, 3(2), 17 [cit. 2018-05-02]. ISSN 1805-5656. Dostupné z: http://ochab.ezin.cz/O-a-B_2014-2015_B/2014-2015_B_08_ovcacik.pdf
- [47] RMP*Comp. *EPA: United States Environmental Protection Agency* [online]. 2018 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://cdxnodengn.epa.gov/cdx-rmp-maintain/action/rmp-comp>
- [48] EFFECTS Advanced, easy-use Consequence Analysis. In: *TNO: Innovation for life* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/environment-sustainability/public-safety/effects-advanced-easy-to-use-consequence-analysis/>

- [49] Rozex Alarm. In: *TLP* [online]. Praha: TLP spol. s r.o., 2017 [cit. 2018-05-02].
Dostupné z: <http://www.tlp-emergency.com/rozex.html>
- [50] Process hazard analysis software - Phast. In: *DNV GL* [online]. DNV GL AS, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-software-phast-1675>
- [51] *HGSYSTEM* [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.hgsystem.com/hgweb.html>
- [52] *Complex Hazardous Air Release Model* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.charmmodel.com/index.aspx>
- [53] *DBI FIRE AND SECURITY* [online]. Denmark: DBI [cit. 2018-04-19].
Dostupné z: <https://brandogsikring.dk/en/>
- [54] BRANZFIRE FEATURES. In: *BRANZ* [online]. New Zealand [cit. 2018-04-22].
Dostupné z: https://www.branz.co.nz/cms_display.php?sn=74&st=1&pg=9454
- [55] MÜLLEROVÁ, Jana a Miroslav FELCAN. *Modelovanie vnútorných požiarov*. Hodonín: Evropský ústav práva a soudního inženýrství Česká republika, 2017. ISBN 978-80-906601-1-3.
- [56] SMARTFIRE LEAFLETS. In: *FIRE SAFETY ENGINEERING GROUP* [online]. University of Greenwich, c2003-2018 [cit. 2018-04-27].
Dostupné z: <https://fseg.gre.ac.uk/leaflets/smartfireleaflets.html>
- [57] GRASSEOVÁ, Monika, Radek DUBEC a David ŘEHÁK. *Analýza podniku v rukou manažera: 33 nejpoužívanějších metod strategického řízení*. Brno: CPRESS, 2010. ISBN 978-80-251-2621-9.
- [58] *GEOSPAT* [online]. Brno: GEOSPAT, 2018 [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.geospat.cz/>
- [59] ŠEFČÍK, Vladimír. *Analýza rizik*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-807-3186-968.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Základní dělení mimořádných událostí	12
Obrázek 2 Analýza rizik.....	15
Obrázek 3 GIS komponenty	26
Obrázek 4 Pracovní okna HEC-RAS	30
Obrázek 5 Ukázka modelace 3D výbuchu pomocí programu PHAST	38
Obrázek 6 Grafický výstup z programu CHARM	40
Obrázek 7 Uživatelské prostředí při modelaci požáru ve SMARTFIRE.....	42
Obrázek 8 Grafický výstup z FARSSIDE	43
Obrázek 9 Složky SWOT analýzy	47
Obrázek 10 Mapa záplavového území v Otrokovicích	49
Obrázek 11 Simulace POSIM - Q100 na řece Moravě (Otrokovice).....	49
Obrázek 12 Výsledná vrstva s gradientem.....	50
Obrázek 13 Rychlost a směr proudění kapaliny.....	51
Obrázek 14 Výsledná modelace zobrazena Google Earth Pro	51
Obrázek 15 Znázorněné záplavové území v okolí společnosti DEZA a. s.	52
Obrázek 16 Vrstvy vytvořené přímo pro objekt podniku DEZA a.s.....	52
Obrázek 17 Detailní pohled na zaplavený podnik DEZA a. s.....	53
Obrázek 18 Základní parametry benzenu z programu TerEx.....	54
Obrázek 19 Aloha – textový výstup	55
Obrázek 20 Grafický výstup z programu Aloha – zasažená oblast	56
Obrázek 21 TerEx – textový výstup	57
Obrázek 22 Grafický výstup z TerExu – zasažená oblast v podniku DEZA, a.s.....	58
Obrázek 23 Uživatelské prostředí programu BRANZFIRE.....	60
Obrázek 24 Textový výstup – BRANZFIRE	61

11 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Požáry v letech 2010-2017	21
Graf 2 Úniky nebezpečných chemických látek v letech 2010-2017	23

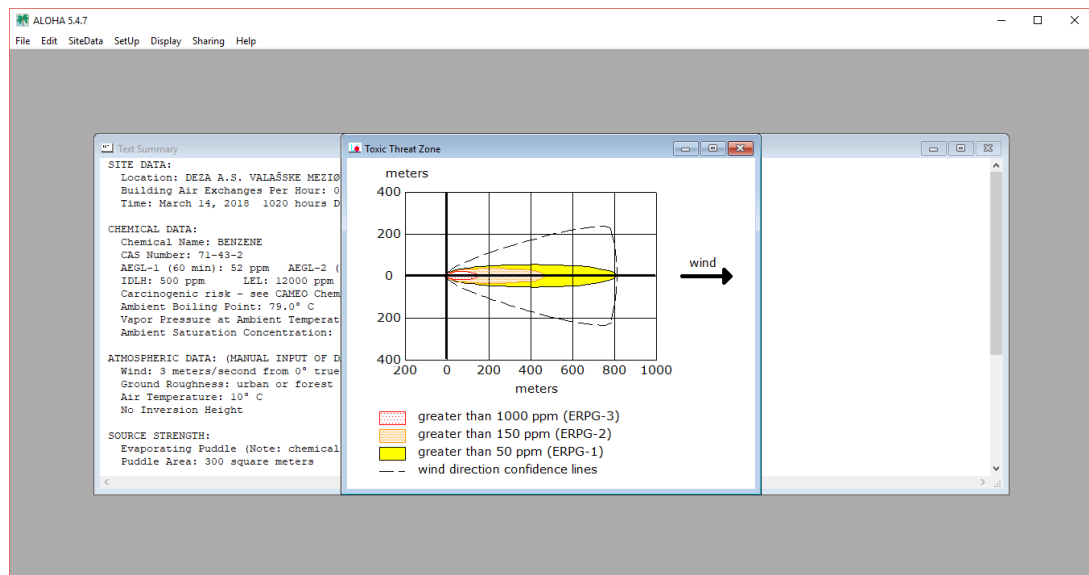
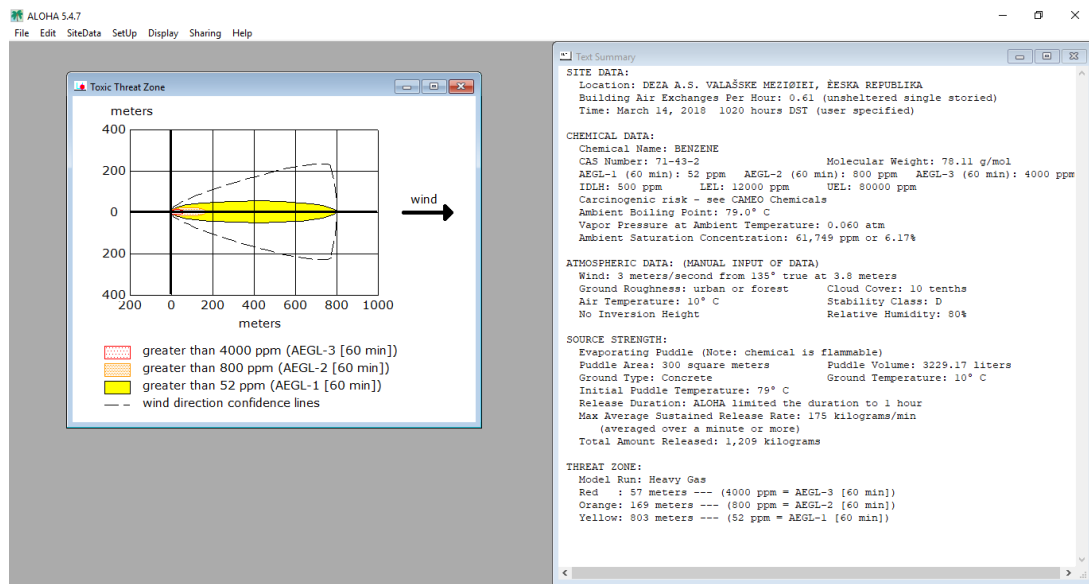
12 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 Povodně od roku 2000 v číslech.....	19
Tabulka 2 Komparace výstupu ze softwarového nástroje ALOHA a TEREX	59
Tabulka 3 SWOT Analýza	62
Tabulka 4 Vyhodnocení silných stránek softwarových nástrojů.....	63
Tabulka 5 Vyhodnocení slabých stránek softwarových nástrojů.....	64
Tabulka 6 Vyhodnocení příležitostí softwarových nástrojů	65
Tabulka 7 Vyhodnocení hrozeb softwarových nástrojů	66

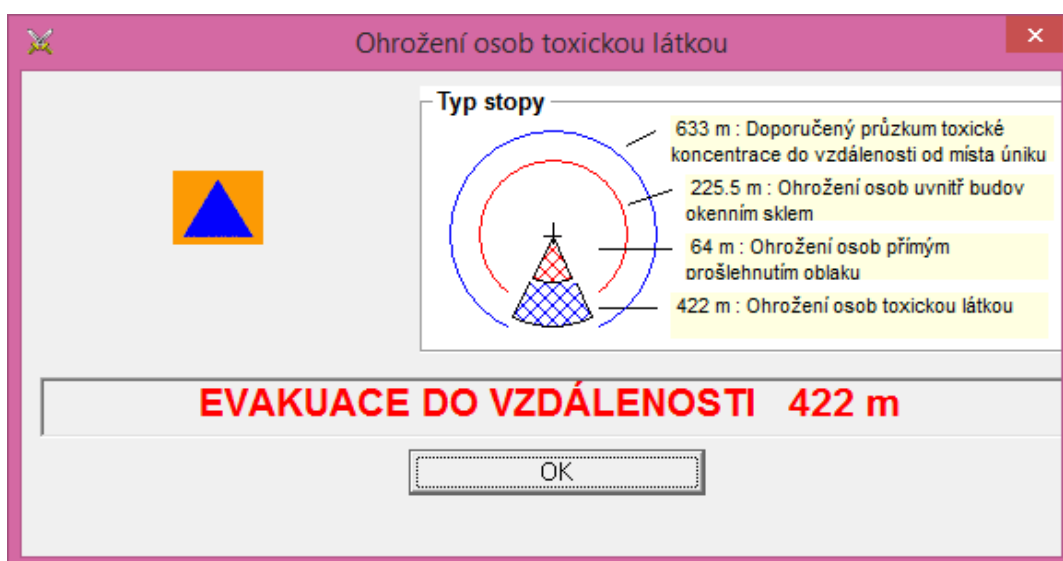
13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výstup z programu Aloha	87
Příloha 2: Výstupy z programu TerEx.....	88

Příloha 1: Výstup z programu Aloha

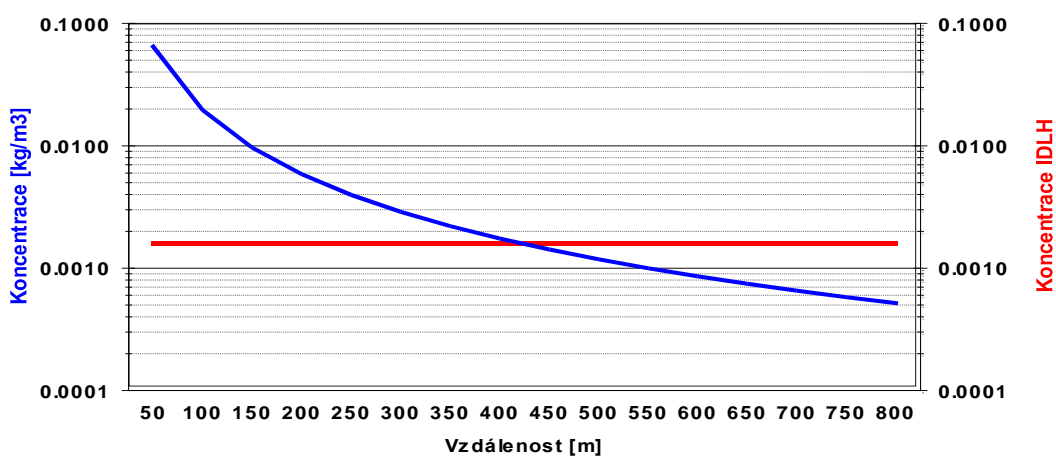


Příloha 2: Výstupy z programu TerEx



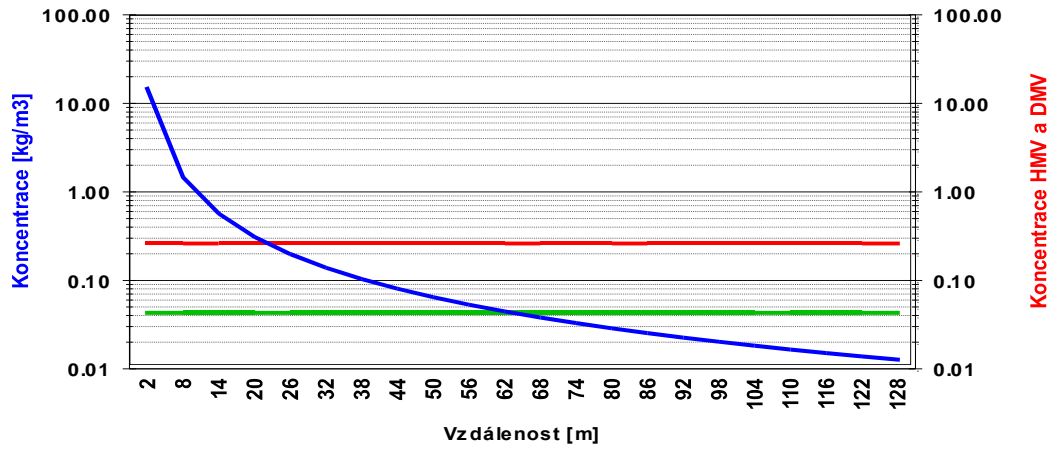
Evakuace osob je nezbytná do vzdálenosti, ve které koncentrace látky klesne pod hodnotu IDLH

Graf doporučeného průzkumu (ohrožení toxickou látkou)



K výbuchu může dojít v mezích koncentrací H_{MV} a D_{MV}

Graf oblasti možného výbuchu



Poškození budov / osob mimo budovy / poranění střepy

Graf ohrožení výbuchem

