



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Aneta Komárková

**SCÉNÁŘE PRO OVĚŘENÍ RUNWAY INCURSION NA
LETIŠTI PRAHA S VYUŽITÍM SAFETY-I**

Bakalářská práce

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621**Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Aneta Komárková

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Scénáře pro ověření runway incursion na letišti
Praha s využitím Safety-I**

Název tématu (anglicky): Runway Incursion Scenarios at Prague Airport with the
Utilization of Safety-I

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cíl práce: Návrh provozních scénářů pro ověření fenoménu runway incursion v podmínkách Pražského letiště, s využitím metod dle teorie Safety-I
- Analýza dostupných metod Safety-I
- Výběr vhodné metody pro modelování problému runway incursion
- Tvorba vlastního modelu runway incursion v podmínkách Pražského letiště
- Návrh scénáře a možných alternativ pro realizaci studie fenoménu runway incursion na leteckém simulátoru
- Vyhodnocení celkového řešení



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Reason, J. The Contribution of Latent Human Failures to the Breakdown of Complex Systems. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 327 (1241): 475–484, 1990.
Dekker, S. The Field Guide to Understanding 'Human Error'. Ashgate, 2014.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Slobodan Stojić
Ing. Andrej Lališ, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

9. října 2019

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

10. srpna 2020

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Aneta Komárková
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2019

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucím mé bakalářské práce, panu Ing. Andreji Lališovi, Ph.D. a Ing. Slobodanu Stojícívi, Ph.D., za jejich pomoc při výběru tématu. Také za jejich velkou ochotu, čas, trpělivost, cenné rady a odborné vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za morální podporu.

Prohlášení

„Nemám závazný důvod proti užívání 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).“

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 10. srpna 2020



podpis

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je prozkoumání problematiky runway incursion a pomocí vhodné metody Safety-I vytvoření vlastního modelu pro určitý typ runway incursion, konkrétně nesprávné uvolnění vzletové a přistávací dráhy na jinou vzletovou a přistávací dráhu namísto pojezdové dráhy. Cílem práce je návrh provozních scénářů pro ověření fenoménu runway incursion v podmínkách Pražského letiště, s využitím metod dle teorie Safety-I. Scénáře byly navrženy na základě vytvořeného modelu, který byl sestaven z faktorů ovlivňující vznik runway incursion. Bakalářská práce umožňuje ověření runway incursion v leteckém simulátoru s virtuální realitou na základě vytvořených letových scénářů.

Klíčová slova

Runway incursion, Safety-I, FTA, Letový scénář, Přispívající faktory, Provozní bezpečnost

Abstract

This thesis deals with the issue of runway incursion and creates a model for a certain type of runway incursion, namely incorrect clearance of the runway to another runway instead of the taxiway. based on a suitable Safety-I method. The aim of the thesis is to design operational scenarios for verifying the phenomenon of runway incursion in the conditions of Prague Airport, using methods according to the theory of Safety-I. Scenarios were designed on the basis of the created model, which was compiled of factors influencing the emergence of runway incursion. The bachelor's thesis enables verification of runway incursion in a flight simulator with virtual reality based on created flight scenarios.

Keywords

Runway incursion, Safety-I, FTA, Flight scenario, Contributing factors, Operational safety

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
1 ÚVOD	9
2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	11
2.1 Runway incursion	11
2.1.1 Kategorizace runway incursion podle závažnosti [1]	11
2.2 Výskyt runway incursion	12
2.2.1 Příklady známých nehod v důsledku runway incursion [8] [9]	15
2.3 Současný stav známých řešení	15
2.3.1 Nejčastější scénáře runway incursion [1]	16
2.3.2 Faktory lidského činitele (Pilot a ATCO) [1]	17
2.3.3 Rozbor studií	18
3 METODIKA ŘEŠENÍ PRÁCE	27
3.1 Safety-I [15]	27
3.1.1 Modely Safety-I	28
3.2 Fault tree analýza [20] [21]	32
3.3 Virtuální realita (VR) [26] [27] [28] [29]	33
3.3.1 Historie VR	34
3.3.2 Letecký simulátor	34
4 VÝSLEDKY PRÁCE	37
4.1 Runway incursion na letišti Václava Havla v Praze	37
4.2 Fault tree diagram	38
4.2.1 Detailní rozbor Fault tree diagramu	40
4.3 Návrh scénářů runway incursion	46
5 Diskuze	50
6 ZÁVĚR	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	53
SEZNAM OBRÁZKU	56

SEZNAM TABULEK.....57

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADREP	Hlášení dat o nehodách/incidentech	Accident/Incident Data Reporting
AHP	Analytický hierarchický proces	Analytic Hierarchy Process
ATCO	Řídící letového provozu	Air Traffic Control Officer
ATM	Řízení letového provozu	Air Traffic Management
EASA	Agentura EU pro bezpečnost letectví	European Union Aviation Safety
EVAIR	EUROCONTROL dobrovolné hlášení incidentů ATM	EUROCONTROL Voluntary ATM Incident Reporting
FMEA	Analýza možného výskytu a vlivu vad	Failure Mode and Effect Analysis
FTA	Analýza stromu poruchových stavů	Fault Tree Analysis
HAZOP	Studie nebezpečí a provozuschopnosti	Hazard and Operability Safety Analysis
HMD	Brýle pro virtuální realitu	Head Mounted Display
IATA	Mezinárodní asociace leteckých dopravců	International Air Transport Association
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví	International Civil Aviation Organization
LKKV	Letiště Karlovy Vary	Karlovy Vary Airport
LKMT	Letiště Leoše Janáčka Ostrava	Leoš Janáček Airport Ostrava
LKPR	Letiště Václava Havla Praha	Václav Havel Airport Prague
LKTB	Letiště Brno – Tuřany	Brno – Tuřany Airport
RWY	Vzletová a přistávací dráha	Runway
ŘLP	Řízení letového provozu České republiky	Air Navigation Services of the Czech Republic
SMS	Systém řízení provozní bezpečnosti	Safety Management System
TWY	Pojezdová dráha	Taxiway

ÚZPLN	Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod	Air Accidents Investigation Institute
VR	Virtuální realita	Virtual reality

1 ÚVOD

V letecké dopravě je bezpečnost velice důležitým pojmem. Stále se vyvíjí nové procedury za účelem zlepšení a zvýšení provozní bezpečnosti, jelikož vysoká úroveň bezpečnosti je potřebná pro beznehodový a kvalitní letecký provoz. V kontextu provozní bezpečnosti se odborníci zabývají různými fenomény, které ji ovlivňují. Takovýmto fenoménem je runway incursion (nepovolený vstup na vzletovou a přistávací dráhu). Runway incursion snižuje bezpečnost na vzletové a přistávací dráze, ohrožuje účastníky letového provozu, hlavně ty, kteří se nachází na vzletové a přistávací dráze (piloty, cestující, řidiče vozidel).

Cílem práce je návrh provozních scénářů pro ověření fenoménu runway incursion v podmínkách Pražského letiště, s využitím metod dle teorie Safety-I. Události runway incursion se stále dějí a jsou fenoménem dnešní doby. Data Řízení letového provozu České republiky (ŘLP) a Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod (ÚZPLN) říkají, že v roce 2019 bylo zaznamenáno 11 těchto událostí na letišti v Praze. Již existují studie, které pojednávají o problematice runway incursion, avšak v dnešní době máme nové možnosti pro zkoumání tohoto fenoménu, které vznikají souběžně s vývojem nových technologií. Jedná se například o letecké simulátory s virtuální realitou, které nabízí uživatelům možnost nahlédnout do kokpitu letadla a vyzkoušet si, jaké to je letadlo ovládat, proto se pokusím navrhnout scénáře, s pomocí kterých by bylo možné zkoumat v tomto typu leteckého simulátoru fenomén runway incursion.

Tato práce se zabývá pohledem Safety-I. Teorie Safety se od původního pohledu posunula, dnes máme dva pohledy, ten původní Safety-I a novější, zatím méně prozkoumaný Safety-II. I přestože existuje nový pohled na teorii Safety, Safety-I je stále relevantní, jelikož Safety-II ji nenahrazuje, ale doplňuje. Má práce je jednou ze dvou souběžných bakalářských prací, přičemž orientovaná na Safety-I, proto se pohledu Safety-II na problematiku runway incursion nebudu zabývat. V závislosti na teorii Safety-I dojde k analýze dostupných metod Safety-I a výběru vhodné metody pro modelování problému runway incursion, na jejichž základě bude vytvořen model runway incursion v podmínkách letiště Václava Havla v Praze.

Scénáře zajišťují uniformitu měření, jednotlivé podmínky obsažené ve scénáři by měly zvýšit pravděpodobnost výskytu runway incursion. Umožňují tedy ověřit, jaká je pravděpodobnost, že runway incursion vznikne na základě jednoho elementu nebo spojením více elementů. Simulátor s virtuální realitou je schopen simulovat reálný vzlet, přilet, pojiždění, veškeré části letu včetně ovládání letadla, dokonce subjektům umožňuje cítit se, jako v reálném letadle. Avšak bez jednotných podmínek pro všechny subjekty není možné získat kvalitní výsledky. Právě scénáře zjednoduší ověření celé problematiky.

Tato práce byla realizována jako studie pro výzkumný projekt realizovaný Ústavem letecké dopravy FD ČVUT v Praze ve spolupráci s Letištěm Praha, a.s. zaměřený na problematiku bezpečnosti přiblížení a přistání na Letišti Václava Havla v Praze. Práce je zaměřena na sumarizaci dosavadní znalosti o fenoménu runway incursion a její zpracování do podoby vhodné pro simulaci tohoto fenoménu na Pražském letišti, s využitím virtuální reality.

2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

V této kapitole je popsána definice runway incursion a současný stav, statistika jejich výskytu na letišti v Praze, v Evropě a ve světě. Dále obsahuje rozbor známých řešení této problematiky.

2.1 Runway incursion

V současné době nejvíce ovlivňuje bezpečnost na dráze runway incursion. Přestože se nejedná o novou problematiku, je toto téma pořád velice aktuální, jelikož se zvyšujícím se provozem také vzrůstá potenciál růstu počtu událostí runway incursion. [1] Statistika počtu událostí runway incursion je zobrazena v podkapitole 2.2.

Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) definuje runway incursion jako: „Jakákoliv událost na letišti, která je spojená s nesprávnou polohou letadla, vozidla nebo člověka v chráněné oblasti, která je určena pro přistání a vzlet letadel“. [1]

K nepovoleným vstoupením na přistávací dráhu dochází poměrně často, ať už zaviněním letadla, vozidla nebo vstupem člověka. Ačkoli se většinou jedná o neoprávněný vstup pouze jednoho letadla, které neohrožuje provoz, a tedy riziko představující kolizi je malé, tak dochází i k velice vážným nehodám. [2] Tyto nepovolené vstupy vedou ke kolizím, při kterých může dojít k ohrožení zdraví jak cestujících tak i posádky letadla. [1] Následující podkapitola definuje základní kategorie runway incursion.

2.1.1 Kategorizace runway incursion podle závažnosti [1]

Události jako runway incursion každoročně ovlivňují bezpečnost celkového systému letecké dopravy. Každý případ, kdy dochází k nepovolenému vstupu na dráhu, je rozdělen do tříd závažnosti. Třídy závažnosti A-E jsou definovány takto:

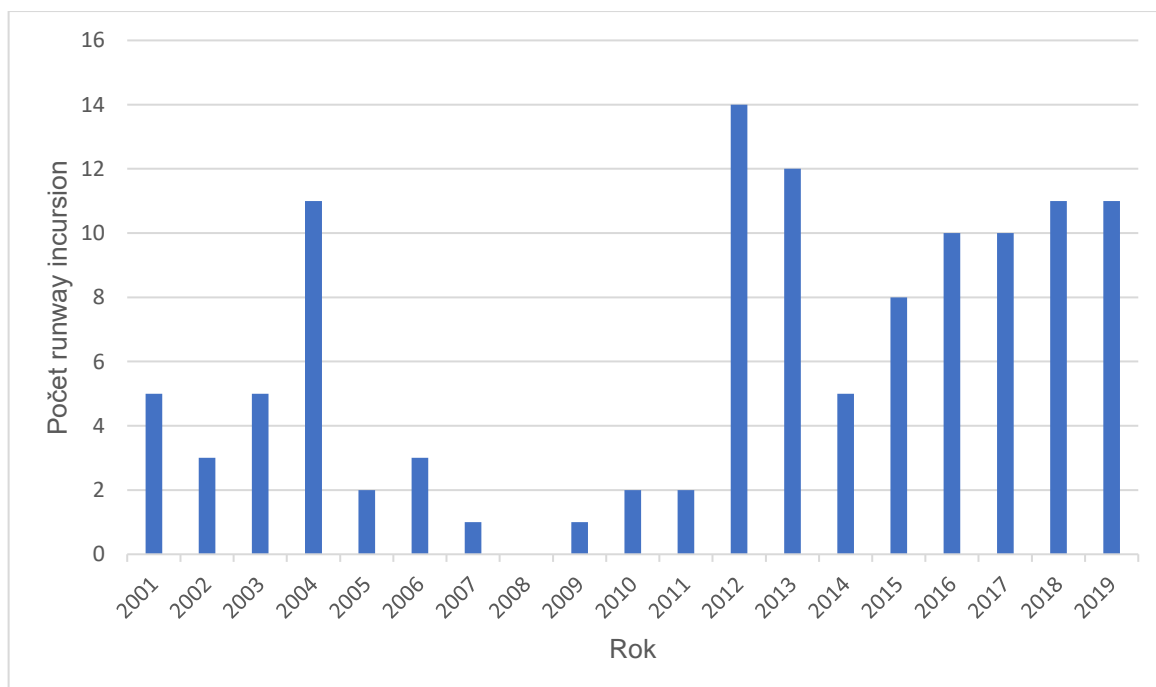
- Kategorie A zahrnuje velice vážné nehody, kde kolize byla odvrácena na poslední chvíli.
- Kategorie B zahrnuje případy, kde separace se snižuje a vzrůstá potenciál kolize, což může vést k časové kritické nápravné/vyhýbací reakci, aby se zabránilo kolizi.
- Kategorie C zahrnuje případy charakteristické dostatečným množstvím času a/nebo vzdáleností k zabránění kolizi.

- Kategorie D zahrnuje případy, kdy se letadlo, vozidlo nebo člověk vyskytuje bez povolení na dráze určené pro vzlet a přistání letadla, ale bez okamžitých bezpečnostních následků.
- Kategorie E zahrnuje případy, kdy došlo k zabránění posouzení vážnosti situace z důvodu nepostačujících informací nebo z neprůkazných důkazů.

Všechny případy runway incursion by se měly zaznamenat a prošetřit. Je velice důležité zjistit příčinu nehody a vyvodit následky či preventivní opatření. Včasný záznam nehody umožňuje dospět ke správným závěrům.

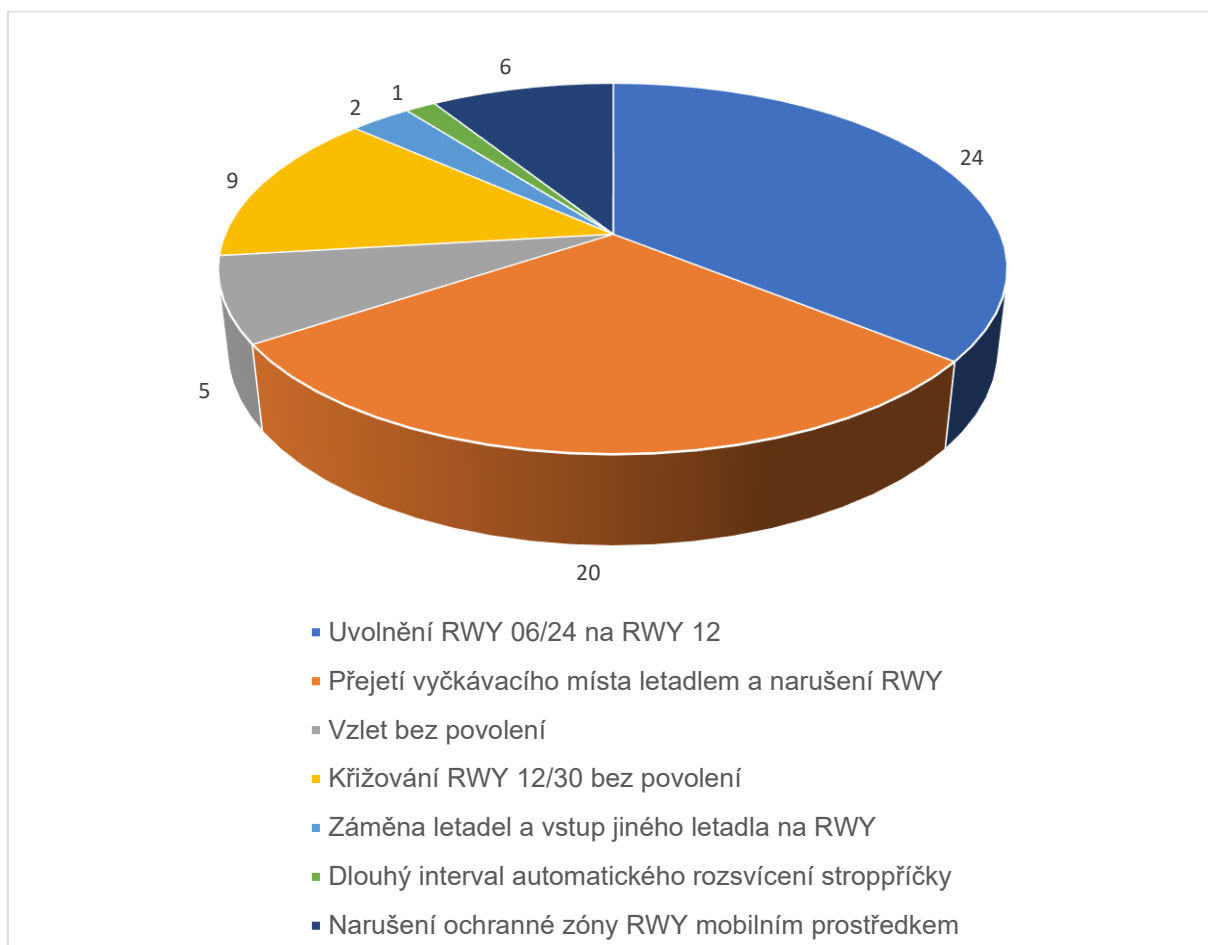
2.2 Výskyt runway incursion

Letiště v České republice se potýkají s touto problematikou. Nejvíce runway incursion je zaznamenáno na Letišti Václava Havla v Praze (LKPR) . V roce 2019 bylo zaznamenáno 11 událostí, které měly vliv na bezpečnost. Výroční porady rozboru bezpečnosti zaznamenaly, že tentýž rok se staly 3 události runway incursion na Letišti Brno – Tuřany (LKTB) a žádné na Letišti Leoše Janáčka v Ostravě (LKMT) a na Letišti Karlovy Vary (LKKV). Je zjevné, že čím více pohybu se na letišti uskuteční, tím je větší pravděpodobnost výskytu runway incursion [3] [4].



Obr. č. 1: Roční přehled runway incursion na letišti v Praze. [3] [4]

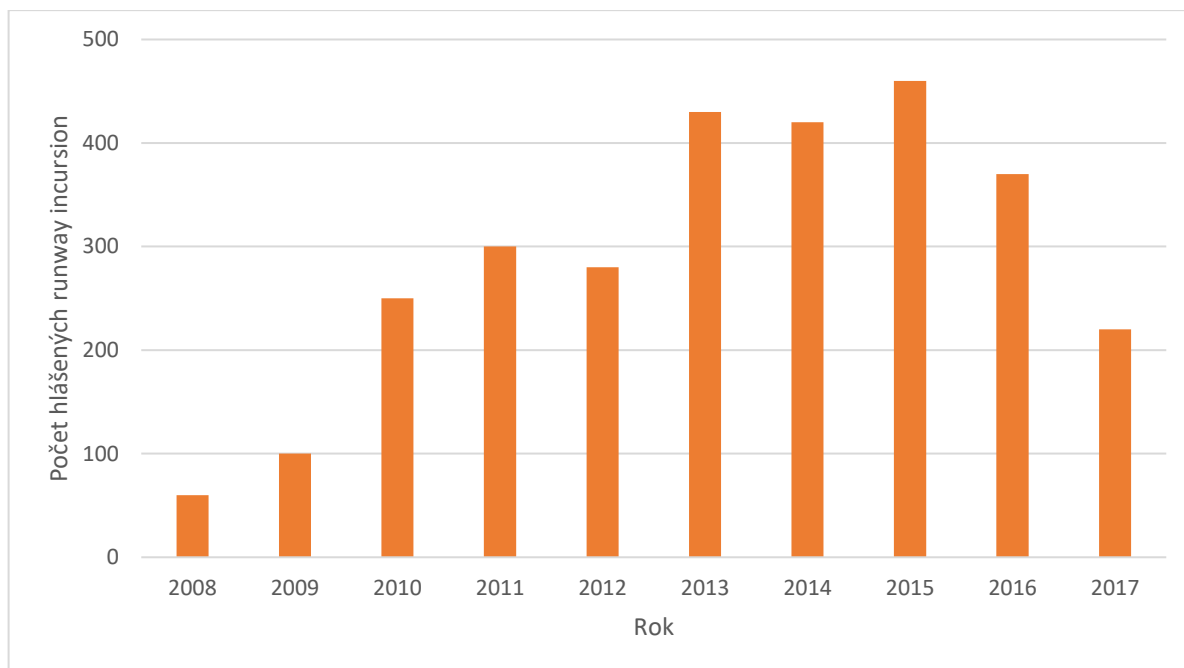
Obrázek číslo 1 ukazuje, že rok s nejmenším počtem runway incursion je rok 2008, nejvíce jich bylo zaznamenáno v roce 2014. Je sestaven na základě dat Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod a Řízení letového provozu České republiky.



Obr. č. 2: Příčiny runway incursion na LKPR v letech 2013-2019. [3] [4]

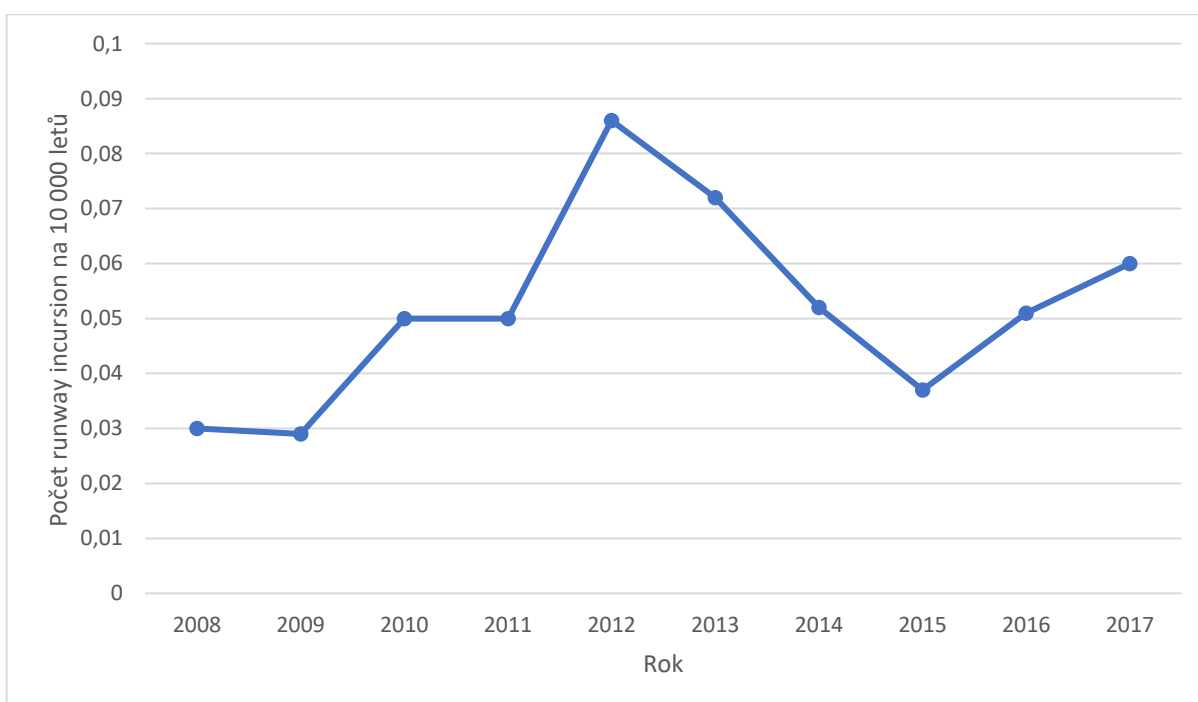
Jak lze vidět na obrázku číslo 2, existuje několik příčin runway incursion na letišti Václava Havla v Praze. Ve většině případů – 24, pilot po přistání na RWY 24 bez povolení uvolnil na RWY 12 namísto uvolnění na pojezdovou dráhu (TWY). Tento problém bude dále zkoumán v této práci.

Problematiku runway incursion řeší státy jak v Evropě, tak po celém světě. Dokumenty EUROCONTROL dobrovolné hlášení incidentů ATM (EVAIR) bezpečnostní Bulletin, vytvořené organizací Eurocontrol ve spolupráci s Mezinárodní asociací leteckých dopravců (IATA), poskytují statistiku Řízení letového provozu (ATM) vždy za určité období, včetně počtu hlášených událostí runway incursion.



Obr. č. 3: Počet oznámených runway incursion celosvětově v letech 2008-2017 – IATA. [5] [6]

Počet oznámených runway incursion od roku 2008 rostl (lze vidět na obrázku číslo 3), kdy nejvyšší hodnota byla zaznamenána v roce 2015.



Obr. č. 4: Počet zaznamenaných runway incursion na 10 000 letů v letech 2008 až 2017 v Evropě. – Eurocontrol. [5] [6]

Nejvyšší počet zaznamenaných runway incursion na 10 000 letů byl v roce 2012, nejmenší v roce 2009 (ukazuje křivka na obrázku číslo 4). Od roku 2012 se počet zaznamenaných

runway incursion v Evropě snižuje až do roku 2015, avšak poté přichází opět nárůst těchto událostí.

Problematiku runway incursion řeší také Agentura EU pro bezpečnost letectví (EASA), která ve svém dokumentu s názvem „Annual Safety Review“ (výroční přehled bezpečnosti) z roku 2016 zmiňuje, že za posledních 10 let je 18% smrtelných nehod v členských státech EASA zapříčiněno událostmi runway incursion. [7]

2.2.1 Příklady známých nehod v důsledku runway incursion [8] [9]

Jednou z nejznámějších runway incursion je nehoda na Tenerife roku 1977, kde došlo ke středu dvou letounů Boeing 747. Při této kolizi zemřelo 583 osob. Vyšetřování ukázalo, že hlavním problémem byla komunikace a používaná frazeologie mezi Řídicím letového provozu (ATCO) a kapitánem nizozemské letecké společnosti KLM. Při šetření nehody došlo k vyvození několika závěrů:

- Runway incursion je závažný bezpečnostní problém.
- Důležitým faktorem je selhání přenosu informací mezi příslušnými účastníky systému.
- Pro vypořádání se s problémem runway incursion je nejdůležitější se zaměřit na jednotlivá pojíždějící letadla, která bývají ohniskem těchto incidentů.

Neméně tragická nehoda se stala na letišti Linate v Miláně v roce 2001. Pilot Cessny Citation využil nesprávnou pojezdovou dráhu a bez povolení vstoupil na dráhu. Toto pochybení bylo ovlivněno množstvím faktorů jako například nízkou dohledností a silným provozem na letišti. Dále posádka nebyla řádně vybavena správnou publikací a použila nestandardní frazeologii (byl použit jak italský, tak anglický jazyk). ATCO nezaznamenal nesprávnou polohu letadla na pojezdové dráze. Dvumotorový dopravní letoun MD-87 dostal povolení na vzlet. Při rychlosti 146 uzlů se srazilo s Cessnou Citation. Zemřelo 118 osob.

Aby se zlepšila situace runway incursion a k podobným nehodám nedocházelo, jsou vytvářeny různé studie na podporu zlepšení úrovně bezpečnosti na dráze. Budou rozebírány v další podkapitole.

2.3 Současný stav známých řešení

Nejbohatším zdrojem znalostí o runway incursion je ICAO Doc. 9870: Manual on the Prevention of Runway Incursions (Manuál pro prevenci Runway incursion). První edice byla vytvořena roku 2007. ICAO problém začala řešit roku 2001. Aby se zlepšila situace

nehodovosti na dráze, organizace začala se vzdělávací a osvětovou kampaní. ICAO vytvořila sady specializovaných studií pomocí získaných dat a odborníků, kteří se tímto tématem zabývají. Na základě uvedeného výzkumu zjistila faktory runway incursion a ty publikovala v Doc. 9870. Také vytvořila interaktivní sadu nástrojů, která obsahuje zmíněné materiály získávané během několika let a která čerpá z informací a poznatků získaných během seminářů o bezpečnosti na dráze. Semináře byly prováděny v letech 2002-2005. Cílem manuálu je pomoci státům, mezinárodním organizacím, provozovatelům letišť, poskytovatelům letových provozních služeb a provozovatelům letadel zavést nejúčinnější opatření pro bezpečnost na dráze a inspirovat se postupy zavedenými jinými státy. [1]

Tomuto tématu se kromě mezinárodních organizací věnují také odborníci po celém světě. V databázi vědeckých článků Scopus je možné najít celou řadu řešení problematiky runway incursion. Po prozkoumání databáze (roky 2000-2019) jsem našla několik studií, které jsou přínosné pro tuto práci. Jedná se konkrétně o studie z Jižní Korei (Evaluation of the risk frequency for hazards of runway incursion in Korea), Nigérie (Assessment of runway accident hazards in Nigeria aviation sector) a Číny (Fuzzy Comprehensive Evaluation of Runway Incursion based on Fault Tree Method), kterými se podrobněji zabývám v podkapitole 2.3.2.

2.3.1 Nejčastější scénáře runway incursion [1]

ICAO Manuál definuje události a faktory, které mohou runway incursion zapříčinit. Také v manuálu lze najít nejčastější scénáře:

- Letadlo nebo vozidlo přejíždějící před přistávajícím letadlem.
- Letadlo nebo vozidlo přejíždějící před vzlétajícím letadlem.
- Letadlo nebo vozidlo přejíždějící značení místa vyčkání před vstupem na dráhu.
- Letadlo nebo vozidlo, které si není jisté svou polohou a neúmyslně vstupuje na aktivní dráhu.
- Selhání komunikace vedoucí k nedodržení pokynu od ATC.
- Letadlo projíždějící za letadlem nebo vozidlem, které neuvolnilo dráhu.

Na základě statistik se ukázalo, že většina událostí runway incursion vzniká během dne za vizuálních meteorologických podmínek. Avšak tyto incidenty vznikají také za nízké dohlednosti nebo v noci. Zmíněné události jsou ovlivněny množstvím faktorů, ne jen počasím. Tyto faktory jsou obsaženy v taxonomiích.

ICAO Hlášení dat o nehodách/incidentech (ADREP) taxonomie obsahuje všechny možné faktory, které mohou nastat při jakýchkoli možných událostech. Je to soubor definic a popisů používaných k správnému shromažďování a ohlašování údajů o nehodách. ADREP je systém (software), a zároveň také soubor taxonomií, které tento systém využívá. Pro tuto práci je nejzajímavější taxonomie Explanatory factors (Objasňující faktory), která obsahuje i faktory relevantní v událostech typu runway incursion. V tomto souboru lze najít mnoho pojmů, které se týkají člověka. Je zaměřena na lidský faktor.

V EU se používá systém ECCAIRS, který má také sadu taxonomií. ECCAIRS taxonomie vznikly tak, že se převzaly taxonomie ADREP a rozšířily se o nové termíny. Systém ADREP a systém ECCAIRS jsou dva rozdílné systémy, avšak jejich taxonomie jsou vzájemně kompatibilní.

Dále v práci budou konkrétně rozebírány faktory lidského činitele, které lze najít v ICAO Doc. 9870: Manual on the Prevention of Runway Incursions a v ICAO ADREP taxonomii – Explanatory factors.

2.3.2 Faktory lidského činitele (Pilot a ATCO) [1]

Správně vyškolený provozní personál tvoří základní pilíř bezpečnosti. Dojde-li k selhání systému z neočekávaných důvodů, lidská výkonost je poslední linie, která může zabránit snížení bezpečnosti.

Faktory související s pilotem mohou být úzce propojené s těmi, které souvisí s ATCO. Může dojít k nedorozumění v komunikaci mezi pilotem a ATCO, ať už vlivem technické poruchy, nestandardní frazeologie nebo jako nesprávný readback (opakování instrukce) a neporozumění instrukcí. Pilot může neúmyslně zapříčinit runway incursion i v situaci, kdy ztratí povědomí o své poloze. Tento problém vzniká při nedostatečném briefingu (načerpávání informací) , při komunikaci, kdy pilot nepochopí správně pokyny od ATCO nebo také za špatné dohlednosti způsobené počasím.

Mezi další běžné faktory, které mohou mít na pilota vliv jsou:

- Nedostatečné značení a značky na letištní infrastrukturu.
- ATCO podávající instrukce ihned po přistání, kdy pracovní zátěž pilota a hluk v kabině jsou velice vysoké.
- Provádění „head-down“ úkolů, které snižují jejich povědomí o situaci.

- Spěch v pilotní kabině, který je zapříčiněn neustálým tlakem, který je na piloty vyvíjen zlepšováním už tak komplikovaných postupů pro zvýšení kapacity.
- Složitý vzhled letiště, kde se křížují dráhy.
- Neúplné, nestandardní nebo zastaralé informace o infrastruktuře pojezdových drah.
- Změny pokynů ATCO na poslední chvíli.

Nejčastější pochybení ze strany ATCO, které zapříčiňují runway incursion jsou:

- Moment zapomnění na povolení, které ATCO vydal, na letadlo, či uzavírky drah.
- Selhání v dodržování požadovaných rozestupů mezi letadly.
- Nedostatečná koordinace mezi ATCO.
- Povolení přejet dráhu je vydáno pozemním řídicím místo věže.
- Nesprávná identifikace letadla nebo jeho umístění.
- Pochybení ATCO při zopakování pokynu jiného ATCO.
- Pochybení ATCO při kontrolování opakování pokynů pilotem nebo řidičem vozidla.
- Selhání v komunikaci – dlouhé nebo komplexní instrukce, užití nestandardní frazeologie či komunikace v nevhodnou chvíli.

Dalšími faktory, které ovlivňují výkon jak pilota, tak ATCO je rozptýlení, velká pracovní zátěž a časová tíseň, úroveň dosavadních zkušeností, nedostatečný nebo nevhodný výcvik.

Veškeré zmíněné faktory jsou nejčastější příčiny runway incursion všeobecně. Všechny faktory budou zváženy pro jejich využití v praktické části práce.

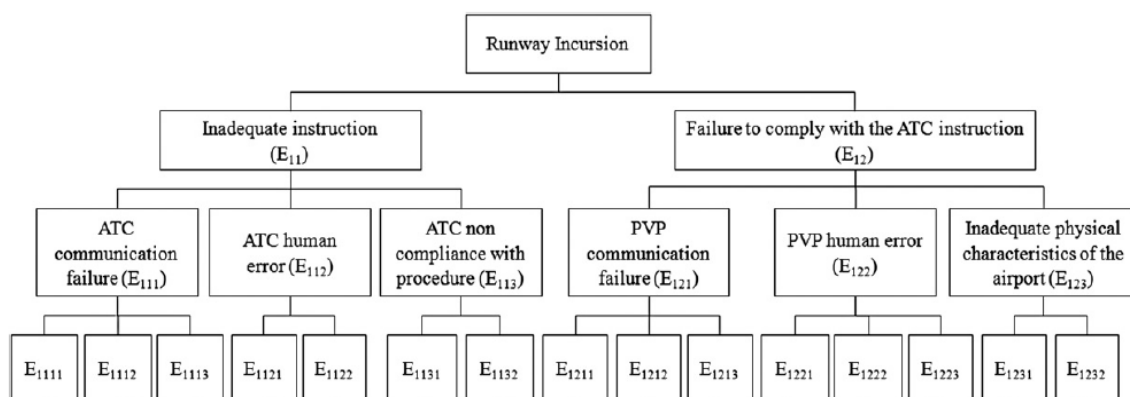
2.3.3 Rozbor studií

Studie 1: Evaluation of the risk frequency for hazards of runway incursion in Korea [10]

Tato studie zkoumá runway incursion na mezinárodním letišti Gimpo v Soulu. Nepovolený vstup na dráhu v Jižní Koreji je velice vzácný a tedy obtížný pro analýzu. Byly zaznamenány pouze čtyři runway incursion způsobené letadly registrované v Jižní Koreji v letech 1980-2010. Dvě tyto události se staly na letišti Gimpo. Avšak je možné, že došlo k dalším, nezávažným nehodám, které nebyly hlášeny. Je pravděpodobné, že počet těchto událostí se

bude časem zvyšovat jelikož se zvyšuje provoz, což je také jeden z důvodů, proč autoři tuto studii vytvořili.

Autoři použili k prozkoumání problému Analýzu stromu poruchových stavů (FTA). Tuto metodu si vybrali, protože logicky zobrazuje události a jejich vztahy, které vedou k vyvolání nežádoucí hlavní události. Vytvořený fault tree diagram (poruchový strom) je zobrazen na obrázku číslo 5.



Obr. č. 5: Fault tree diagram runway incursion na letišti Gimbo v Soulu¹. [10]

Při pohledu na obrázek číslo 5 ze spodu vidíme příčiny (jejich označení), které by mohly zapříčinit runway incursion. Tyto prvotní příčiny jsou spojené s dalšími faktory a přímo je ovlivňují. Obě dvě události, které se staly v Soulu, jsou hlášeny jako incidenty zaviněné lidskou chybou (pilot, ATCO). Vysvětlení jednotlivých označení je uvedeno v tabulce číslo 1 a číslo 2.

Diagram ukazuje, že Runway incursion přímo ovlivňují faktory nedostatečné instrukce a nedodržení pokynů od ATCO. Nedostatečné instrukce jsou přímo spojeny s pochybením ATCO, jsou dále větveny na 3 podskupiny, a to selhání komunikace, lidská chyba a nedodržení procedur. Příčiny těchto faktorů jsou popsány v tabulce číslo 1.

Nedodržení pokynů je také rozvětveno do 3 podskupin. Autor ve studii uvádí zkratku PVP za kterou stojí tři činitelé (pilot, vozidlo, chodec). Faktory selhání komunikace a lidská chyba souvisí se zmiňovanými třemi činiteli. Třetím faktorem je nedostačující rozložení/struktura letiště. Příčiny těchto faktorů jsou vypsány v tabulce číslo 2.

¹ Překlad: Inadequate instruction (Nevhodná instrukce), Failure to comply with the ATC instruction (Nedodržení pokynů od ATCO), ATC communication failure (Selhání komunikace ATCO), ATC human error (Lidská chyba ATCO), ATC non compliance with procedure (Nedodržení procedur ATCO), PVP communication failure (Selhání komunikace PVP - pilot, vozidlo, chodec), PVP human error (Lidská chyba PVP), Inadequate physical characteristics of the airport (Nedostačující rozložení/struktura letiště.)

Tabulka č. 1: Studie 1 – faktory ATCO

Činitel	Označení	Hazardy
ATCO	E ₁₁₁₁	Používání nestandardní frazeologie
	E ₁₁₁₂	Selhání při kontrole správného readbacku od pilota
	E ₁₁₁₃	Chyba v komunikačním systému
	E ₁₁₂₁	Chvilkové zapomení o vydání povolení
	E ₁₁₂₂	Zaměnění letadel nebo jejich polohy
	E ₁₁₃₁	Nedodržení rozestupů mezi letadly
	E ₁₁₁₃₂	Nesprávná nebo nedostatečná spolupráce mezi ATCO

Tabulka č. 2: Studie 1 – další faktory

Činitel	Označení	Hazardy
Pilot, Vozidlo, Chodec	E ₁₂₁₁	Používání nestandardní frazeologie
	E ₁₂₁₂	Proveden nesprávný readback
	E ₁₂₁₃	Chyba v komunikačním systému
	E ₁₂₂₁	Nepochopení instrukcí od ATCO
	E ₁₂₂₂	Chybné nahlášení polohy letadla
	E ₁₂₂₃	Ztracení povědomí o situaci
Design letiště	E ₁₂₃₁	Nedostatečné značení
	E ₁₂₃₂	Komplikovaný design letiště

Tato studie na základě použití rizik a sestavení FTA a realizace Analytického a hierarchického procesu (AHP) [11] zjistila, že na mezinárodním letišti Gimpo faktory s největším rizikem, které zapříčiňují runway incursion jsou tyto: nepochopení instrukcí pilotem od ATCO, momentální zapomení o vydání povolení, zaměnění letadel nebo jejich polohy a ztráta povědomí o situaci.

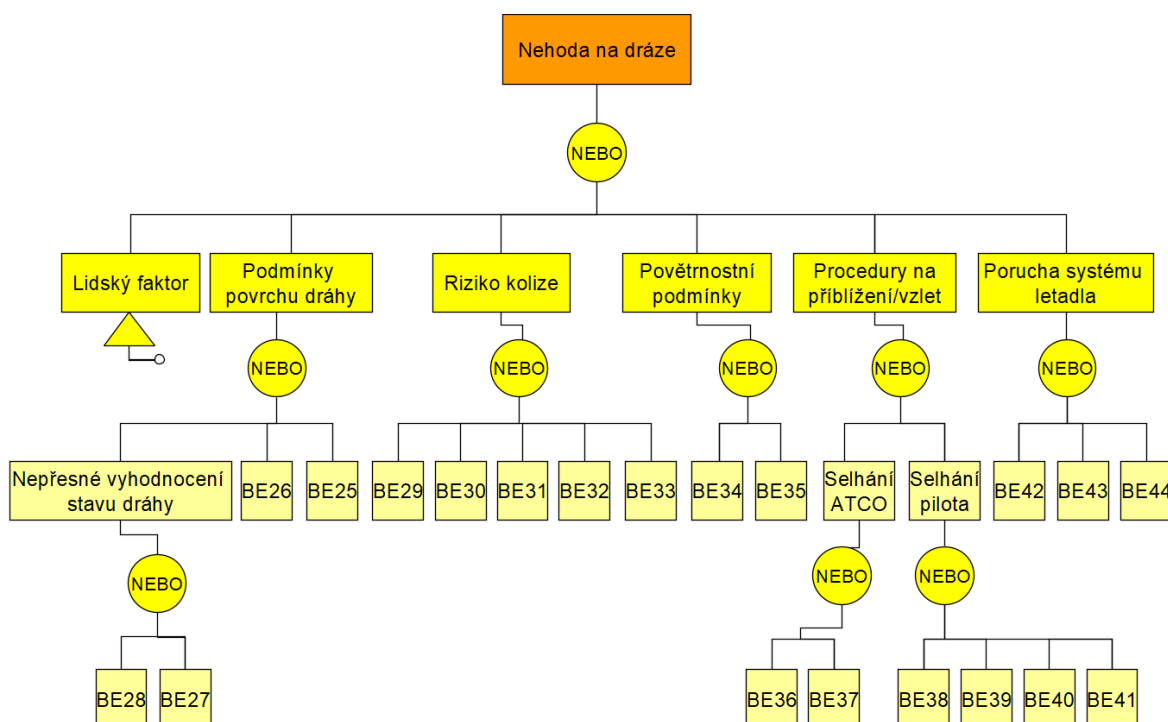
Studie 2: Assessment of runway accident hazards in Nigeria [12]

Studie modeluje pravděpodobnostní posouzení rizika nebezpečí nehody na dráze v Nigérii. Během let 2005-2013 došlo k několika významným nehodám na dráze ve světě. Tyto události přinesly otázku runway incursions a excursions do popředí a vědci z nigerijského leteckého sektoru se tím začali zabývat.

Od roku 2001 do 2010 došlo v Nigérii k padesáti devíti nehodám na dráze. Čtyřicet čtyři příčin nehod bylo identifikováno a rozděleno do šesti kategorií:

- Podmínky povrchu dráhy
- Povětrnostní podmínky
- Riziko kolize
- Porucha systému letadla
- Procedury na přiblížení/vzlet
- Lidský faktor

Těchto šest kategorií bylo modelováno pomocí FTA. Na obrázku číslo 6 je zobrazen fault tree diagram vytvořen v Nigérii. Pod hlavní událostí Nehoda na dráze (runway incursion a excursion) je šest základních kategorií, které již byly zmíněny.



Obr. č. 6: Diagram vytvořen vědci v Nigérii.

Pod kategorií Lidský faktor je zobrazen trojúhelník, to znamená, že její diagram bude zobrazen samostatně dále v textu a podrobněji rozebrán. Zbylých pět kategorií je napojeno na jejich příčiny.

Podmínky povrchu dráhy jsou zapříčiněné třemi příčinami, které jsou spojené operátorem NEBO přitom jedna z nich (Nepřesné vyhodnocení stavu dráhy) se dále větví na dvě další příčiny. Jedná se o příčiny:

- Nesprávný popis stavu vzletové a přistávací dráhy (BE26)
- Zamezení aquaplaningu (BE25)
- Nepřesné vyhodnocení stavu vzletové a přistávací dráhy
- Chyba zařízení pro měření stavu dráhy (BE27)
- Chyba měřicího zařízení v toleranci stavu povrchu dráhy (BE28)

Kategorie Riziko kolize je zapříčiněna pěti příčinami, které jsou spojeny operátorem NEBO a nejsou dále rozvětveny:

- Srážka s ptactvem (BE29)
- Srážka s divokou zvěří (BE30)
- Nesprávné odbočení z důvodu nesprávného nebo nedostatečného značení (BE31)
- Neodbočení z důvodu nesprávného nebo nedostatečného značení (BE32)
- Ztráta požadovaného rozestupu (BE33)

Faktor povětrnostní podmínky je zapříčiněn dvěma příčinami, které jsou spojené operátorem nebo a nejsou dále rozvětveny:

- Nízká dohlednost (BE34)
- Střih větru, zadní vítr, silný vítr, mrazivý déšť, turbulence (BE35)

Kategorie Procedury na přiblížení/vzlet se dále větví na Selhání ATCO a selhání pilota. Tato kategorie je pro potřeby práce důležitá, jelikož obsahuje faktory lidského činitele. Proto jsou jednotlivé faktory sepsány do tabulky číslo 3.

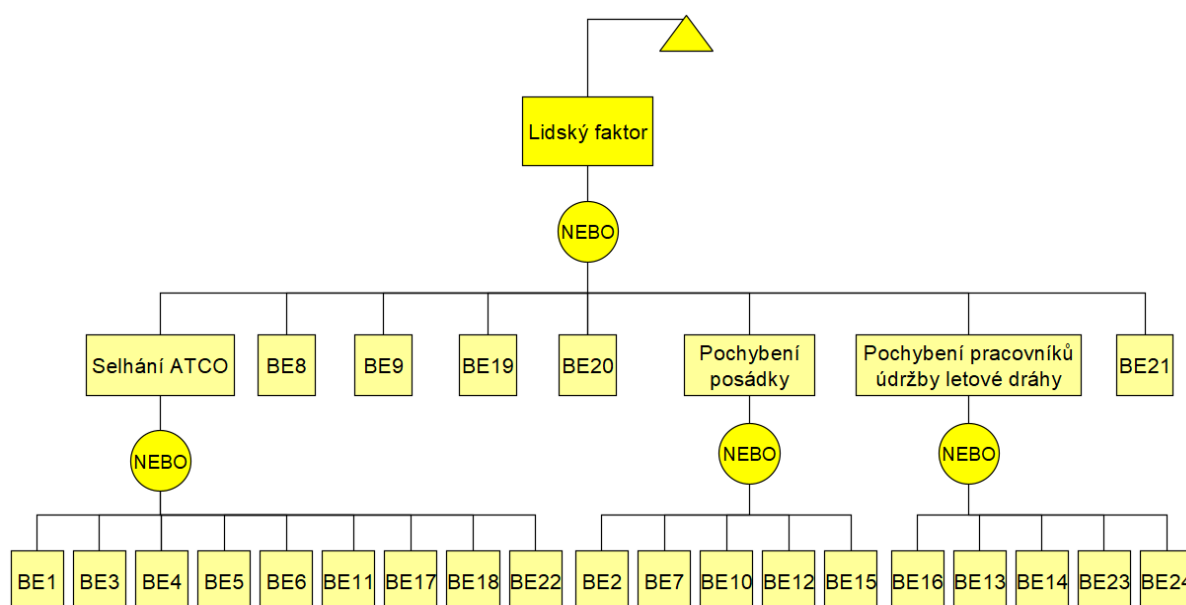
Tabulka č. 3: Studie 2 - faktory kategorie Procedury na přiblížení a vzlet

Činitel	Označení	Hazardy
Selhání ATCO	BE36	Opožděné zrušení povolení vzletu z důvodu překážky
	BE37	Přerušovaný vzlet ve vysoké rychlosti
Selhání pilota	BE38	Nesplnění standardní pracovní procedury
	BE39	Dlouhé dosednutí na dráhu/vysoká rychlost při přiblížení
	BE40	Přiblížení pod sestupovou rovinou/nad sestupovou rovinou
	BE41	Pochybení v překročení rychlosti

Porucha systému letadla, je zapříčiněna třemi příčinami, které jsou spojené operátorem NEBO a nejsou dále rozvětveny. Tyto příčiny jsou definovány jako názvy komponentů letadla. Jsou spojené s poruchou systému, to znamená, že ovlivňují vznik nehody pouze, když dojde k jejich poruše a nejsou schopni standardního užívání:

- Brzdy kol (BE42)
- Pneumatiky (BE43)
- Hydraulický výkon (BE44)

Pro potřeby této práce jsou nejzajímavější faktory, které zapříčiňují pochybení lidského činitele. Diagram kategorie Lidský faktor je zobrazen na obrázku číslo 7.



Obr. č. 7: Fault tree diagram pro Lidský faktor vytvořen v Nigérii

Na obrázku číslo 7 lze vidět, že pod lidským faktorem se nachází osm přispívajících faktorů:

- Selhání ATCO
- Úroveň zkušeností v situačním managementu (BE8)
- Selhání v běžném výcviku (BE9)
- Pochybení posádky
- Pracovní podmínky letecké společnosti a letiště (BE19)
- Pochybení leteckého inženýra v datech, která neodpovídají běžným podmínkám dráhy (BE20)
- Pochybení pracovníků údržby letové dráhy
- Chyba v hlášení počasí nebo analýze předpovědi počasí (BE21)

Příčiny faktorů Selhání ATCO a Pochybení posádky jsou uvedeny v tabulce číslo 4. Příčiny faktoru Pochybení pracovníků údržby letové dráhy nejsou konkrétně rozepsány, jelikož nejsou pro potřeby této práce podstatné.

Tabulka č. 4: Studie 2 - Konkrétní popsání příčin selhání ATCO a posádky

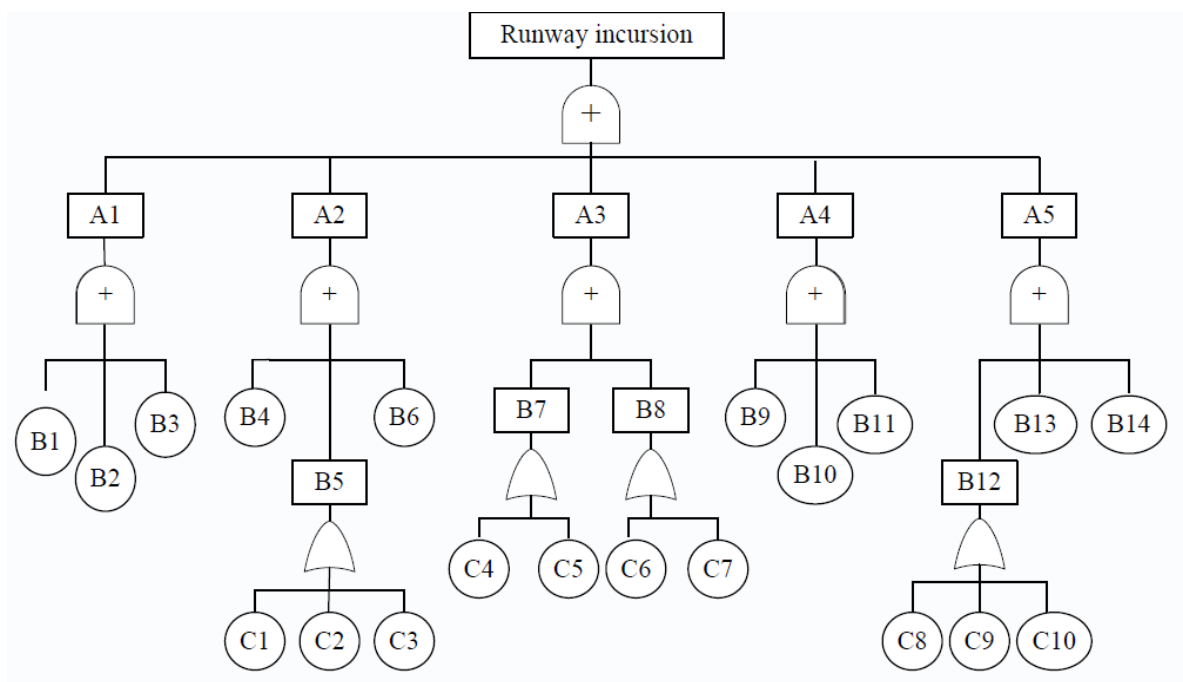
Činitel	Označení	Hazardy
ATCO	BE1	Intervence v nesprávnou chvíli
	BE3	Odletová dráha nebyla ověřena před odletem
	BE4	Ztráta komunikace mezi ATCO a pilotem
	BE5	Absence monitorování stavu letadla během pojiždění
	BE6	Pomalé předávání informací mezi ATCO a ostatními uživateli RWY
	BE11	Používání nestandardních signálů (frazologie)
	BE17	Reakce na mimořádné situace řídicího na odletu
	BE18	Chvilkové zmatení o vydání povolení
	BE22	Přiřazení nesprávné dráhy
Pilot	BE2	Ztráta povědomí o situaci
	BE7	Pracovní tlak
	BE10	Zanedbání bezpečnostního značení během pojiždění
	BE12	Nedostatečná spolupráce posádky
	BE15	Nerozhodnost pilota k provedení úkonu
	BE16	Slabé krizové řízení

Jednotlivé příčiny, které vyplnily fault tree diagram, byly ohodnoceny pomocí Fussell-Vesley (FV) a hodnoty snižování rizika (RRW). Výsledky obou dvou těchto modelů vyšly stejně. Nejvyšší rizika spojené s možným vznikem nehody na dráze zapříčiněné ATCO nebo pilotem jsou: intervence v nesprávnou chvíli, žádné sledování letadla během poježdění, nerozhodnost pilota k provedení úkonu, slabé krizové řízení, chvilkové zmatení o vydání povolení.

Byly zjištěny i další vysoké rizika, které spadaly do ostatních kategorií. Obecně výsledky analýzy ukazují blízký vztah nehod na dráze v nigerijském leteckém sektoru s lidským faktorem, poruchami systému letadel, procedurami na přiblížení/vzlet, povětrnostními podmínkami a s rizikem kolize.

Studie 3: Fuzzy Comprehensive Evaluation of Runway Incursion based on Fault Tree Method [13]

Studie je vytvořena výzkumníky z Číny. K prozkoumání problému si vybrali metodu vzniklou kombinací komplexního fuzzy hodnocení [14] a fault tree analýzy. Vědci postupovali tak, že nejprve vytvořili fault tree diagram a poté použili komplexní fuzzy hodnocení.



Obr. č. 8: Fault tree diagram vytvořen vědci v Číně². [13]

Na obrázku číslo 8 je zobrazen fault tree diagram runway incursion. Pod hlavní událostí se nachází pět faktorů, které jsou na událost přímo napojené. Položky stromu jsou uvedeny pouze pomocí označení, jejich celé názvy jsou uvedeny v poznámce pod textem.

² A1 – Pochybení řidičů vozidel, A2 – Pochybení pilotů, A3 – Pochybení ATCO, A4 - Letištní zařízení a příčiny environmentálního charakteru, A5 – Provozní důvody

Příčinami Pochybení řidičů vozidel (A1) může být nedodržení předepsané cesty či nepozornost řidiče. Složitý design letiště, nejasné značení na pojezdových dráhách a špatné povětrnostní podmínky zapříčiňují faktor Letištní zařízení a příčiny environmentálního charakteru (A4). Faktor Provozní důvody (A5) má příčiny související s překážkami na dráze během užívání, selháním zařízení ATCO a problémy s řízením provozu na dráze.

Dále budou podrobně rozebrány kategorie Pochybení pilotů (A2) a Pochybení ATCO (A3), podrobnější popis jednotlivých příčin těchto faktorů je uveden v tabulce číslo 5.

Tabulka č. 5: Studie 3 - Popis příčin

Činitel	Označení	Hazardy
Pilot	B4	Ztráta povědomí o situaci
	B5	Problém s frazeologií v komunikaci mezi pilotem a ATCO
	C1	Obsah komunikace není standardní
	C2	Mezi ATCO a pilotem vznikla jazyková bariéra
	C3	Neporozumění instrukcím
	B6	Pilot nepřipraven na vzlet
ATCO	B7	Nevhodně zadaná instrukce od ATCO
	C4	Příliš dlouhé a nesrozumitelné instrukce
	C5	Nestandardní frazeologie
	B8	Problémy ATCO
	C6	Ztráta povědomí o situaci
	C7	Nezodpovědné, nepromyšlené chování

Vědci v této studii zjistili, že největší vliv na runway incursion má pochybení ATCO, což poskytuje klíčový směr k omezení výskytu runway incursion do budoucna.

Všechny tyto studie byly vytvořeny z pohledu Safety-I a modelovány metodou FTA, oba dva tyto pojmy jsou detailněji vysvětleny v následující kapitole.

3 METODIKA ŘEŠENÍ PRÁCE

Tato kapitola obsahuje definici a popis Safety-I a základní bezpečnostní modely. Z těchto modelů je vybrána a popsána vhodná metoda pro modelování problému runway incursion. Na konci této kapitoly je přiblížen pojem virtuální realita a jak se v průběhu času vyvíjela.

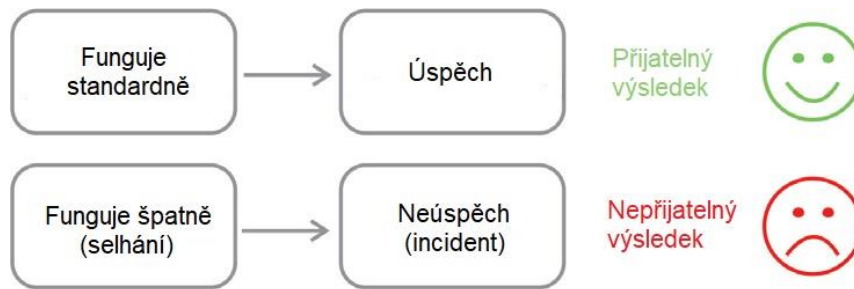
3.1 Safety-I [15]

Bezpečnost je obecně definována jako kvalita systému, která je nezbytná a dostačující k zajištění nízkého počtu událostí, které mohou být škodlivé pro zaměstnance, veřejnost nebo životní prostředí.

Teorie bezpečnosti je v dnešní době rozdělena na Safety-I a Safety-II. Tato práce se zabývá pohledem Safety-I, která klade důraz pouze na věci, které se staly špatně. Při vyšetřování incidentu Safety-I začíná u důsledku nehody a poté retrospektivně zjišťuje, co se stalo špatně a proč se to stalo. Veškeré své soustředění zaměřuje na incident a snaží se vytvořit preventivní opatření před tím, co se nepovedlo. Sleduje jak chyby technické, tak nedodržení procedur či selhání lidského faktoru. Na rozdíl od tohoto pohledu, Novější pohled na bezpečnost, Safety-II, definuje bezpečnost jako schopnost uspět za různých podmínek. Účel vyšetřování se mění tak, aby došlo k pochopení toho, jak se věci obvykle dějí správně, považuje se to za základ pro vysvětlení toho, jak se věci pokazili.

Teorie Safety-I, prvotní pohled na bezpečnost, se začala rozšiřovat mezi lety 1960 a 1980. Zavést kvalitní bezpečnostní systém bylo potřeba hlavně v kritických odvětvích jako je letectví. Začaly se vytvářet základní pilíře bezpečnosti jako takové, v té době však celkové nároky na bezpečnost nebyly tak velké jako jsou dnes. Postupem času docházelo ke zpřísnování a zdokonalování pravidel a procedur tak, aby se zvyšovala úroveň bezpečnosti. Konkrétně bezpečnost v letectví se s každým incidentem, s každým nechtěným výsledkem, rozvíjela a učila se z chyb. Díky těmto nezdarům se bezpečnost posouvala a stále se posouvá.

Safety-I pojednává o tom, že když věci jdou správně, znamená to, že se provedly podle procedur a očekávání, že fungují standartně. Tedy vše funguje tak jak má, jak stroje, tak lidé. Ovšem když dojde k nestandardnímu chování, znamená to, že se něco pokazilo, nějaká věc se stala špatně. Což je pro bezpečnost nechtěný výstup a musí se řešit. Jedná se o bimodální pohled na činnost, podle kterého je první a druhý mód způsoben různými způsoby fungování systému (obrázek číslo 9). Účelem je zajistit, aby systém zůstal v prvním módu a nedostával se do toho druhého.



Obr. č. 9: Pohled Safety-I.

Z obrázku číslo 9 je zřejmé, že normální fungování celého procesu je chtěné a je to přijatelný výstup. Ovšem fungování za špatných podmínek již představuje hrozbu. Selhání je nežádoucí a tyto výstupy jsou nepřijatelné.

Systém řízení provozní bezpečnosti (SMS) se tedy v Safety-I stará o to, aby se co nejméně věcí pokazilo. V případě Safety-II, se SMS zaobírá skutečnostmi, které fungují správně, standartně. Safety-II je zatím v praxi málo rozšířená a využívá se pouze experimentálně.

3.1.1 Modely Safety-I

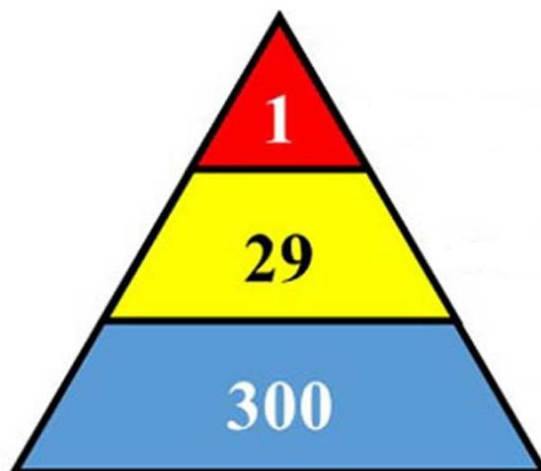
Bezpečnostní modely uživatelům slouží primárně na analýzu a identifikaci příčin nehody či nebezpečí. Níže jsou popsány vybrané modely Safety-I, které lze pro tento účel využít.

Domino model [16]

Domino model byl vytvořen Herbertem W. Heinrichem, který se zabýval analýzou nehod a zkoumal jejich příčiny. Podle statistik, které vycházely na základě reportů o jednotlivých nehodách, došel k závěru, že 88 procent nehod je způsobeno chybou člověka, 10 procent nebezpečnými podmínkami a zbývající 2 procenta jsou přírodní katastrofy, které se nedaly předvídat.

Domino teorie obsahuje pět stojících kostek, které postupně začnou padat, pokud spadne první kostka domina. K nehodě nemůže dojít bez nebezpečí a bez nehody se člověk nemůže zranit. Nehody se dějí na základě sledů událostí, které jim předcházejí. Stejně jako padají kostky domina. Incidentu lze zabránit narušením řetězce posloupností. Tedy vzniklé nebezpečí je potřeba odstranit, tak aby nedošlo k žádným úrazům. Heinrich svou teorii příčin nehod shrnul do dvou tvrzení, a to, že hlavní příčinou nehody jsou lidé a největší zodpovědnost za předcházení nehody má vedení řízení podniku, jelikož má pravomoci k utváření preventivních opatření. Na principu této teorie se vytvářejí nové studie, zabývající se příčinami nehod.

Herbert W. Heinrich také vytvořil Heinrichovu pyramidu (obrázek číslo 10), která říká, že na každou nehodu, která člověku způsobila těžké zranění spadá 29 incidentů s lehkým zraněním a 300 nehod, při kterých nedošlo k žádným zraněním.



Obr. č. 10: Safety pyramida. [17]

Analýza možného výskytu a vlivu vad (FMEA) [18] [19]

50 léta 20. století, v té době byla poprvé tato metoda představena. FMEA se soustředí na módy, kterými proces selhává. Identifikuje místa selhání, místa kde může dojít k určitým chybám a poskytuje specifickou strukturu pro řešení problému.

Je to prostředek pro analýzu a hodnocení rizik. Dochází k procesu identifikace a hodnocení. FMEA je velice úspěšná metoda, která se používá i dnes.

Analýza stromu poruchových stavů (FTA) [20] [21]

FTA byla poprvé představena v roce 1961 H. A. Watsonem. Je to technika, která pomáhá uživateli prozkoumat příčiny hlavní nechtěné události. Základní myšlenkou FTA je převedení fyzického systému do tzv. poruchového stromu (fault tree diagramu), ve kterém různé příčiny vedou k jedné hlavní události. Uživatel hledá veškeré možné faktory, které by nežádoucí událost mohly zapříčinit. Mohou to být faktory související s lidskou chybou, selháním hardwaru či softwaru, počasím či jakoukoli jinou událostí, která by mohla zapříčinit negativní výsledek.

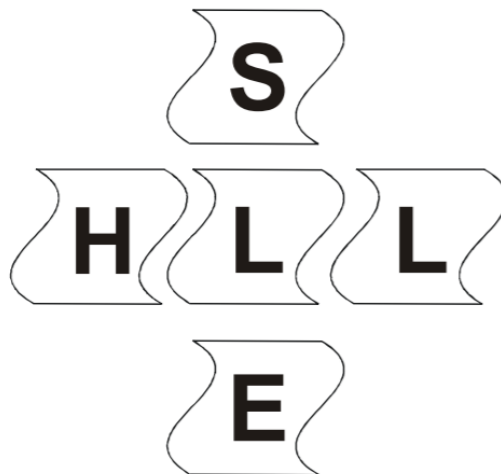
FTA je velice užitečný nástroj, stal se oblíbeným v oblasti bezpečnosti. Je schopen efektivně napomáhat uživateli při zvažování základních příčin, které by mohly přispět k tvorbě problému.

Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP) [22]

Analýza nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP) vznikla v roce 1960 a slouží k identifikaci nebezpečí. HAZOP se domnívá, že nebezpečí vzniká z důvodu odchylek při návrhu či výrobě nějaké komponenty či systému nebo také na základě odchylek od standardního chování provozovaného systému. Odborníci používají tuto analýzu a zkoumají všechny odchylky, které mohou v procesu nastat. Po zjištění rizik dochází k tvorbě návrhů preventivních opatření. Výsledky analýzy jsou tedy použity k zabezpečení chodu systému.

Model SHELL [23]

Model SHELL je důležitý model v oblasti lidského činitele. Byl vytvořen v roce 1972. Jedná se o nástroj, který se používá k analýze subjektů, které na sebe vzájemně působí. Popisuje vztahy lidského činitele k ostatním činitelům. Interakce člověka s další složkou je hlavní princip celého modelu.



Obr. č. 11: Model SHELL. [23]

Koncept modelu je založen na čtyřech komponentech. Název SHELL je složen z počátečních písmen těchto komponentů:

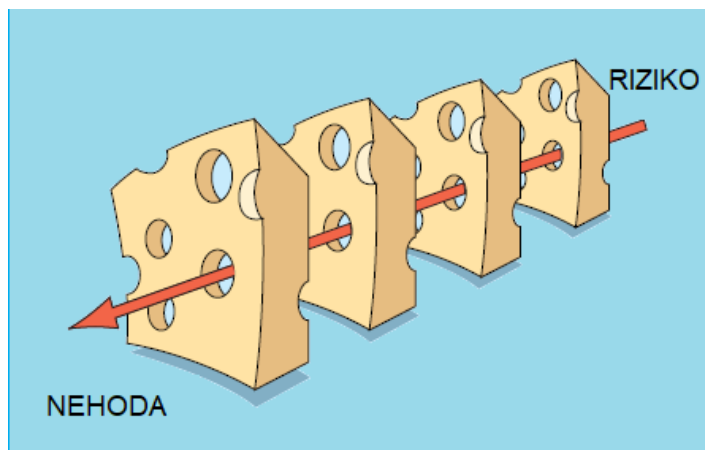
- Software – pravidla, symboly, které jsou součástí provozních postupů.
- Hardware – stroj, zařízení, přístroje.
- Environment – prostředí, ve kterém musí systém fungovat.
- Liveware – člověk.

Člověk je jádro celého systému. Má mnoho silných i slabých stránek a je nejméně předvídatelný, jelikož na něj působí několik vlivů jako je únava, hlad, a také účinky z vnějšku, což může být pracovní zátěž, počasí, hluk.

Model SHELL obsahuje pouze interakce, ve kterých hraje roli člověk, to znamená interakce L-H, L-S, L-E, či L-L. Uprostřed stojí lidský činitel, který spolupracuje s dalšími komponenty. Nesoulad mezi člověkem a jiným komponentem přispívá k lidské chybě.

Reasonův model [24] [25]

Model švýcarského sýra nebo také Reasonův model byl vytvořen profesorem Jamesem Reasonem. Plátky švýcarského sýra, které představují podstatu celého modelu, na sebe navazují a představují pilíře prevence jednotlivých oblastí, jednotlivé bariéry. Tyto bariéry a veškeré ochranné prvky hrají podstatnou roli v systému. Ve skutečném světě dochází k poškození ochranných vrstev, mají trhliny, stejně jako plátky švýcarského sýra mají díry. Trhliny představují slabiny v individuálních částech systému, které se mohou neustále měnit v závislosti na velikosti či poloze.



Obr. č. 12: Reasonův model. [24]

Nechtěný výsledek nevzniká vždy, když dojde k vytvoření díry. Na obrázku číslo 12 lze vidět, že otvory vytvořené v několika vrstvách ve stejné trajektorii mohou vést ke vzniku nehody. Díry v sýru jsou latentní podmínky. Průchod dírami představuje aktivní selhání systému.

Aktivní poruchy jsou selhání personálu, který přímo ovlivňuje konkrétní činnost (pilot, ATCO). Vykonané chyby mají přímý negativní účinek. Skryté podmínky vznikají nepozorovaně a problém se objeví až při fungování systému. Mohou vytvářet dlouhotrvající díry v obraně systému. V letectví mohou vzniknout pochybením konstruktérů, návrhářů či vedoucími managementu. Cílem je zmírnit, ideálně celkově odstranit tyto chyby v celém systému.

Z několika výše popsaných, metod Safety-I byla vybrána jedna metoda pro modelování problému runway incursion. Protože dosavadní studie runway incursion byly modelovány převážně s využitím FTA, detailní popis její realizace je uveden v následující podkapitole 3.2.

3.2 Fault tree analýza [20] [21]

Analýza poskytuje logický rámec pro pochopení toho, jak systém selhal. Začíná se scénářem jak mohlo k nechtěné události dojít. Poté začíná rozkládat příznaky, které mohly nehodu zavinit, na možné příčiny těch příznaků. Všechny možné příčiny nehody jsou zaznamenány v diagramu. Po vyplnění stromu všemi možnými faktory, je uživatel schopen pochopit, jak a proč se událost stala.

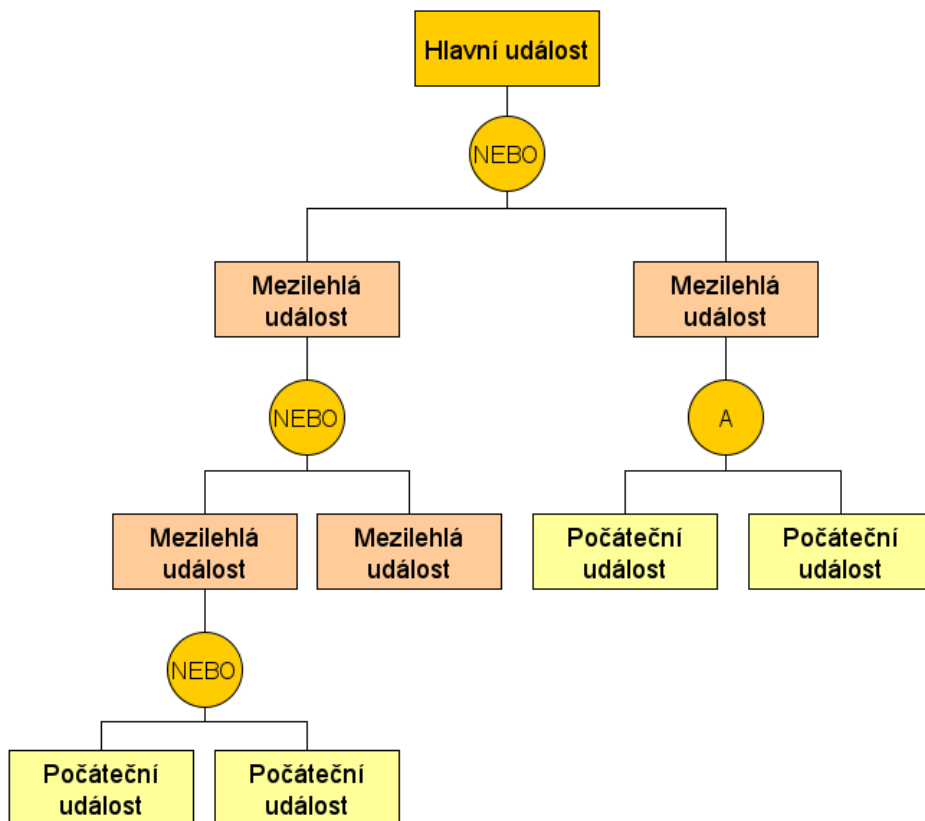
Hlavní událost je umístěna na vrcholu stromu, tedy je nad všemi faktory. Představuje důvod, proč se konkrétní strom sestavuje a počátek jeho tvorby. Jedná se většinou o nehodu nebo incident. Pod hlavní událostí jsou faktory, které vrcholovou událost ovlivňují a pod těmito faktory jsou příčiny uvedených faktorů, neboli počáteční události. Strom ještě doplňují logické operátory. V této práci tvoří hlavní událost runway incursion na letišti v Praze a příčinami jsou různé faktory ovlivňující lidského činitele, tedy ATCO nebo pilota, kteří přímo mohou mít podíl na zapříčinění hlavní události.

Jsou používány logické operátory NEBO a A (OR a AND), které zpřesňují podmínky pohybu stromem směrem k hlavní události. Vkládají se mezi faktory dvou sousedících úrovní poruchového stromu. Určují, zda a jak jsou jednotlivé úrovně na sobě závislé. Operátor A znázorňuje, že všechny faktory, které jsou spojené operátorem A se musí udát, aby došlo k hlavní události. Operátor NEBO nevylučuje situaci, kdy nastane kombinace několika faktorů, ale také tvrdí, že k tomu aby vznikla hlavní událost postačí jen jeden faktor. Každý faktor pod operátorem NEBO ale také jejich kombinace může v určitých podmínkách zajistit postup stromem směrem nahoru.

Příklad Fault tree diagramu je zobrazen na obrázku číslo 13, ve vrcholu diagramu je znázorněna hlavní událost, pod kterou se nachází mezilehlé události a pod těmito jsou zobrazeny počáteční události. Diagram je doplněn logickými operátory, které již byly v textu vysvětleny.

Pro vytváření scénářů runway incursion je vhodné použít nástroj, který se hodí pro stanovení základního přehledu komponentů, které zapříčiňují selhání a jejich vzájemné interakce. Nástroj by měl být spolehlivý a přehledný, je potřeba aby vytvářel logický vztah mezi příčinou a hlavní události.

Fault tree analýza splňuje všechny tyto požadavky a také byla použita vědci pro studie runway incursion po celém světě, jejichž práce byly zmíněny v podkapitole 2.3.3, a proto byla právě tato analýza vybrána pro vytváření scénářů runway incursion, které mohou být použity v leteckém simulátoru s virtuální realitou.



Obr. č. 13: Příklad Fault tree diagramu.

3.3 Virtuální realita (VR) [26] [27] [28] [29]

Technologie se stále vyvíjí a vytváří nové nástroje a metody. V dnešní době je oblíbená virtuální realita, která je přínosem pro uživatele v různých odvětvích, a to například v letectví, lékařství, armádě či pro vytváření zábavných her. Právě výzkumníci zabývající se grafikou a vytvářením zábavných her pojednávají o virtuální realitě jako o souboru efektivních nástrojů sloužících v simulování reálného prostředí.

VR je schopná se současně zacílit na tělo i mysl uživatele. Působí na smyslové vjemy člověka na základě vytváření simulace reálného prostředí. Umožňuje člověku s tímto prostředím integrovat a uživatel má pocit, že je opravdu součástí simulovaného prostředí. Zaměstnává také tělo, jelikož VR je přenesená na uživatele pomocí virtuálního simulátoru, který obsahuje fyzické komponenty, jako jsou speciální brýle, rukavice, řídicí páky apod.

Virtuální realita je pro tuto práci podstatná, jelikož navržené alternativy scénářů, které jsou cílem této práce, je možné také použít právě v leteckém simulátoru s virtuální realitou k ověření problematiky runway incursion.

3.3.1 Historie VR

VR se aktivně vyvíjí už několik desítek let. Morton Heilig v letech 1960-1962 vytvořil Sensoramu, stroj je zobrazen na obrázku číslo 14. Jednalo se o vynález, který byl schopen zabavit několik smyslů člověka (zrak, sluch a částečně i hmat). Simulátor měl nahraných několik filmů, včetně barev a zvuku, které byly obohaceny vůní, větrem a vibracemi. Jednalo se o první přiblížení VR, avšak toto vytvořené prostředí nebylo interaktivní.

První interaktivní koncept VR představil Ivan Sutherland, americký vědec zabývající se o počítačovou grafiku, v roce 1965. Navrhl koncept virtuální reality pod názvem Dokonalé zobrazení, který představuje vytvoření umělého světa se všemi aspekty, tak aby uživatel nerozpoznal rozdíl mezi skutečným a smyšleným světem. Vytvořil také hardware – Brýle pro virtuální realitu (HMD), který umožnil uživatelům nahlédnout do virtuálního světa. Lidé se tak mohli dotýkat předmětů a používat je ve VR světě.



Obr. č. 14: Stroj Sensorama. [30]

3.3.2 Letecký simulátor

V letectví se VR používá v leteckých simulátorech, které primárně slouží pro výcvik pilotů. Počítačový letecký simulátor X-plane 11, který se nachází na Fakultě dopravní ČVUT

v Praze (obrázek číslo 15), vytváří zážitek virtuálního létání. Umožňuje létání na různé letiště po celém světě a rozsáhlé množství nastavení, které mají vliv na podmínky letu. Hardware simulátoru napomáhá uživateli k reálnému pocitu ovládání letadla.



Obr. č. 15: Letecký simulátor s virtuální realitou.

Pro letectví je VR velice přínosná, jelikož je schopna vytvořit detailní kopii reálného světa. Přestože technika pro sestavení VR simulátoru je velmi nákladná, stále je to levnější možnost trénování pilotů než s reálnými letadly. Navíc se piloti při tréninku na simulátoru nemohou zranit. Také tato možnost virtuálního létání otvírá dveře nadšencům, kteří nevládní pilotní průkaz a nemohou v reálném světě sedět v kokpitu letadla.

Virtuální realita nabízí vhodnou technologii pro bližší prozkoumání problematiky runway incursion, protože prozkoumávání s letadly v reálném světě má několik omezení, související hlavně s ekonomickou náročností takového experimentu. VR simulátor umožňuje nastavení parametrů letadla a interaktivní ovládání letadla tak, jako by pilot letěl s opravdovým letadlem. Na simulátoru lze také nastavit různé meteorologické podmínky, jako druhy větru, déšť, či mlhu, za kterých pilot poletí. Veškeré tyto hodnoty lze nastavit a uložit, uživatel tedy nemusí před každým letem hodnoty nastavovat znovu, což šetří čas. Provedené lety je možné zpětně přehrát a prozkoumat tak jejich záznam. Oproti konvenčním simulátorům bez technologie VR tento umožňuje navíc i realistický vizuální zážitek, který odpovídá vizuálním

možnostem posádek v reálném letadle. V kombinaci s dalšími technologiemi lze zjistit, kam se pilot v určitou chvíli dívá, jak dlouho se na ten bod dívá, zda při poježdění po přistání sleduje více okolí nebo se věnuje úkonům v kokpitu, což je užitečné při zkoumání příčin runway incursion a dosud v takové míře nebylo v letecké simulaci možné.

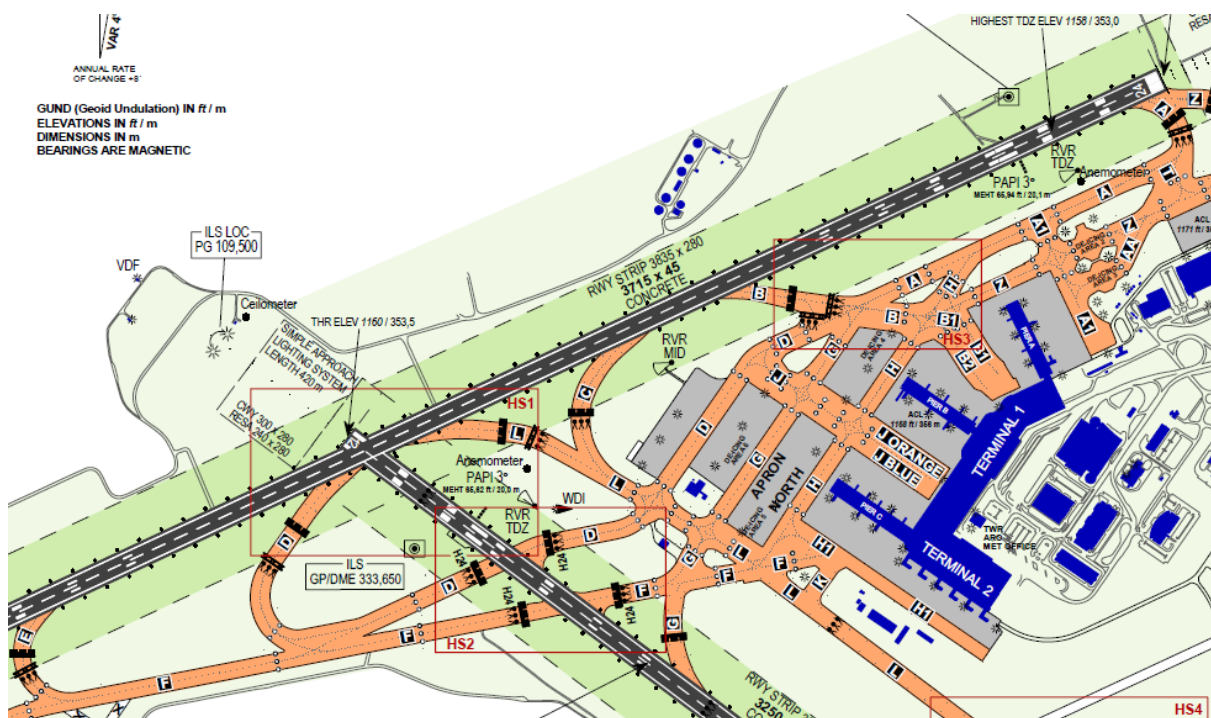
4 VÝSLEDKY PRÁCE

V této kapitole je popsán problém runway incursion na letišti v Praze, modelování FTA a na závěr vytvoření scénářů runway incursion, které mohou být použity v leteckém simulátoru.

4.1 Runway incursion na letišti Václava Havla v Praze

Tato práce se zabývá určitým typem runway incursion, a to nesprávným uvolněním vzletové a přistávací dráhy na jinou vzletovou a přistávací dráhu namísto pojezdové dráhy. Jak již bylo v práci zmíněno, tento typ runway incursion se děje i na letišti v Praze, kde se konkrétně jedná o nesprávné uvolnění RWY24 na RWY12.

Na obrázku číslo 16 lze vidět vzletovou a přistávací dráhu 06/24, část vzletové a přistávací dráhy 12/30, pojezdové dráhy, letištní terminály a stání letadel. Po přistání na RWY24 má pilot možnost uvolnit dráhu pomocí pojezdových drah Charlie, Delta nebo Echo. Avšak stává se, že vzniká runway incursion, tedy dochází k uvolnění dráhy pomocí druhé vzletové a přistávací dráhy, a to RWY12.



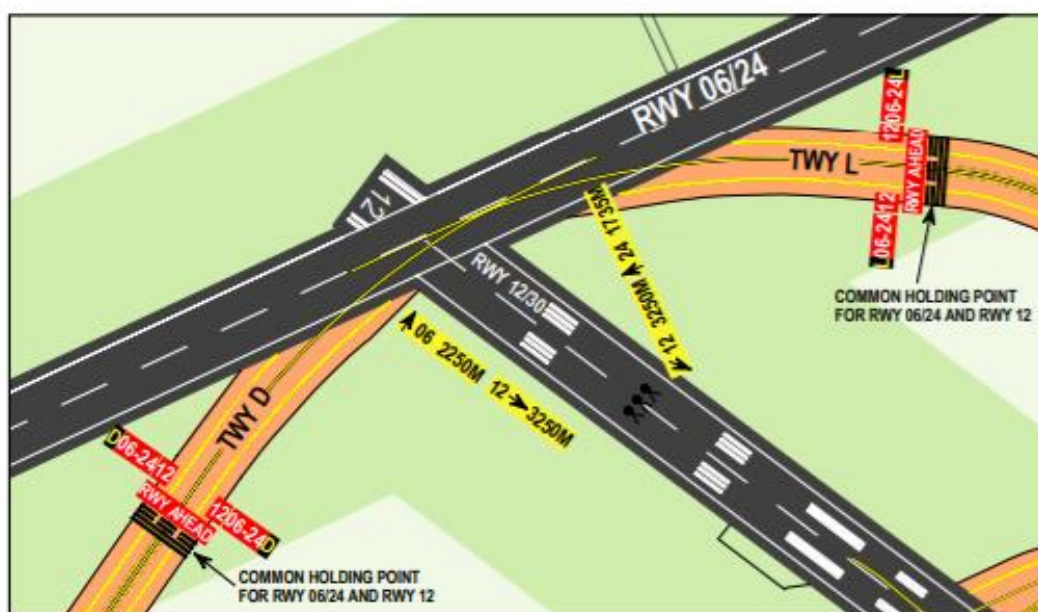
Obr. č. 16: Detail letištní mapy LKPR. [31]

Aby se udál tento typ runway incursion na LKPR, musí pilot po přistání ostře odbočit vlevo (lze vidět na obrázku číslo 16). Tento nestandardní manévr by měl být pro pilota signálem, že je něco špatně. Standardně není potřeba žádných náročných manévrů pro opuštění RWY, jelikož pojezdové dráhy pro rychlé odbočení jsou konstruované s RWY tak, že úhel

mezi osou pojezdové dráhy a RWY by neměl být větší než 45 stupňů a menší než 25 stupňů, aby pilot s letadlem mohl RWY plynule opustit.

Na obrázku číslo 17 je zobrazen detail části obrázku číslo 16 (HS1 - červený obdélník). Na obrázku lze vidět část RWY 06/24 a sní se protínající RWY 12/30 a pojezdové dráhy Delta a Lima. Lze zde také vidět žlutou vodící čáru, která vede z RWY na TWY a slouží k navádění pilota ke správnému uvolnění RWY. Obrázek detailněji ukazuje, jak náročné musí být s letadlem odbočit na RWY 12, jak v závislosti na úhlu odbočení, tak na vodící čáře, která přesně ukazuje cestu.

Na základě těchto dvou obrázků, si myslím, že design letiště v Praze není příliš složitý a napomáhá pilotovi k správnému odbočení na pojezdovou dráhu.



Obr. č. 17: HS1 [31]

Tento konkrétní typ runway incursion byl vybrán pro analýzu a modelování pomocí Fault tree analýzy, za účelem vytvoření scénářů, které mohou být použity v leteckém simulátoru s VR. V následující podkapitole je popsán vytvořený Fault tree diagram.

4.2 Fault tree diagram

Na základě studií a informací zjištěných ohledně problematiky runway incursion na letišti v Praze byl vytvořen fault tree diagram. Diagram je sestaven z faktorů, týkajících se určitého typu runway incursion, konkrétně nesprávného uvolnění vzletové a přistávací dráhy na jinou vzletovou a přistávací dráhu namísto pojezdové dráhy. Faktory lze nalézt v ICAO Doc. 9870: Manual on the Prevention of Runway Incursions a v ICAO ADREP taxonomii – Explanatory

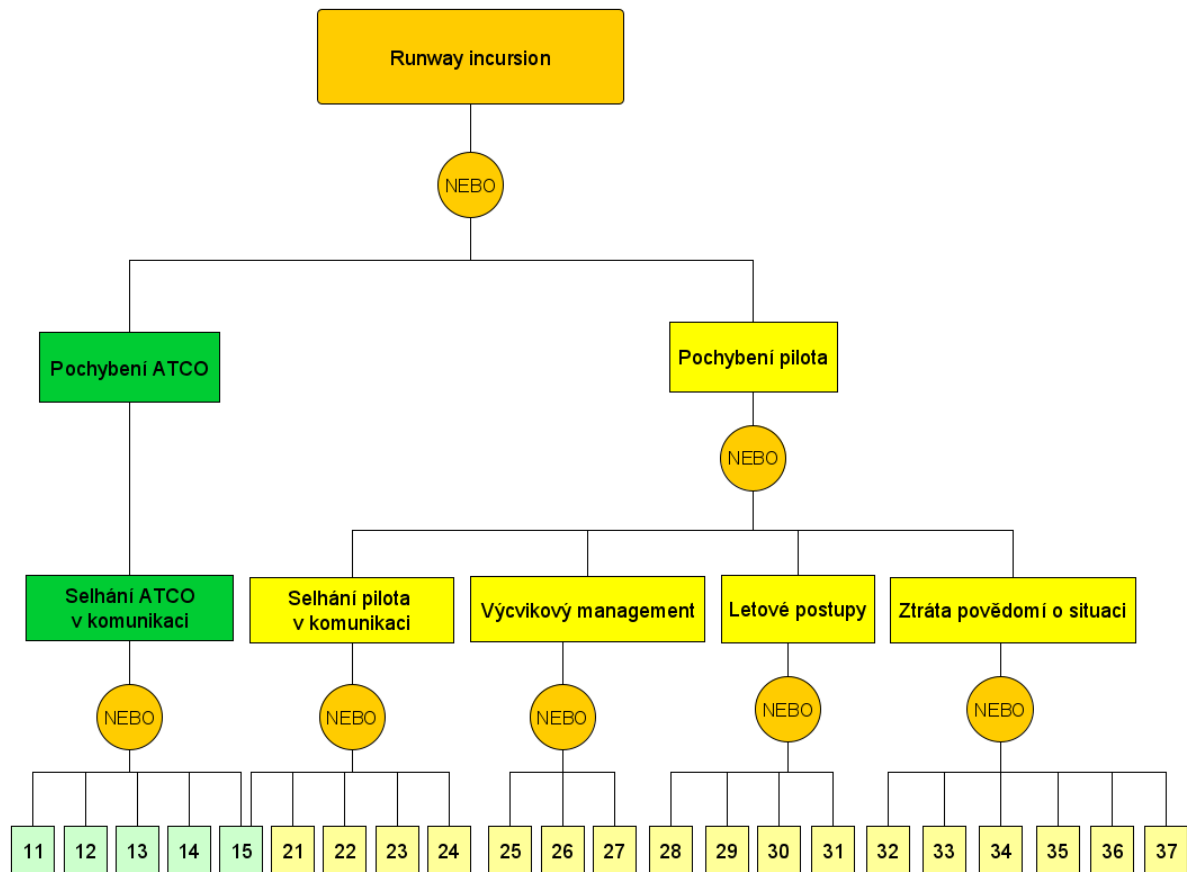
factors. Při vytváření diagramu jsem se také inspirovala studiemi, které jsou rozebrány v kapitole 2.3.3.

Z těchto studií jsem vybrala jen část faktorů, týkající se pilota a ATCO. Ze studií byly vybrány pouze ty faktory, které mohou ovlivnit typ runway incursion, který je zkoumán v této práci. Studie pojednávají obecně o runway incursion, to znamená, že Fault tree diagramy, které vědci ve studiích vytvořili, jsou složené z mnoha faktorů, avšak pro potřeby této práce jsou podstatné jen některé. Pochybení pilota může nastat a zapříčinit špatné odbočení letadla na základě: (1) používání nestandardní frazeologie; (2) provedení nesprávného readbacku; (3) nepochopení instrukce od ATCO; (4) ztráty povědomí o situaci; (5) zanedbání letištního značení během pojíždění; (6) nedostatečná koordinace posádky či (7) nesplnění standardní pracovní procedury. U ATCO se jedná o faktory – (8) používání nestandardní frazeologie; (9) selhání při kontrole správného readbacku od pilota; (10) nevhodně zadaná instrukce pilotovi a (11) příliš dlouhé a nesrozumitelné instrukce.

Pilot po přistání provádí určité úkony, které jsou pro tuto konečnou část letu specifické, jako brzdění letadla, provádění checklistů, přijímání informací od ATCO a co nejefektivnější a nejrychlejší uvolnění dráhy; to platí hlavně v hodinách, kdy je letiště nejvíce vytížené. Na základě těchto informací a konkrétního typu runway incursion, o kterém pojednává tato práce, byly z dokumentů zmíněných na začátku této kapitoly vybrány ostatní faktory, kterými je diagram vyplněn.

Na obrázku číslo 18 je zobrazen vytvořený Fault tree diagram. Hlavní událostí je určitý typ runway incursion. Jedná se o runway incursion, který vzniká nesprávným uvolněním RWY na jinou RWY. S hlavní událostí jsou spojené faktory Pochybení ATCO a Pochybení pilota a přímo hlavní událost ovlivňují. Lidský faktor je hlavní subjekt v tomto typu runway incursion, jelikož k nesprávnému uvolnění vzletové a přistávací dráhy pomocí jiné vzletové a přistávací dráhy dochází vinou lidského činitele. Z tohoto důvodu nejsou v diagramu brány v potaz technické či provozní faktory.

Pochybení ATCO vzniká na základě Selhání v komunikaci mezi pilotem a ATCO. Pochybení pilota vzniká na základě Selhání v komunikaci, Výcvikový management, Letové postupy a Ztráta povědomí o situaci. Konkrétní příčiny budou rozebrány v další kapitole.

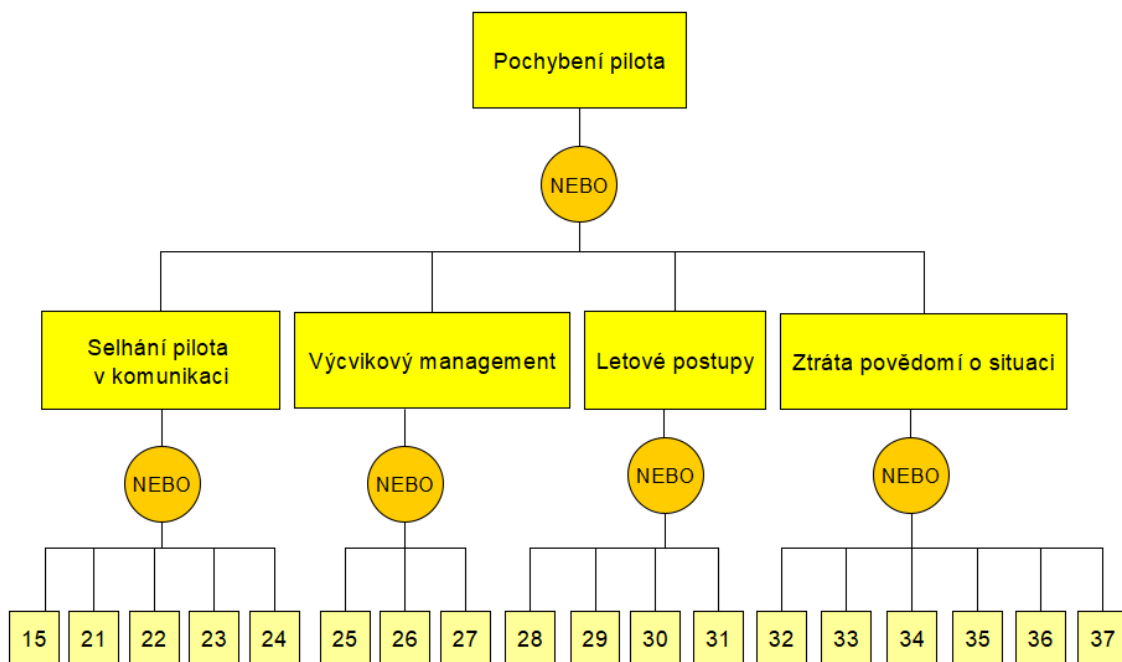


Obr. č. 18: FTA runway incursion.

4.2.1 Detailní rozbor Fault tree diagramu

Pochybení pilota

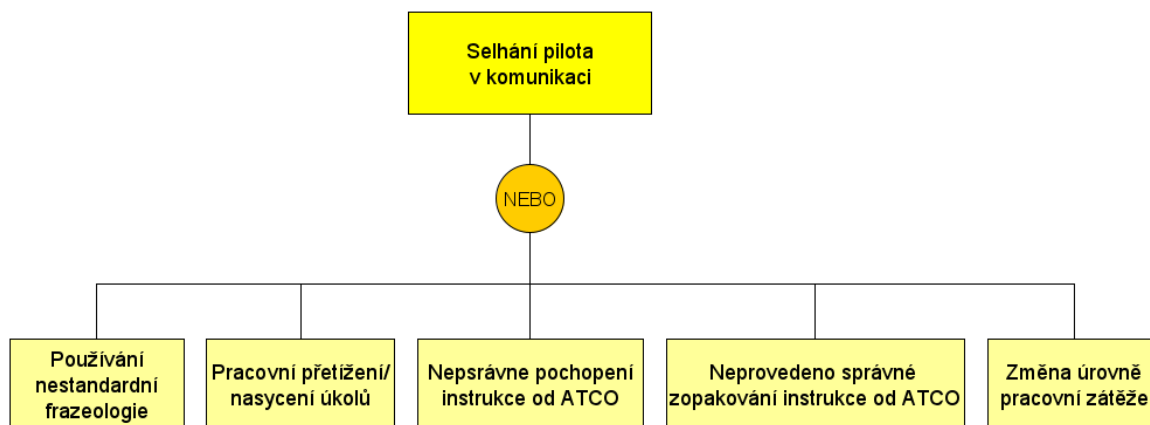
Jak již bylo zmíněno v předcházející kapitole, FTA je ovlivněna dvěma činiteli. První činitel, pilot, ovlivňuje událost runway incursion přímo. Na obrázku číslo 19 jsou zobrazeny čtyři příčiny, které napomáhají k udání se runway incursion vinou pilota. Jsou spojeny s faktorem Pochybení pilota operátorem NEBO, to znamená, že jak každý faktor z těchto čtyř faktorů, tak jejich kombinace může zapříčinit to, aby pilot udělal chybu.



Obr. č. 19: Detail faktoru Pochybení pilota.

Jednotlivé příčiny faktorů (na obrázku číslo 19 zobrazeny jako čísla z kapacitních důvodů), jsou zobrazeny a popsány dále v textu.

Detail faktoru Selhání pilota v komunikaci je zobrazen na obrázku číslo 20.



Obr. č. 20: Příčiny faktoru Selhání v komunikaci.

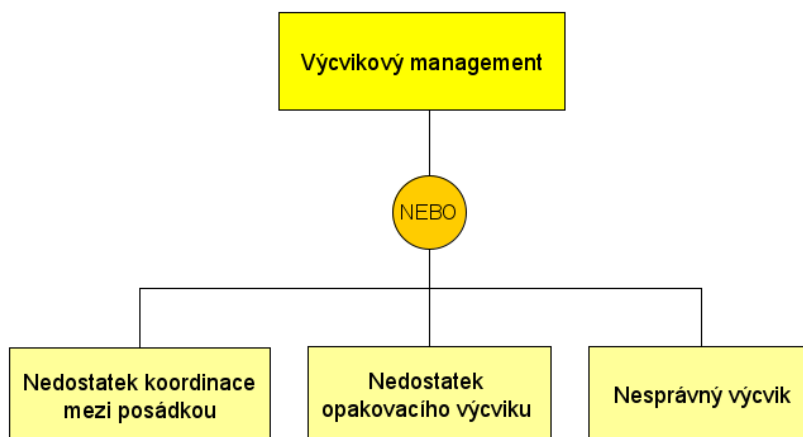
Je spojen s pěti příčinami a to:

- Používání nestandardní frazeologie (15) – objevuje se jak u ATCO, tak u pilota, jelikož i pilot může používat nestandardní frazeologii a tím ovlivnit jeho komunikaci s ATCO.

- Pracovní přetížení/nasycení úkolů (21) – požadavky na pilota ohledně splnění všech úkolů po přistání jsou vysoké. S tímto úzce souvisí přepracování pilota, které vzniká jak na základě velkého množství úkolů, tak z důvodu nedostatku personálu. Při mimořádných situacích (porucha nějakého zařízení, zapomenutý úkon a jeho provádění na poslední chvíli, vysoká rychlost na přistání), kdy pilot musí provést nadstandardní úkony, se také zvyšuje pracovní zátěž pilota.
- Nesprávné pochopení instrukce od ATCO (22) – nesrozumitelná komunikace mezi pilotem a ATCO může zapříčinit nepochopení instrukce od ATCO.
- Neprovedeno správné zopakování instrukce od ATCO (23) – pilot neprovedl správné zopakování instrukce od ATCO.
- Změna úrovně pracovní zátěže (24) – pracovní zátěž během letu se mění, stejně tak se mění po přistání, kdy v jednu chvíli pilot provádí množství úkonů a v další chvíli již jen pojíždí po dráze. Ovlivňuje průběh komunikace krátce poté, co se úroveň zátěže změní z vysoké na nízkou nebo z nízké na vysokou.

Na základě těchto příčin, které pilot může provést nebo jimi může být ovlivněn, je ovlivněna jeho komunikace s ATCO.

Další faktor, který je napojen na Pochybení pilota je Výcvikový management, jehož detail je zobrazen na obrázku číslo 21.



Obr. č. 21: Příčiny faktoru Výcvikový management.

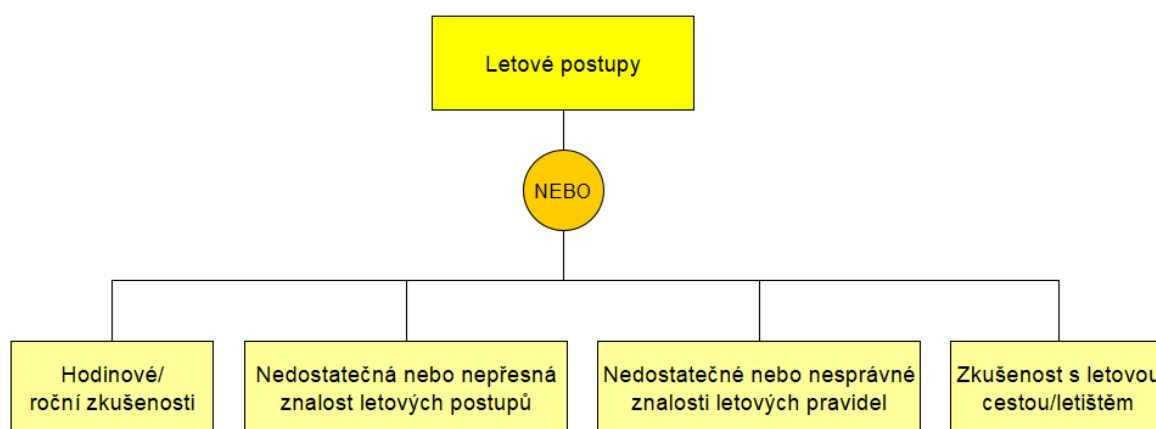
Nesprávný výcvik může zapříčinit mnohé nedorozumění a pochybení. Výcvikový management zapříčiňují tři příčiny:

- Nedostatek koordinace mezi posádkou (25) – nesprávná součinnost mezi kapitánem letadla a kopilotem.

- Nedostatek opakovacího výcviku (26) – při nedostatečném opakovacím výcviku pilota je možné, že pilot si nezopakoval všechny požadované úkony a procedury.
- Nesprávný výcvik (27) – školení není dostatečné či správné. Jsou situace, na které není pilot vyškolen nebo je toho školení málo.

Neznalost nebo nesprávná znalost letových postupů je další faktor, jehož detail je zobrazen na obrázku číslo 22. Pochybení v souvislosti s letovými postupy může vzniknout na základě:

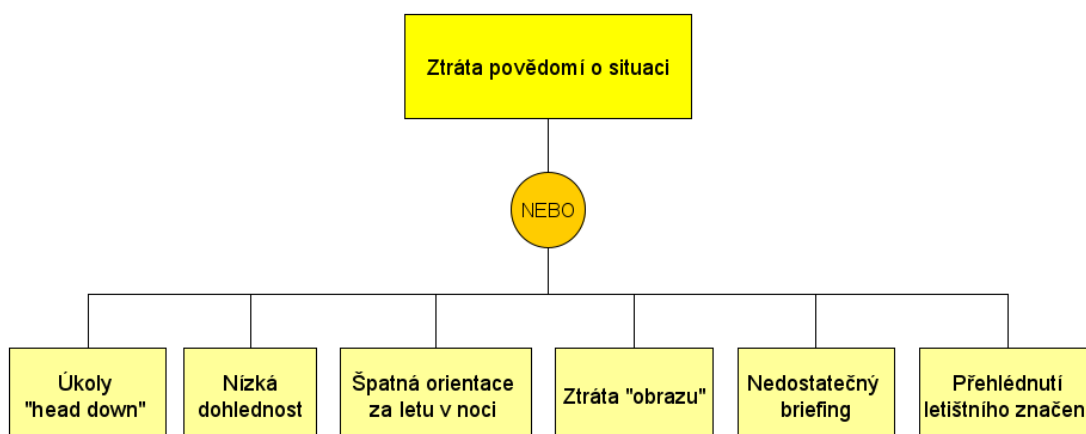
- Hodinové/roční zkušenosti (28) – úroveň zkušeností se odvíjí od počtu nalétaných hodin nebo také od toho, jak dlouho pilot toto povolání vykonává. Zkušenější piloti by samozřejmě měli lépe znát letové postupy.
- Nedostatečná nebo nepřesná znalost letových postupů (29) – letové postupy, letištní postupy, ATM postupy, ostatní provozní postupy.
- Nedostatečné nebo nesprávné znalosti letových pravidel (30) – pilot je povinen znát letové pravidla. V některých státech se pravidla mohou lišit, např. jsou státy, kdy pilot může vjet na jinou vzletovou a přistávací dráhu bez povolení, ale pouze, když dráha není v užívání. Avšak v České republice toto pravidlo neplatí.
- Zkušenost s letovou cestou/letištěm (31) – týká se především pilotů, kteří letí na letiště v Praze poprvé nebo pilotů, kteří na letiště létají pravidelně. U pilotů, kteří letiště v Praze neznají a letí zde poprvé se dá předpokládat, že jejich pracovní zátěž bude velice vysoká (zorientování se, zkoumání letištní mapy). Opak nastává u druhé skupiny pilotů, kde pracovní zátěž založená na zorientování se na letišti není vysoká, znají letiště Václava Havla velice dobře a tím spíše klesá jejich pozornost k okolí. Obě tyto skupiny pilotů mohou lehce něco přehlédnout.



Obr. č. 22: Příčiny faktoru Letové postupy.

V neposlední řadě v práci popíši faktor Ztráta povědomí o situaci. Povědomí o situaci na vzletové a přistávací dráze je ovlivněno:

- Úkoly „head down“ (32) – povinné úkoly prováděné hlavou dolů, kdy pilot není schopen sledovat okolí, snižují povědomí o situaci.
- Nízká viditelnost (33) – za letu v nízké viditelnosti se snižuje orientace pilota v prostoru.
- Špatná orientace za letu v noci (34) – za letu v noci se může snižovat orientace pilota v prostoru.
- Ztráta „obrazu“ (35) – ztráta obrazu ohledně celkové situaci na vzletové a přistávací dráze, může vzniknout například na základě dezorientace pilota.
- Nedostatečný briefing (36) – nedostatečné předletové nastudování letiště a letové cesty.
- Přehlédnutí letištního značení (37) – nepovšimnutí dráhového značení a značek.



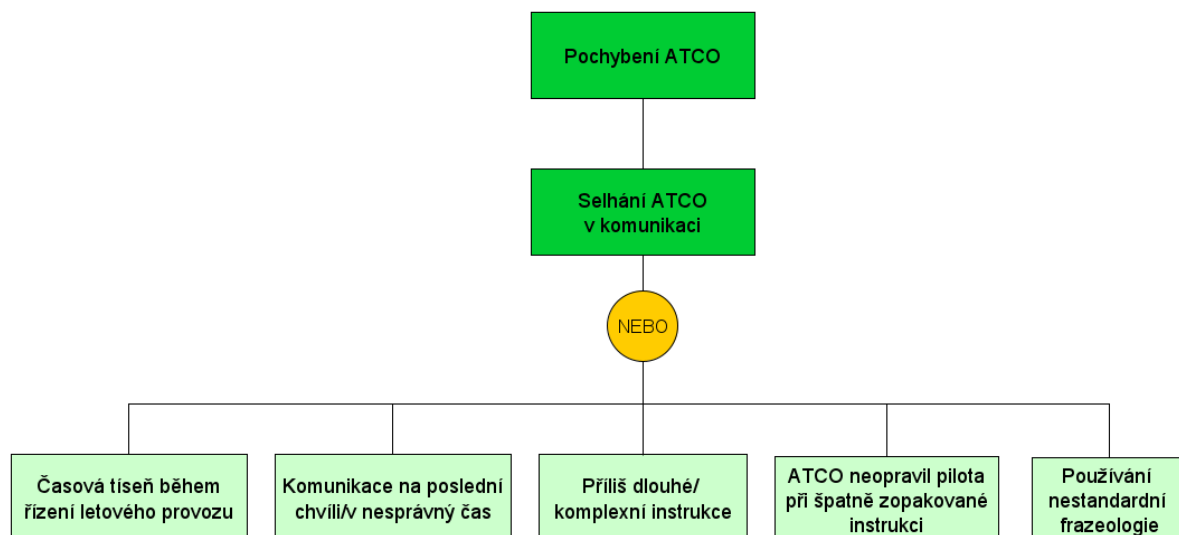
Obr. č. 23: Příčiny faktoru Ztráta povědomí o situaci.

Již byly popsány veškeré faktory, ze kterých je diagram sestaven. Všechny faktory týkající se jak pilota, tak ATCO jsou ovlivněny časovou tísň, pod kterou oba dva tyto činitele jsou. Ať se jedná o časový tlak, který vytváří ATCO na pilota v závislosti na rychlosti uvolnění dráhy nebo časový tlak, který je na pilota vytvářen ze strany managementu např. při snižování zpoždění nebo při spěchání z důvodu možného překročení limitu letové doby pilota.

Vytvořený diagram znázorňuje, na základě čeho pilot nebo ATCO může zapříčinit runway incursion. Nelze s jistotou říci, že právě jeden či druhý faktor, který se v modelu nachází, zapříčiní runway incursion, ale může k tomu dopomoci, proto budou v další kapitole vytvořeny alternativy scénářů, které se od sebe budou v určitých bodech lišit.

Selhání ATCO

Druhý lidský činitel, který velkou částí může přispět k zapříčinění runway incursion je ATCO. Na obrázku číslo 24 je zobrazen detail faktoru související s ATCO.



Obr. č. 24: Příčiny faktoru Pochybení ATCO

Selhání v komunikaci na straně ATCO může být zapříčiněno několika faktory:

- Časová tíseň během řízení letového provozu (11) – v posledních letech došlo k velkému nárůstu provozu na letišti v Praze, hlavně v letních měsících. Může se stát, že nastane okamžik, kdy ATCO je v časové tísní, a to ovlivní kvalitu jeho komunikace.
- Komunikace na poslední chvíli/v nesprávný čas (12) – jedná se například o komunikaci při přistání nebo při provádění úkonů po přistání, kdy je pracovní zátěž pilota vysoká.
- Příliš dlouhé/komplexní instrukce (13) – ATCO podává pilotovi dlouhé instrukce, které piloti mohou zmást a nemusí jim přesně porozumět.
- ATCO neopravil pilota při špatně zopakované instrukci (14) – pilot je povinen zopakovat instrukce, které mu ATCO podal, taktéž je ATCO povinen vnímat opakování instrukce pilotem a při nesprávném zopakování pilota opravit. V případě, že ATCO neopraví špatně zopakovanou instrukci pilotem, může dojít k špatnému pochopení a provedení instrukce.
- Používání nestandardní frazeologie (15) – při nedodržení standardní, uzákoněné frazeologie může dojít k nedorozumění mezi pilotem a ATCO.

Tyto faktory vedou k pochybení na straně ATCO v komunikaci mezi ATCO a pilotem.

4.3 Návrh scénářů runway incursion

Na základě FTA (podrobně popsán v podkapitole 4.2), která vznikla identifikací nejpravděpodobnějších faktorů uvážením konkrétního typu runway incursion, jsem navrhla provozní scénáře pro ověření fenoménu runway incursion. Z FTA vyplývá, že události runway incursion jsou způsobeny různými typy faktorů, hlavně faktory ovlivňující lidského činitele – pilota a ATCO. Z tohoto důvodu je do jednotlivých scénářů zakomponovaný jeden faktor ovlivňující pilota a jeden ovlivňující ATCO. Tedy v každém scénáři (kromě 4. scénáře, který se liší od ostatních) se objevují dva faktory, a to proto, aby scénáře nebyly překombinované a zbytečně náročné na simulaci. Kombinace faktorů ATCO a pilota jsem navrhla tak, aby vzniklé situace byly reálné a mohlo k nim dojít v běžném provozu. Jsou sestaveny aby nadstandardně zaměstnávaly pilota, spotřebovávaly jeho energii a aby došlo ke zvýšení jeho pracovní zátěže. Hlavním účelem kombinace faktorů je zvýšit pravděpodobnost výskytu runway incursion.

Scénáře jsou navrženy tak, aby je bylo možné využít piloty na leteckém simulátoru s virtuální realitou. Aby bylo možné na VR simulátoru zjistit výsledky, je potřeba aby piloti létali na základě uniformních scénářů. Právě uniformita měření je schopná zjistit, které faktory ovlivňují zvýšení pravděpodobnosti runway incursion. Scénáře je možné využít také na leteckém simulátoru bez virtuální reality, avšak primárně jsou navrženy pro letecký simulátor s VR, který se nachází na Fakultě dopravní ČVUT v Praze.

Scénáře jsem vytvořila čtyři, jejich rozdílnost zvyšuje pravděpodobnost, že společně tyto scénáře vytvoří vhodné podmínky pro výzkum tohoto typu událostí. Většina runway incursion se stává během dne, tzn. za denního světla, za příznivých meteorologických podmínek, kdy je dostatečná viditelnost a piloti mohou létat vizuálně. Nicméně množství nehod se stává za špatných meteorologických podmínek, jako je malá dohlednost či silný vítr a také v noci. [1] Proto ve scénářích bude zakomponované jak počasí, tak bude navrhnut scénář letu v noci.

1. Scénář

- Pilot poletí za nízké dohlednosti.
- ATCO bude pilotovi podávat příliš dlouhé a komplexní instrukce.

První scénář bude ovlivněn počasím. Rozhodla jsem se, že nízká dohlednost bude jediný faktor, týkající se počasí, a to z toho důvodu, že se ve vytvořená FTA, žádný další faktor týkající se počasí nevyskytuje. Diagram jsem dalšími faktory týkající se počasí nevyplňovala, jelikož Česká republika, a tedy i letiště v Praze, se nachází v mírném podnebném pásu a většinu roku jsou zde dobré meteorologické podmínky.

V simulátoru se nastaví nízká dohlednost (okolo 1000 m), která ovlivní pilotovu orientaci v prostoru a celkově povědomí o situaci. ATCO bude pilotovi podávat příliš dlouhé a komplexní instrukce. Pilot se bude muset více soustředit na pochopení pokynu od ATCO, popřípadě bude požadovat zopakování instrukce, komunikace mu tím zabere více času než standardně. Také musí provádět standardní úkony a kontrolní úkony (checklisty), které se provádí při a po přistání. Kombinace špatného počasí a náročné komunikace s ATCO zvyšuje pracovní zátěž pilota. Nehledě na to, že pilot může být lehce dezorientovaný na základě nízké dohlednosti, ještě k tomu se potýká se složitými pokyny od ATCO, které nemusí pochopit správně nebo vůbec a mohou jeho dezorientaci ještě prohloubit.

2. Scénář

- Let v noci.
- ATCO používá nestandardní frazeologii.

Druhý scénář bude simulován v noci, za dobrých meteorologických podmínek. Orientace v prostoru za tmy může být pro některé piloty složitější než za denního světla. Letiště je v noci osvětleno množstvím různobarevných světel, které napomáhají pilotovi s orientací. Avšak i přesto let v noci může být pro některé piloty stresující. ATCO bude používat nestandardní frazeologii. Je možné, že pilot nepochopí instrukci nebo dokonce nebude rozumět pokynu od ATCO. Opět nastává zvyšování pracovní zátěže pilota. Nejenom, že na pilota působí únava, jelikož lidský organismus je nastaven tak, že je ve dne aktivní a v noci odpočívá, ale také musí vynakládat energii na komunikaci s ATCO, která pro něho není jednoduchá.

3. Scénář

- Nedostatečný briefing pilota.
- Časový nátlak na pilota ze strany ATCO + komunikace v nesprávný čas.

Ve třetím scénáři budou pilotovi k dispozici základní informace jako počasí na trati, informace o letadlu (hmotnost, vyvážení, palivo), trasa letu či příletové a odletové mapy. Avšak v rámci briefingu s pilotem nebude řešen design letiště. A to z toho důvodu, aby bylo možné zjistit, zda je pilot schopný se orientovat na letišti na základě značek a značení. Tato skutečnost napomáhá zjistit, jak velkou roli v zavinění runway incursion hraje připravenost pilota před letem. ATCO bude komunikovat s pilotem ve chvílích, kdy jeho pracovní vytížení je vysoké, tedy když s letadlem přistává nebo provádí úkony po přistání. Během komunikace bude na pilota vyvíjet časový nátlak ve formě požadavku, co nejrychleji opustit vzletovou a přistávací dráhu. Kombinaci jsem zvolila, protože si myslím, že je zajímavá z toho pohledu, že absence

prostudování letištní mapy před letem a zmiňovaný nátlak vyvíjený na pilota, může vést k vystavení pilota jak většímu stresu, než je normálně zvyklý, tak ke zbrkllostem z důvodu vysokého pracovního zatížení.

4. Scénář

- Posádka provedla dostatečný briefing.
- ATCO používá standardní frazeologii a pokyny.

Čtvrtý scénář neobsahuje žádné záludnosti. Posádka poletí za denního světla za příznivých povětrnostních podmínek. Pilot bude mít dostatek času na to, aby provedl briefing, bude provádět klasické úkony, to znamená, že jeho pracovní zátěž bude standardní. ATCO bude používat standardní frazeologii a nebude na pilota vyvíjet nátlak.

I přesto, že tento scénář přímo nevyplývá z vytvořené FTA, má určitou využitelnost z pohledu Safety-I. Standardní přiblížení a uvolnění RWY na pojezdovou dráhu je klasický scénář přistání a hodí se k porovnání s ostatními scénáři. Při porovnání výsledků z tohoto scénáře s výsledky z jednoho z výše uvedených scénářů lze zjistit jak, moc pilota ovlivnili elementy, které byly do scénáře zakomponované (noční let, počasí, nátlak od ATCO, a podobně), jelikož první tři scénáře jsou uměle vytvořené a při porovnání lze zjistit, jestli a jak jednotlivé elementy ovlivní klasický scénář bez faktorů.

Možné využití v leteckém simulátoru s virtuální realitou

Během provádění experimentu bude docházet k různým měřením pomocí VR a její kombinací s dalšími technologiemi. Primárně se ve všech scénářích bude měřit zda vznikla runway incursion. Také je možné měřit reálný vznik pracovní zátěže, což lze zjistit na základě měření fyziologických funkcí (tepová frekvence). Pracovní zátěž se nejspíše bude projevovat stresem (vyšší tepová frekvence), pocením se či snížením koncentrace. Dále je podstatné ve všech scénářích sledovat, kam se pilot v určitou chvíli dívá, zda sleduje značení, přístroje či neurčitě sleduje okolí – tedy zda má povědomí o situaci. Tím lze zjistit, zda kombinace faktorů ve scénářích jeho povědomí o situaci ovlivňuje.

Je vhodné, aby celý experiment začínal vzletem letadla, krátkým okruhem kolem letiště, přistáním a pojížděním po dráze. Pro výzkum je nejdůležitější část po přistání, avšak je zajímavé sledovat chování pilota v různých částech letu, a také je vhodné pilotovi poskytnout čas na seznámení se s virtuálním prostředím. K ověření runway incursion na základě těchto scénářů je potřebné, aby parametry letadla byly vhodně nastavené. Na simulátoru je možné množství z nich nastavit dle potřeby. Pro tento výzkum je zajímavé nastavení přistávací hmotnosti letadla a automatické brzdy. Je žádoucí, aby tyto dva parametry byly nastavené

tak, aby pilot přistál s letadlem na přistávací dráhu těsně za výjezdem na pojezdovou dráhu Charlie, tak aby nestihl uvolnit dráhu na Charlie. Je to z toho důvodu, že když pilot těsně nestihne uvolnit dráhu na Charlie, tak by měl odbočit na pojezdovou dráhu Delta. Avšak mezi Charlie a Deltou se RWY24 kříží s RWY12 a někteří piloti si omylem zaměňují RWY12 a pojezdovou dráhu Delta. Proto je potřeba nastavit parametry letadla tak, aby se zajistilo dobrzdění těsně za pojezdovou dráhou.

5 Diskuze

Výsledkem této práce jsou čtyři scénáře, tři scénáře jsou složeny z podmínek, které slouží k tomu, aby se zvýšila pravděpodobnost výskytu runway incursion. Čtvrtý scénář je inspirován klasickým přiblížením a přistáním bez jakýchkoliv vnějších podnětů, které by mohly zvýšit pravděpodobnost výskytu runway incursion. Tento scénář napomáhá ke zjištění toho, zda podmínky v ostatních třech scénářích zvyšují pravděpodobnost výskytu runway incursion či ne.

Scénáře byly navrženy na základě vytvořené FTA, která je také výstupem této práce. Diagram je vyplněn faktory, které mohou ovlivnit výskyt určitého typu runway incursion, konkrétně nesprávného uvolnění vzletové a přistávací dráhy na jinou vzletovou a přistávací dráhu namísto pojezdové dráhy. Faktory vyplňující diagram jsem vybrala jak z prozkoumaných studií, tak z ICAO Doc. 9870: Manual on the Prevention of Runway Incursions a z ICAO ADREP taxonomie – Explanatory factors.

Jak scénáře, tak Fault tree diagram, jsou navrženy pro jeden typ runway incursion. Primárně byly vytvořeny pro potřeby letiště Václava Havla v Praze, avšak výhodou je, že je lze použít také na jiné letiště, které se potýkají s problematikou tohoto typu runway incursion. Na druhou stranu, je lze použít i na jiné letiště, avšak stále jen na tento konkrétní typ runway incursion, což se může zdát jako nevýhoda, jelikož jejich využití není tak rozsáhlé. Pro potřeby jiného typu by bylo potřeba Fault tree diagram upravit, tedy vyplnit ho faktory, které by ovlivňovali ten určitý typ runway incursion. Což se zdá být pracné, avšak si myslím že úprava by byla po prostudování tohoto typu runway incursion relativně rychlá, jelikož část faktorů by byla velice podobná nebo dokonce i stejná,

Hlavním přínosem a výhodou scénářů je zjištění, jaké podmínky, které ve scénáři vystupují, zvyšují pravděpodobnost výskytu runway incursion. Při letu na virtuálním simulátoru podle těchto scénářů bude po zaletění scénáře zřejmé, zda pilot pochybil či ne, a když ano, tak na základě čeho. Když na první pohled nebude zjevné, co pilota ovlivnilo špatně odbočit z RWY, je možné celý let zpětně přehrát. Bez scénářů, a tedy bez uniformy měření, by nebylo možné takto zjistit, co pilota přesně ovlivnilo k tomu, aby zapříčinil runway incursion.

Kombinace podmínek, které scénáře obsahují, byly vytvořeny na základě mého úsudku, tak, aby co nejvíce zvyšovali pravděpodobnost výskytu runway incursion. Nevýhodou řešení je, že navzdory celému postupu nemohu s naprostou jistotou tvrdit, že kombinace podmínek ve scénářích, je ta nejvhodnější pro zvýšení pravděpodobnost výskytu runway incursion. Avšak toto vzhledem na určitou náhodnost u výskytu incidentů a nehod s jistotou nelze tvrdit o žádném scénáři, který by mohl být navržen. Proto jsem navrhla více scénářů, jejichž znění

je různé a cílí na ověření zkoumaného fenoménu z několika úhlů pohledu, čím se zvyšuje pravděpodobnost, že společně tyto scénáře vytvoří vhodné podmínky pro výzkum tohoto typu událostí.

6 ZÁVĚR

V této práci jsem se zabývala fenoménem runway incursion. Na základě dostupných světových (IATA), evropských (EROCNTRNOL) a českých (ŘLP, ÚZPLN) statistik počtu událostí runway incursion jsem zjistila, že se tyto události každoročně dějí všude na světě. Jelikož runway incursion je aktuální téma, které je možné v dnešní době ověřit pomocí různých nových technologií, navrhla jsem scénáře pro ověření runway incursion na letišti Václava Havla v Praze.

Cílem této práce jsou vytvořené scénáře z pohledu Safety-I. Scénáře jsem vytvořila na základě FTA, kterou jsem sestavila z faktorů ovlivňující určitý typ runway incursion, který je v práci řešen. Scénáře figurující v mé práci lze porovnat a vytvořit kombinaci se scénáři vytvořené v druhé, souběžné bakalářské práci, která je tvořena z pohledu Safety-II. Avšak jsou použitelné i samostatně. Scénáře byly primárně vytvořeny pro použití v leteckém simulátoru. V závislosti na celosvětové krizi v souvislosti s pandemií covid-19 nebylo možné scénáře ve virtuálním simulátoru ověřit již v průběhu vzniku této práce, avšak věřím, že budou využity v simulátoru s virtuální realitou na Ústavu letecké dopravy, Fakulty dopravní ČVUT v Praze.

Je pravděpodobné, že počet runway incursion se bude každoročně zvyšovat v závislosti se zvyšující se intenzitou provozu na letištích. Dle mého názoru, je potřeba se této problematice věnovat, jelikož v zájmu všech účastníků letového provozu je udržovat vysokou úroveň bezpečnosti na vzletové a přistávací dráze. Myslím si, že právě virtuální simulátor je vhodný nástroj pro řešení problematiky runway incursion a mohl by se pro tyto potřeby začít více využívat, a to hlavně ve státech, kde k runway incursion dochází často. Provozovatelé letišť by se v budoucnu měli problematice více věnovat, používat metody jak Safety-I, tak Safety-II a modelovat konkrétní typy runway incursion, zjišťovat nejčastější příčiny runway incursion, ať už pomocí virtuálního simulátoru nebo jiných známých moderních technologií, či těch, které budou vynalezeny postupem času a vytvořit závěry a preventivní opatření, aby již k těmto událostem nedocházelo.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ICAO (2007). *Manual on the Prevention of Runway Incursions* [online]. the Secretary General of ICAO, [cit. 2020-03-16]. ISBN 92-9194-874-8. Dostupné z: https://www.icao.int/safety/RunwaySafety/Documents%20and%20Toolkits/ICAO_manual_prevent_RI.pdf
- [2] Wilke, Sabine & Majumdar, Arnab & Ochieng, Washington. (2015). *Modelling runway incursion severity. Accident Analysis & Prevention* [cit. 2020-03-12]. 79. 10.1016/j.aap.2015.03.016.
- [3] Řízení letového provozu (2018). *RWY Incursion* [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2019/07/1.3-RLP-RWY-Incursion-2018.pdf>
- [4] Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod. *Rozbor leteckých nehod a incidentů (2018, 2019)* [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://uzpln.cz/>
- [5] EUROCONTROL (2013). *EVAIR Safety Bulletin No 12* [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/EVAIR-bulletin-12.pdf>
- [6] EUROCONTROL (2019). *EVAIR Safety Bulletin No 20* [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-09/evair-bulletin-20.pdf>
- [7] EASA (2016). *Annual Safety Review 2016* [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/209735_EASA_ASR_MAIN_REPORT.pdf
- [8] Air Line Pilot Association, Washington, D.C. (1978). *Aircarf Accident Report* [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://archives.pr.erau.edu/ref/Tenerife-ALPAandAFIP.pdf>
- [9] Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo (2004). *Final report* [cit. 2020-04-21]. dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/2001/20011008-0_MD87_SE-DMA_C25A_D-IEVX.pdf
- [10] Kim, Dohyun & Yang, Hanmo. (2012). *Evaluation of the risk frequency for hazards of runway incursion in Korea*. *Journal of Air Transport Management* [cit. 2020-05-29]. 23. 31-35. 10.1016/j.jairtraman.2012.01.011.
- [11] Danner, Marion & Gerber-Grote, Andreas. (2017). *Analytic Hierarchy Process*. [cit. 2020-08-01] 10.1007/978-981-10-4068-9_11.
- [12] Akinyemi, Olasunkanmi. (2015). *Assessment of runway accident hazards in Nigeria Aviation Sector*. *International Journal of Traffic and Transport Engineering*. [cit. 2020-05-29]. 5. 82-92.

- [13] Xiong, Baoshun & Cui, Haolin & Li, Yihui. (2016). *Fuzzy Comprehensive Evaluation of Runway Incursion based on Fault Tree Method* [cit. 2020-05-29]. 10.2991/nceece-15.2016.149.
- [14] Zhang, S.L. & Liu, N. & Li, B.. (2001). *Fuzzy comprehensive evaluation and its application* [cit. 2020-05-29]. 25.
- [15] Hollnagel, Erik & Wears, Robert & Braithwaite, Jeffrey. (2015). *From Safety-I to Safety-II: A White Paper* [online] [cit. 2020-03-17]. DOI 10.13140/RG.2.1.4051.5282.
- [16] Hosseinian, Seyyed Shahab & Jabbarani Torghabeh, Zahra. (2012). *Major theories of construction accident causation models: A literature review. Int. J. Adv. Eng. Technol.* [cit. 2020-03-26]. 4.
- [17] ISHN (2018) [online]. *The "safety triangle:" A useful, yet complicated, theory* [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.ishn.com/articles/109182-the-safety-triangle-a-useful-yet-complicated-theory>
- [18] Khuankrue, Issarapong & Kumeno, Fumihiko & Ohashi, Yutaro & Tsujimura, Yasuhiro. (2017). *Improving fuzzy FMEA model for student projects.* [cit. 2020-03-26]. 1-6. 10.1109/IFSA-SCIS.2017.8023361.
- [19] Chiozza, Maria & Ponzetti, Clemente. (2009). *FMEA: A model for reducing medical errors. Clinica chimica acta; international journal of clinical chemistry* [cit. 2020-03-26]. 404. 75-8. 10.1016/j.cca.2009.03.015.
- [20] Xing, Liudong & Amari, Suprasad. (2008). *Fault Tree Analysis* [cit. 2020-03-26]. 10.1007/978-1-84800-131-2_38.
- [21] Lee, W. & Grosh, Doris & Tillman, Frank & Lie, Chang. (1985). *Fault Tree Analysis, Methods, and Applications A Review. Reliability, IEEE Transactions on* [cit. 2020-03-26]. 34. 194 - 203. 10.1109/TR.1985.5222114.
- [22] Vaidhyanathan, Ramesh & Venkatasubramanian, Venkat. (1995). *Digraph-based models for automated HAZOP analysis. Reliability Engineering & System Safety* [cit. 2020-03-25]. 50. 33-49. 10.1016/0951-8320(95)00052-4.
- [23] ICAO (2006) *Safety management manual (SMM)* [online]. Montreal, Doc (International Civil Aviation Organization), [cit. 2020-03-17]. 9859-AN/460. ISBN 9291946753. Dostupné z: https://www.icao.int/SAM/Documents/RST-SMSSSP-13/SMM_3rd_Ed_Advance.pdf
- [24] Reason, JT. (2000). *Human Error: Models and Management. BMJ* (Clinical research ed.) [cit. 2020-03-17]. 320. 768-70. 10.1136/bmj.320.7237.768.

- [25] Larouzee, Justin & le coze, Jean-Christophe. (2020). Good and bad reasons: The Swiss cheese model and its critics. *Safety Science* [cit. 2020-03-26]. 126. 104660. 10.1016/j.ssci.2020.104660.
- [26] Chen, Weiya. (2015). *Collaboration in Multi-user Immersive Virtual Environment*. [cit. 2020-07-16]
- [27] Miloslav Sitora. (2016) *Propojení unity a technických prostředků virtuální reality*. [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/115373/SIT0023_HGF_B2102_6209R013_2016.pdf?sequence=1
- [28] Wohlgenannt, Isabell & Simons, Alexander & Stieglitz, Stefan. (2020). *Virtual Reality. Business & Information Systems Engineering*. [cit. 2020-07-16] 10.1007/s12599-020-00658-9.
- [29] Mazuryk, Tomasz & Gervautz, Michael. (1999). *Virtual Reality - History, Applications, Technology and Future*. [cit. 2020-07-16]
- [30] Virtual reality society [online]. [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
- [31] AIP - Aeronautical Information Publication (AIS ANS C.R.). *AIM | Air Navigation Services of the CR* [online]. [cit. 2020-07-20]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Roční přehled runway incursion na letišti v Praze [ŘLP] [ÚZPLN].	12
Obr. č. 2: Příčiny runway incursion na LKPR v letech 2013 až 2019 [ŘLP] [ÚZPLN].	13
Obr. č. 3: Počet oznámených runway incursion celosvětově v letech 2008-2017 – IATA	14
Obr. č. 4: Počet zaznamenaných runway incursion na 10 000 letů v letech 2008 až 2017 v Evropě. – Eurocontrol	14
Obr. č. 5: FTA runway incursion na letišti Gimbo v Soulu.	19
Obr. č. 6: Fault tree diagram vytvořen vědci v Nigérii.	21
Obr. č. 7: Fault tree diagram pro Lidský faktor vytvořen vědci v Nigérii	23
Obr. č. 8: Fault tree diagram vytvořen vědci v Číně	25
Obr. č. 9: Pohled Safety-I.	28
Obr. č. 10: Safety pyramida [zdroj].	29
Obr. č. 11: Model SHELL [zdroj]	30
Obr. č. 12: Reasonův model [zdroj].	31
Obr. č. 13: Příklad FTA diagramu.	33
Obr. č. 14: Stroj Sensorama [Chen,]	34
Obr. č. 15: Letecký simulátor s virtuální realitou	35
Obr. č. 16: Detail letištní mapy LKPR [Zdroj]	37
Obr. č. 17: HS1 [ZDROJ]	38
Obr. č. 18: FTA diagram runway incursion	40
Obr. č. 19: Detail faktoru Pochybení ATCO.	Chyba! Záložka není definována.
Obr. č. 20: Detail faktoru Pochybení pilota	Chyba! Záložka není definována.
Obr. č. 21: Příčiny faktoru Selhání pilota v komunikaci.	Chyba! Záložka není definována.
Obr. č. 22: Příčiny faktoru Výcvikový management	Chyba! Záložka není definována.
Obr. č. 23: Příčiny faktoru Letové postupy	Chyba! Záložka není definována.
Obr. č. 24: Příčny faktoru Ztráta povědomí o situaci.	Chyba! Záložka není definována.

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Studie 1 – faktory ATCO.....	20
Tabulka č. 2: Studie 1 – další faktory	20
Tabulka č. 3: Studie 2 - faktory kategorie Procedury na přiblížení a vzlet.....	23
Tabulka č. 4: Studie 2 - Konkrétní popsání příčin selhání ATCO a posádky.....	24
Tabulka č. 5: Popis příčin.....	26