ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Kateřina Martincová

VYHODNOCENÍ ZMĚN V ŘÍDÍCÍ STRUKTUŘE MEZINÁRODNÍCH LETIŠŤ Z POHLEDU BEZPEČNOSTI

Diplomová práce

2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K621 ..... **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Kateřina Martincová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Vyhodnocení změn v řídící struktuře mezinárodních letišť z pohledu bezpečnosti**

Název tématu (anglicky): Evaluation of Safety Control Structure Changes at International Airports

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Analýza teorie bezpečnostního inženýrství a bezpečnostních studií
- Analýza vybrané řídící struktury v oblasti bezpečnosti civilního letectví
- Návrh kvantitativního a kvalitativního řízení změn z pohledu bezpečnosti
- Vyhodnocení návrhu na vzorku dat z provozní dokumentace mezinárodních letišť
- Ověření celkového řešení

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Leveson, N. Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. 2011.

Flouris, T., Yilmaz, A. Risk Management and Corporate Sustainability in Aviation. Routledge, 2016.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Štumbauer**

Ing. Andrej Lališ, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **28. července 2017**
(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 diplomové práce: **28. května 2019**
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

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE Fakulta dopravní L. S.

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

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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Kateřina Martincová
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 3. prosince 2018

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucím mé diplomové práce Ing. Oldřichu Štumbauerovi a Ing. Andreji Lališovi, Ph.D. za odborné rady, trpělivost a čas který mi věnovali při konzultaci. Poděkování dále patří mé rodině a pejskovi za podporu při studiu a psaní diplomové práce.

PROHLÁŠENÍ

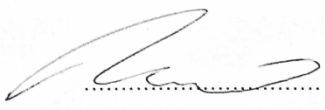
Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou v závěru studia na ČVUT v Praze, Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 28.5.2019

Bc. Kateřina Martincová



ABSTRAKT

Cílem předložené diplomové práce „Vyhodnocení změn v řídící struktuře mezinárodních letišť z pohledu bezpečnosti“ je vytvoření řídící struktury v oblasti bezpečnosti civilního letectví a provedení vyhodnocení jejích změn. V práci je popsán ucelený přehled metody STAMP. Dle teorie STAMP je sestrojena řídící struktura související s procesy odehrávající se na vzletové a přistávající dráze. Pomocí řídící struktury jsou identifikována nebezpečí, která se mohou vyskytnout při provozu na RWY. Pro stanovené změny v řídící struktuře letiště je provedeno vyhodnocení pravděpodobnosti a závažnosti rizik. Dále je provedeno hodnocení potenciálu zmírnění nebezpečí za účelem ověření, zda zavedené změny mohou přispět ke zlepšení bezpečnosti.

Klíčová slova: STAMP, STPA, teorie zpětnovazebního řízení, řízení změn, vyhodnocení rizik a zmírnění rizika, potenciál zmírnění nebezpečí

ABSTRACT

The goal of this master thesis „Evaluation of Safety Control Structure Changes at International Airports“ is to create a Control structure model in the field of Civil Aviation safety and evaluate changes. The thesis describes a comprehensive overview of STAMP model. According to the STAMP theory, a control structure is constructed regarding the processes that are performed on the runway. The control structure identifies hazards that may occur during processes on RWY. Control Structure changes are evaluated by risk assessment (probability a severity). Mitigation potential of hazard is also evaluated in order to verifies whether the changes can help to improve safety.

Keywords: STAMP, STPA, feedback control theory, management of change, risk assessment and mitigation, mitigation potential of hazard

Obsah

SEZNAM ZKRATEK

AIP	Aeronautical Information Publication
A-SMGCS	Advanced Safety Movement Guidance and Control System
CAST	Causal Analysis based on Systems Theory
CFME	Continuous friction measuring equipment
ETA	Event tree analysis
FHA	Functional Hazard Assessment
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMECA	Failure modes and effects criticality analysis
FOD	Foreign object debris
FTA	Fault tree analysis
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
ILS	Instrument Landing Systém
MMP	Mobilního mechanizačního prostředku
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PSSA	Preliminary System Safety Assessment SMS System Management Systém
RESA	Runway End Safety Area
RWY	Runway SAM Safety Assessment Methodology
RVR	Runway Visual Range
SMGCS	Surface Movement Guidance and Control Systém
STAMP	Systems-Theoretic Accident Model and Process
SSA	System Safety Assessment
STPA	Systems Theoretic Process Analysis
TWY	Taxiway
WAAS	World Aircraft Accident Summary
XSTAMPP	EXtensible STAMP Platform

ÚVOD

S rostoucí výkonností světových ekonomik se zvyšuje i zájem o leteckou dopravu. Letecká doprava patří v dnešní době mezi nejrychleji rostoucí průmyslová odvětví. Tento prudký rozvoj provází celá řada nových problémů. Současná technologická vyspělost klade vysoké nároky na změny v organizaci a procesech působících v letecké dopravě. Z důvodu zvětšující se konkurence v leteckém odvětví, dochází k tlaku na organizace, aby snižovaly náklady, a to může vést ke klesající úrovni bezpečnosti. Aby se zabránilo těmto nežádoucím procesům v letecké organizaci, jsou provozovatelé poskytující letecké služby povinni zavést systém řízení bezpečnosti.

Více jak 80 % všech leteckých nehod v obchodní letecké dopravě se odehrává na letišti nebo v jeho blízkosti. Statistika údajů o nehodách ukazuje, že největší počet událostí se stal ve fázích *přiblížení a přistání* stejně jako *pojíždění a vzlet*. [1] Tento typ událostí je nebezpečný tím, že posádka přilétávajícího nebo startujícího letadla má velmi málo času, aby zareagovala na neočekávané nebezpečí. Je to dáno vysokou rychlostí při vzletu a přistání, kdy každý manévr musí být okamžitý.

Letiště představuje jeden ze základních prvků letecké dopravy a s rostoucí intenzitou leteckého provozu vzrůstá i jejich význam v zajišťování bezpečnosti letecké dopravy. Základní funkcí letišť je poskytovat infrastrukturu potřebnou k zajištění bezpečného provozu letadel.

Provozovatel je povinen řídit bezpečnostní rizika, která s sebou nese každá změna. Jedná se o proces identifikace nebezpečí, hodnocení rizik a jejich zmírnění. Nejčastější metodou pro takové posouzení rizik jsou bezpečnostní studie. Studie bezpečnosti posuzují plánované změny nebo nově zaváděný systém před vstupem do provozu. Zaměřují se na identifikaci problémových oblastí a následně určují způsoby prevence těchto událostí.

S rostoucí vyspělostí techniky dochází k zavádění výrazných změn a složitějších vztahů mezi lidmi a automatizovanými systémy. S měnícím se tempem těchto technologických změn vznikají nová nebezpečí. Existuje řada nástrojů pro analýzu vzniku nebezpečí, které využívají studie bezpečnosti. Teorie bezpečnosti se vyvíjí na základě komplexnosti systému a je tedy zapotřebí zvolit hodnotící metodu, která dokáže identifikovat všechny možné způsoby selhání a problematických interakcí systému i u složitějších systémů. Řešením tohoto problému je vznik systémového inženýrství, které na zkoumání bezpečnosti nahlíží jiným způsobem než dosavadní studie bezpečnosti. Zjišťuje, zda jsme schopni řídit nebezpečí při každém jeho

kroku a určit možné nebezpečí které při něm může nastat. Jedním z modelů založených na systémovém inženýrství je model příčin nehod STAMP.

STAMP zkoumá jádro řízeného procesu a umožňuje určit nebezpečí ze všech systémových chyb a nebezpečných událostí, které v systému mohou nastat. Jádrem řízeného procesu je řídící smyčka. Několik zpětnovazebních řídících smyček tvoří řídící strukturu. STAMP dovoluje pracovat s komplexními systémy, které se skládají z organizace, člověka, automatizovaných systémů atd. Vytváří jeden komplexní model vzniku nebezpečí ze všech systémových chyb a nebezpečných událostí, které v systému mohou nastat. Letiště představuje komplexní systém, kde dochází k interakci mezi mnoho organizacemi a zařízeními. Právě z toho důvodu je model STAMP zvolen pro diplomovou práci.

Při volbě řídící struktury ve smyslu modelu STAMP v oblasti civilního letectví jsou vybrány procesy odehrávající se na vzletové a přistávací dráze. Tato volba je provedena na základě dostupnosti veřejných informací o provozu na letišti.

Cílem práce je vytvořit řídící strukturu v oblasti bezpečnosti civilního letectví a provést vyhodnocení jejích změn.

1 METODOLOGIE

První podkapitola představuje pohled na bezpečnost v dnešní době a systematický přístup k řízení bezpečnosti SMS.

V druhé podkapitole je popsána možnost posouzení rizik spojených s prováděním změn pomocí bezpečnostních studií.

Třetí kapitola představuje ucelený přehled teorie modelu STAMP, který je zvolen pro diplomovou práci.

Poslední pátá kapitola se zabývá aplikací modelu STAMP na praktický příklad. Při volbě řídící struktury v oblasti civilního letectví jsou vybrány procesy odehrávající se na vzletové a přistávací dráze. Dále je zde možné najít přehled leteckých událostí na RWY a vybrané změny s procesy spojenými, pro které je provedeno hodnocení bezpečnosti.

1.1 BEZPEČNOST A SMS

„Bezpečnost je stav kdy pravděpodobnost újmy na zdraví osob nebo poškození majetku je omezeno a udržováno na přijatelné nebo lepší úrovni pomocí procesu průběžného zjišťování/identifikace nebezpečí a řízení bezpečnostního rizika. Řízení bezpečnostního rizika je definováno jako proces vyhodnocování a zmírnění bezpečnostního rizika.“ [4]

Na bezpečnost v letecké dopravě se dá nahlížet ze dvou pohledů. Prvním pohledem je provozní bezpečnost (v angličtině je používán pojmem „safety“). Provozní bezpečnost se nezabývá pouze šetřením leteckých událostí, ale také jejich predikcí a prevencí. Druhým pohledem je ochrana civilního letectví před protiprávními činy (v angličtině je používán pojem „security“). [2]

Pro správnou funkčnost bezpečnosti celého systému[1] je zapotřebí, aby všechny složky systému byly propojeny a fungovaly jako celek. Právě na tomto přístupu provozní bezpečnosti je diplomová práce postavena.

Události v leteckém provozu na první pohled nemusí vypadat závažně. Závažnost leteckých událostí lze klasifikovat v závislosti jejich vlivu na bezpečný provoz letadla následovně:

Letecká nehoda je událost spojená s provozem letadla, při které [3]:

[1] Systém je celek složený z prvků, které společně působí, aby dosáhli společného cíle.

a) některá osoba byla smrtelně nebo těžce zraněna. Jde o situaci, kdy byla osoba přítomna v letadle nebo došlo k přímému kontaktu osoby s kteroukoliv částí letadla, nebo mohlo dojít k přímým působením proudů plynů vytvořených za letadlem
b) letadlo bylo zničeno nebo poškozeno tak, že poškození nepříznivě ovlivnilo pevnost konstrukce, výkon nebo letové charakteristiky a žádá si větších oprav nebo výměn postižených částí
c) letadlo je nezvěstné nebo je na zcela nepřístupném místě

Incident je událost jiná než letecká nehoda, spojená s provozem letadla, která ovlivňuje nebo by mohla ovlivnit bezpečnost provozu. Může se jednat o chybnou činnost osob nebo nesprávnou činnost leteckých a pozemních zařízeních v leteckém provozu. Důsledky zpravidla nevyžadují předčasné ukončení letu. [3]

Vážný incident – je incident, jehož okolnosti naznačují vysokou pravděpodobnost letecké nehody, jenž je spojený s provozem letadla. Tento incident se v případě pilotovaného letadla stal mezi dobou, kdy jakákoliv osoba nastoupila do letadla s úmyslem vykonat let a dobou, kdy všechny takové osoby letadlo opustily. Může nastat i v případě bezpilotního letadla, kdy došlo k incidentu mezi dobou, kdy letadlo je připraveno k pohybu pro účely letu a dobou konci letu, kdy hlavní pohonná soustava je vypnuta. [3]

SMS (System Management System) je systematický přístup k řízení bezpečnosti včetně přijatelné organizační struktury, odpovědnosti a postupů. Je zaměřen na průběžné zvyšování bezpečnosti pomocí identifikace nebezpečí, sběrem a analýzou bezpečnostních dat a průběžným vyhodnocováním bezpečnostních rizik. [4]
Systémem řízení bezpečnosti jsou ovládány nebo zmírňovány rizika dříve, než se stanou příčinou letecké události.
SMS je nezbytnou součástí každé organizace v letectví. Každý provozovatel je povinen zavést a udržovat příručku řízení bezpečnosti, která je vytvořena za účelem sdílení a šíření přístupu k řízení bezpečnosti napříč celou organizací provozovatele. [4] Struktura implementace SMS příslušnými provozovateli/poskytovateli obchodní letecké dopravy zahrnuje čtyři části a s nimi spojené minimálními požadavky. Mezi tyto čtyři komponenty patří: [4]

- Politika a cíle bezpečnosti
- Řízení bezpečnostního rizika
- Ověřování úrovně bezpečnosti
- Podpora bezpečnosti

1.1.1 ŘÍZENÍ BEZPEČNOSTNÍHO RIZIKA

Řízení bezpečnostního rizika je jedním z hlavních témat diplomové práce. Zabývá se identifikací nebezpečí, vyhodnocením s ním spojených rizik a vytvořením jejich příslušných zmírnění. Důležité pojmy při identifikace nebezpečí jsou následující:

- Nebezpečí: Existující stav, událost nebo okolnost, mající potenciál vést k incidentu nebo nehodě. Nebezpečí je tedy cokoliv, co může negativně ovlivnit bezpečnost.
- Následek nebezpečí: Tento pojem popisuje, jaký je důsledek nebezpečí. Je zřejmé, že jedno nebezpečí může mít více následků.
- Riziko: Hodnocený důsledek nebezpečí z hlediska pravděpodobnosti a závažnosti. Jedná se o vliv nebezpečí, které by nebylo řízeno nebo odstraněno.

Nebezpečí samo o sobě nemusí nutně znamenat něco negativního. Získává tyto vlastnosti tehdy, když je v kontaktu se situacemi, které mohou ovlivnit bezpečnost. Jako příklad lze použít vítr. Sám o sobě nepředstavuje žádnou hrozbu, ale jeho směr a rychlost v kombinaci s konfigurací konkrétní dráhy, zkušeností pilota na přiblížení a vlastnostmi konkrétního letadla proměňují toto nebezpečí v něco, co může ovlivnit bezpečnost konkrétního letu.

Identifikace nebezpečí je základní proces při hodnocení bezpečnosti. Bez identifikace nebezpečí by nebylo možné určit co se má zlepšit, co zmírnit a na jakou problémovou oblast se zaměřit.

S konkrétním nebezpečím může být spojeno více rizik a vyhodnocení bezpečnostního rizika musí být provedeno pro jednotlivá rizika zvlášť. Vyhodnocení bezpečnostního rizika závisí na kvalitě dostupných informací a znalostech lidí, kteří vyhodnocení provádí.

Při hodnocení rizika se posuzuje závažnost a pravděpodobnost bezpečnostního rizika dle následujících definic: [4]

- *„Závažnost je definována jako rozsah nebo závažnost újmy či poškození, který by se mohl stát jako následek nebo výsledek zjištěného/identifikovaného nebezpečí.“*
- *Pravděpodobnost je definována jako možná pravděpodobnost nebo četnost/frekvence, s jakou by mohlo dojít k bezpečnostnímu následku. „*

Klasifikace závažnosti rizika uvedená v tabulce 1 je rozdělena do pěti kategorií, vyjadřujících úroveň vážnosti s přidělenými hodnotami pro každou kategorii (A-E).

Klasifikace pravděpodobnosti rizika zobrazená v tabulce 2 je rozdělena také do 5 kategoriích s přidělenými příslušnými hodnotami ke každé kategorii (5-1).

Po přiřazení závažnosti a pravděpodobnosti se následně použije matice vyhodnocení rizika pro stanovení indexu rizika, viz tabulka 3. Hodnoty na vodorovné ose matice představují slovní popis s přiřazenými hodnotami pravděpodobnosti. Hodnoty na svislé ose odpovídají slovnímu popisu a hodnotám závažnosti.

Tabulka 1 - Klasifikace závažnosti bezpečnostních rizik [4]

Vážnost *Severity*	**Význam** *Meaning*	**Hodnota** *Value*
Katastrofická *Catastrophic*	**Výsledkem je nehoda, úmrtí a/nebo zničení zařízení** *Results in an accident, death or equipment destroyed*	A
Nebezpečná *Hazardous*	- **Rozsáhlé snížení míry bezpečnosti, takové hmotné potíže nebo pracovní zatížení, že provozovatel se nemůže spolehnout, že bude schopen plnit své úkoly přesně nebo beze zbytku** *a large reduction in safety margin, physical distress or a workload such that the operators cannot be relied upon to perform their tasks accurately or completely* - **Vážné zranění nebo závažné poškození zařízení** *serious injury or major equipment damage*	B
Závažná *major*	- **Významné snížení míry bezpečnosti, omezení schopnosti provozovatele vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami zapříčiněnými zvýšeným pracovním zatížením nebo podmínkami, které zhoršují jejich výkonnost** *a significant reduction in safety margin, a reduction in the ability of the operators to cope with adverse operating conditions as a result of increase in workload or as a result of conditions impairing their efficiency* - **Vážný incident nebo zranění osob** *serious incident or injury to persons*	C
Méně závažná *Minor*	- **Použití nouzových postupů** *use of emergency procedures* - **Méně závažný incident** *minor incident*	D
Zanedbatelná *Negligible*	**Malé následky** *little consequences*	E

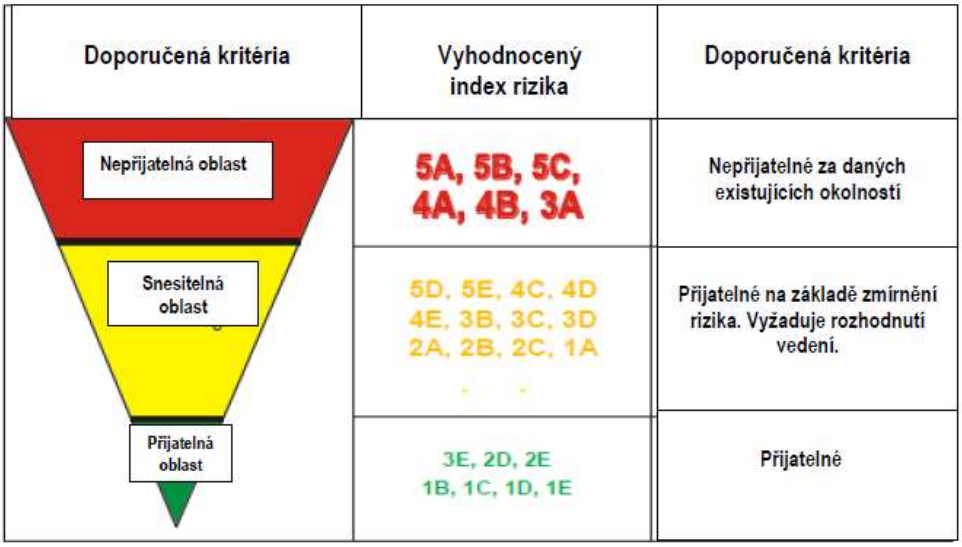
Tabulka 2 - Klasifikace pravděpodobnosti rizika [4]

Možná pravděpodobnost *Likelihood*	**Význam** *Meaning*	**Hodnota** *Value*
Častá *Frequent*	**Pravděpodobnost, že se může stát velmi často (stalo se často)** *Likely to occur many times (has occurred frequently)*	5
Občasná *Occasional*	**Pravděpodobnost, že se může někdy stát (stalo se nepříliš často)** *Likely to occur some times (has occurred infrequently)*	4
Časově vzdálená *Remote*	**Nepravděpodobné, ale s možností, že se může stát (stalo se zřídka)** *Unlikely, but possible to occur (has occurred rarely)*	3
Nepravděpodobná *Improbable*	**Velmi nepravděpodobné, že by se mohlo stát (není známo, že by se stalo)** *Very unlikely to occur (not known to have occurred)*	2
Extrémně nepravděpodobné *Extremely improbable*	**Téměř nemyslitelné, že by se takový případ mohl stát** *Almost inconceivable that the event will occur*	1

Tabulka 3 - Matice vyhodnocení bezpečnostních rizik [4]

Pravděpodobnost rizika	Vážnost rizika				
	Katastrofický *Catastrophic* A	Nebezpečný *Hazardous* B	Závažný *Major* C	Méně závažný *Minor* D	Zanedbatelný *Negligible* E
Častá 5 *Frequent*	5A	5B	5C	5D	5E
Občasná 4 *Occasional*	4A	4B	4C	4D	4E
Časově vzdálená 3 *Remote*	3A	3B	3C	3D	3E
Nepravděpodobná 2 *Improbable*	2A	2B	2C	2D	2E
Extrémně nepravděpodobná 1 *Extremely improbable*	1A	1B	1C	1D	1E

Jednotlivé indexy rizika v matici vyhodnocení jsou barevně rozděleny na základě toho, zda je riziko přijatelné, snesitelné nebo nepřijatelné. Dále pomocí matice snesitelnosti rizika se určí, zda riziko spadá do přijatelné, snesitelné nebo nepřijatelné oblasti. Na základě toho je zavedena vhodná strategie pro zmírnění rizika. Pokud je riziko klasifikováno jako nepřijatelné, provoz nebo činnost s ním související by měly být okamžitě přerušeny do té doby, než budou zavedena opatření pro snížení rizika na přiměřenou míru. [4]



Obrázek 1 - Matice snesitelnosti bezpečnostního rizika [4]

1.1.2 ŘÍZENÍ ZMĚN

Další ze čtyř uvedených komponent SMS, která s diplomovou prací souvisí je ověřování úrovně bezpečnosti. Přesněji se jedná o SMS prvek řízení změn. Letecké organizace se setkávají s neustálými změnami v důsledku zavádění nových systémů, služeb a postupů. [5]

Provozovatel je povinen řídit bezpečnostní rizika, která s sebou nese každá změna. Řízení změn je zdokumentovaný proces pro identifikaci externích a interních změn, které mohou ovlivnit zavedené procesy a postupy. Před realizací změny je provozovatel povinen provést proces identifikace nebezpečí, hodnocení rizik a jejich zmírnění. [4]

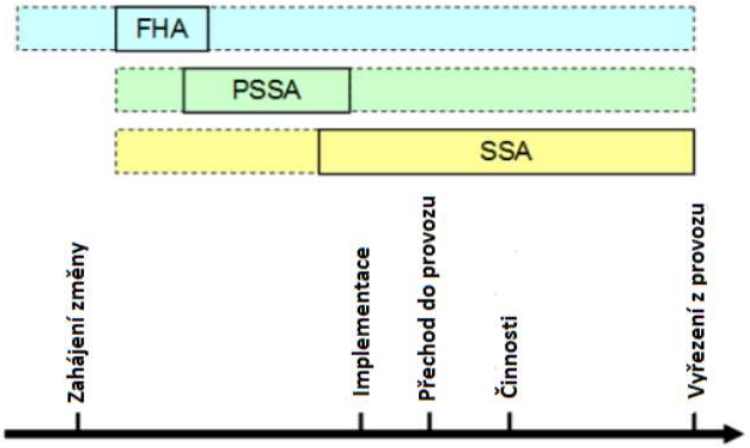
1.2 BEZPEČNOSTNÍ STUDIE

Bezpečnostní studie jsou metodou posuzování rizik spojených s prováděním změny systému letectví. Bezpečnost není jednorázová událost, jedná se o neustálý, nikdy nekončící proces identifikace nebezpečí a řízení rizik za účelem prokázání, že systém nebo proces je bezpečný. Tento kontinuální proces probíhá pomocí SMS. Bezpečnost lze řídit posouzením plánované změny nebo nového systému ještě před vstupem do provozu. Metodou pro takové zhodnocení je studie bezpečnosti, která se zaměřuje na identifikaci problémových událostí a následně určuje způsoby prevence těchto událostí.

Provedení bezpečnostní studie a následná zpráva je používána k rozhodnutí, zda bude umožněno zahájení posuzovaných operací. V letecké dopravě jsou studie bezpečnosti založeny nejčastěji na metodice posouzení bezpečnosti (SAM, Safety Assessment Methodology) vyvinuté organizací EUROCONTROL. Metodika posouzení bezpečnosti má tři hlavní fáze:

- Funkční zhodnocení bezpečnosti (FHA, Functional Hazard Assessment)
- Předběžné zhodnocení bezpečnosti (PSSA, Preliminary System Safety Assessment)
- Zhodnocení bezpečnosti systému (SSA, System Safety Assessment)

Na začátku studie bezpečnosti má každá fáze SAM pevně daný čas, kdy se začíná provádět. Posouzení bezpečnosti se postupně vyvíjí a jednotlivé fáze se začínají prolínat, tudíž i ta poslední fáze může mít zpětný vliv na tu první. [7] Obrázek 2 nastiňuje jednotlivé fáze SAM v průběhu celkového životního cyklu systému.



Obrázek 2 - Fáze SAM [7]

Správné a důkladné provedení bezpečnostní studie vyžaduje velké množství času, znalostí, odborných posudků a mnoha dalších vstupů. Podstatou je identifikace nebezpečí, jejich důsledků a posouzení rizik. Bez těchto důkladně provedených kroků by byly další kroky jednoduše plýtváním času. Metodika SAM je jednou z mála, která poskytuje komplexní seznam vstupů, které jsou nezbytné pro provedení důkladné studie bezpečnosti. Pro systém, který je ve stádiu návrhu jsou hlavními kroky studie bezpečnosti fáze FHA a PSSA. Součástí fáze FHA je seznámení se s navrhovaným systémem, identifikace nebezpečí a jejich následků, posouzení závažnosti následků nebezpečí a stanovení bezpečnostních cílů, tzn. určení úrovně bezpečnosti, které má systém dosáhnout. Fáze PSSA je zaměřena na podrobnější popis funkcí systému a stanovení bezpečnostních požadavků, tzn. prostředků ke zmírnění rizika, které umožní dosažení daného bezpečnostního cíle. SSA je poslední fází metodiky posouzení bezpečnosti, která je zahájena na počátku implementace systému do provozu. Cílem této fáze je dokázat že navrhovaný systém je bezpečný, tzn. vyhovuje bezpečnostním cílům definovaným ve fázi FHA a musí být splněny bezpečnostní požadavky stanovené ve fázi PSSA. [7]

1.3 STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Process)

Druhá světová válka za sebou zanechala prudký technický rozvoj. Došlo k výrazným změnám v systémech, a současně komplexnějším vztahům mezi lidmi a automatizovanými systémy. S měnícím se charakterem nehod a rychlým tempem technologických změn vznikala nová nebezpečí. [9] Jedním z nejnáročnějších problémů ve vývoji bezpečného systému je

identifikace všech možných způsobů selhání a nebezpečných interakcí systému. Zatímco tradiční přístupy bezpečnostního inženýrství[2] fungovaly dobře pro jednodušší systémy v minulosti, s postupem času bylo zapotřebí zlepšit výsledky práce bezpečnostních inženýrů během vytvoření složitých systémů. [9]

Řešením tohoto problému byl vznik systémového inženýrství. Bezpečnostní inženýři začali zkoumat, zda jsme schopni řídit systém při každém jeho kroku a určit možné nebezpečí které při něm může nastat. [9] Dále se zabývají samotnou eliminací daného nebezpečí, případně návrhem jiného chování systému, díky kterému by byl nebezpečný stav odstraněn. Přístup, který používají, je založen na modelování nebezpečného stavu systému společně s předem navrženými způsoby řešení dané situace. [9] Jedním z nástrojů systémového inženýrství je specifikace daných vlastností systému, jednotlivých komponentů struktury, vstupů, výstupů, základních cílů[3] a omezení[4] systému. Za účelem zjištění kde v systému nastal nežádoucí stav nebo děj, je důležité sledovat všechny vazby a vztahy mezi jednotlivými částmi systému. [9] [10]

Jedním z modelů příčin nehod založených na systémové teorii je STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Process). Představuje nový přístup k budování bezpečnějších systémů. S využitím systémové teorie jsou nehody v modelu STAMP uvažovány jako důsledky interakcí mezi jednotlivými složkami systémů. Teorie modelu STAMP tvrdí, že nehody vznikají na základě chyb mezi komponenty systémů, špatné vzájemné komunikace, interakce mezi sebou a vnějšího rušení systémů. K těmto problémům dochází kvůli nevyhovujícímu řízení v systému. [9] Ve STAMP je tento proces znázorněn důkladným popisem jádra řízeného procesu, tedy řídící smyčky.

Řídící smyčka, která je dále v diplomové práci uvedena, je využívána profesorkou Nancy G. Leveson ve své knize *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. [9] Tato kniha představuje ucelený přehled teorie a využití modelu STAMP. Výzkum, který později vyústil v tuto knihu byl mnoho let podporován pracovníky z NASA[5]. Právě procesy v roli NASA jsou v současné době zkoumány pomocí modelu STAMP. STAMP dovoluje pracovat s komplexními systémy, které se skládají z organizace, člověka a automatizovaných systémů.

[2] Bezpečnostní inženýrství je kompletní sada bezpečnostních technik pro tvorbu bezpečných systémů.
[3] Cíl systému je vlastnost systému, které chceme dosáhnout. Např. bezpečnostním cílem může být prevence újmy na zdraví nebo prevence škody na majetku.
[4] Omezení systému ukazuje, jakým způsobem se dá dosáhnout bezpečnostního cíle. Popisuje, co se striktně musí udělat a co nesmí.
[5] NASA (National Aeronautics and Space Administration) je americká vládní agentura zodpovědná za americký kosmický program a všeobecný výzkum v oblasti letectví.

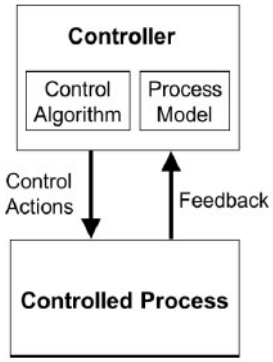
Vytváří jeden komplexní model vzniku nebezpečí ze všech systémových chyb a nebezpečných událostí, které v systému mohou nastat. [9] Právě z těchto důvodu je model STAMP vybrán pro diplomovou práci.

Obrázek 1 zobrazuje schéma základní řídící smyčky, která může být použita jak pro jednoduchý, tak i komplexní systém. Každý řídící prvek obsahuje model procesu a algoritmus řízení. Příkladem řídícího prvku je *pilot*, který vykonává řídící akci *manuální řízení letu.* Řízeným procesem je *chování letadla*. Zpětnou vazbou je myšlena *informace, kterou pilot může přečíst z přístrojů letadla*.

Algoritmus řízení obsahuje postupy, jak má proces probíhat. Pomocí algoritmu je systém řízen. Řídícím algoritmem jsou myšleny jak postupy navržené inženýry pro hardwarové řídící prvky, tak postupy, které používá lidský řídící prvek. Řídící algoritmus je ovlivňován výcvikem posádky, postupy a zpětnou vazbou. Může obsahovat rozhodovací prvky. Jedná se např. o *rozhodnutí pilota o provedení nezdařeného přiblížení.* [10]

Každý model procesu obsahuje cíl a hranice systému. Modelem procesu může být například situace, kdy *pilot spoléhá na informaci z palubních přístrojů.*

K nehodě může dojít, když model řízeného procesu neodpovídá řízenému systému a řídící vydává nebezpečné příkazy.

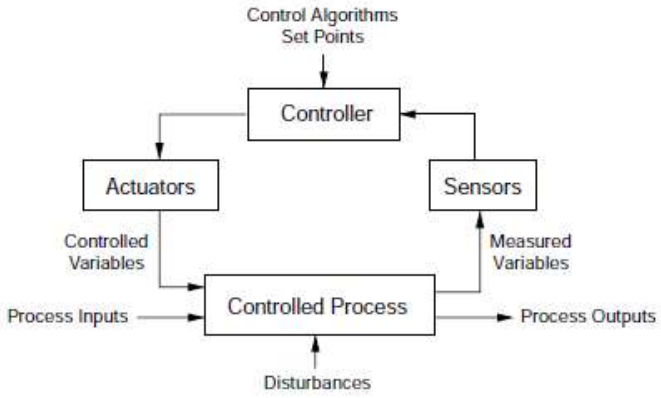


Obrázek 3 - Základní smyčka [10]

(Controller – řídící prvek, Control Algorithm – řídící algoritmus, Process Model- model procesu, Control Actions- řídící akce, Controlled process – řízený proces, Feedback – zpětná vazba)

Obrázek 4 představuje schéma standardní řídící smyčky, která bude dále používaná v diplomové práci. Standardní řídící smyčka je založena na principu fungování základní smyčky, doplněna o aktivní prvek řízení, senzor a vstupní a výstupní informace. Aktivními

řídícími prvky mohou být prvky sekundárního řízení[6]. Senzorem jsou myšleny přístroje letadla, z kterých pilot získává informace o letu. Dalším důležitým prvkem v řídící smyčce je prvek šumu. Řídící prvek má za úkol dosažení cíle, pro který je řízený proces navržen, a pro dosažení tohoto cíle jsou stanovena omezení pro systém. Řídící obdrží informaci o existujícím šumu, rozhodne, jak velký vliv má šum na systém a v případě potřeby pošle pokyny. [10]



Obrázek 4 - Standardní řídící smyčka [9]

(Controller – řídící prvek, , Actuator – aktivní prvek řízení, Controlled variables – řízené proměnné, Process Inputs – vstupny do procesu, Controlled process – řízený proces, Disturbances – šum, Process Outputs – výstupy z procesu, Measured variables – měřené veličiny, Sensor – senzor)

STAMP není analytická metoda, je to model nebo soubor předpokladů o tom, jak k nehodám dochází. Dvěma nástroji založenými na teorii modelu STAMP jsou analýzy CAST (Causal Analysis based on Systems Theory) a STPA (Systems Theoretic Process Analysis).

1.3.1 CAST

CAST je metoda zpětné analýzy, která zkoumá vznik incidentů a nehod a identifikuje příčinné faktory, které tyto události způsobily. Ve většině zpráv o nehodách jsou jasně popsány události a obvykle jsou jedna nebo několik z nich vybrány jako „hlavní příčina“. Někdy bývají identifikovány i „napomáhající příčiny“. CAST lze použít k identifikaci otázek na které je potřeba odpovědět abychom plně pochopili, proč k nehodě došlo. Poskytuje schopnost přezkoumat celý návrh sociotechnického systému, za účelem identifikace slabin, včetně těch systémových. [9]

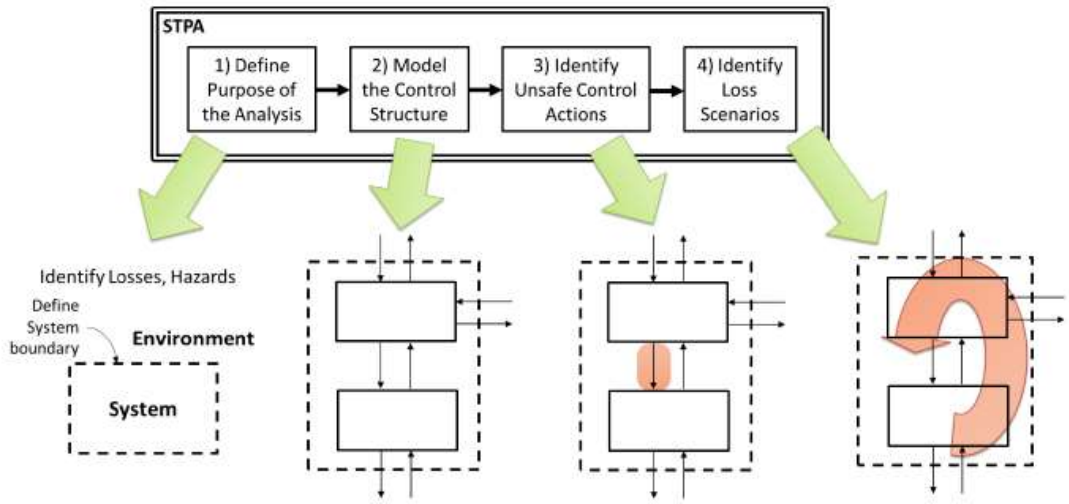
[6] Prvky sekundárního řízení letadla jsou klapky, spoilery, stabilizátor a sloty.

Jedním z cílů CAST je dostat se pryč od přiřazení viny a místo toho přesunout zaměření na to, proč k nehodě došlo a jak zabránit podobným ztrátám v budoucnu. Metoda CASt není předmětem diplomové práce, a proto není detailněji popsána.

1.3.2 STPA

STPA je proaktivní analýza, která zkoumá potenciální příčiny nehod během jejich vývoje a umožňuje identifikovat nebezpečí složitých systémů. Výstup analýzy STPA je vstupem do procesu řízení rizik.

Obrázek 4 zobrazuje čtyři kroky metody STPA. První a druhý krok vyplívají z teorie STAMP. Třetí a čtvrtý krok jsou základními kroky analýzy STPA.



Obrázek 5 - Základní kroky STPA metody [5]

(Define Purpose of the Analysis – Definovat cíl analýzy, Model the Control Structure – Modelovat strukturu řízení, Identify Unsafe Control Actions - Určit nebezpečné řídící akce, Identify Loss Scenarios – Identifikovat nehodové scénáře)

1) Stanovení cíle analýzy

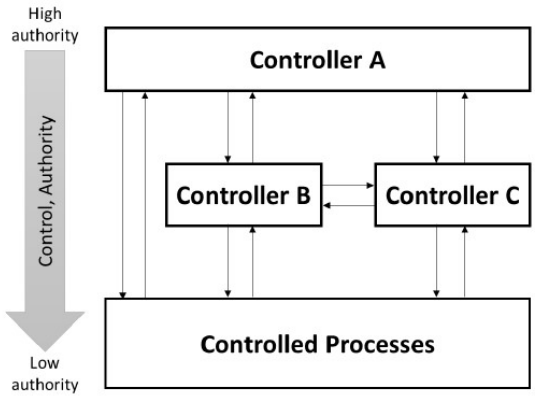
V prvé řadě je potřeba určit cíl analýzy a jaké typy ztrát[7] budou řízené. Jsou stanoveny základní otázky, které definují rozsah analýzy. *Bude STPA aplikována pouze na tradiční bezpečnostní cíle, jako je prevence újmy na lidských životech vedoucích k nehodě? Nebo*

[7] V této práci pod pojmem *ztráta* je myšlen anglický pojem *loss.* Může se jednat o ztrátu na životech, újmu na zdraví, ztrátu spokojenosti zákazníků, poškození vozidla atd. [10]

bude aplikována v širším měřítku na výkon a další vlastnosti systému? Jaká je hranice analyzovaného systému? Tyto a další otázky jsou řešeny během prvního kroku.

2) Modelování řídící struktury

Druhým krokem je modelování řídící struktury zkoumaného systému. Řídící struktura je systémový model, který je tvořen řídícími smyčkami zpětné vazby. Řídící struktura obvykle začíná na velmi abstraktní úrovni a je iterativně vylepšena, aby zachytila více detailů o systému. Počet řídících smyček a uspořádání jednotlivých komponent závisí na komplexnosti systému. Obecně se řídící struktura skládá minimálně z pěti typů komponent: řídící prvky, řídící akce, zpětná vazba, vstupy a výstupy komponent a řízený proces. [10] V hierarchické řídící struktuře svislá osa označuje řídící akci a autoritu v systému. Všechny šipky směrem dolů představují řídící akce (příkazy), zatímco šipky nahoru představují zpětnou vazbu. Tyto konvence pomáhají zvládat složitost řídících vztahů a smyček zpětné vazby.



Obrázek 6 - Základní hierarchická řídící struktura [10]

3) Určení nebezpečných řídících akcí

Třetím krokem je analýza řídících akcích v struktuře, aby se zjistilo, jak by tyto akce mohly vést ke ztrátám definovaným v prvním kroku. Nebezpečné řídící akce se používají k vytvoření funkčních požadavků a omezení systému. Nebezpečná řídící akce je profesorkou Leveson definována jako řídící akce, která v případě nejhoršího scénáře[8] povede k nebezpečí. [10] Existují čtyři způsoby proč může být řídící akce nebezpečná:

- Nebyla provedena řídící akce potřebná pro bezpečný průběh procesu
- Nebezpečná řídící akce byla provedena vědomě

[8] Pod pojmem *případ nejhoršího scénáře* je myšlen anglický pojem *worst-case scenario.* Tento výraz se používá při plánování potenciálních katastrof, kdy se bere v úvahu nejvážnější možný výsledek, který lze v dané situaci rozumně předpokládat.

- Řídící akce potřebná pro bezpečný průběh procesu byla provedena příliš brzo, příliš pozdě nebo mimo definované prostředí
- Řídící akce byla zastavena moc brzy nebo trvala velmi krátce

4) Identifikace nehodových scénářů

Pomocí scénáře možných ztát získáme příčinné faktory, které vedou k nebezpečí nebo ohrožení. Je třeba zvážit následující dva typy scénářů možných ztrát.

- Proč by se mohly vyskytnout nebezpečné řídící akce?
- Proč by řídící akce byly prováděny nesprávně nebo neprovedeny vůbec, což by vedlo k nebezpečí?

1.3.3 OBECNÁ KLASIFIKACE PŘÍČIN NEHOD

Počínaje základními definicemi v STAMP, obecné příčiny nehod lze identifikovat pomocí jednotlivých komponent řídící struktury a teorie zpětnovazebního řízení. Výsledná klasifikace je užitečná při analýze nehod a jejich prevenci. Nehody v STAMP jsou důsledkem složitého procesu, který má za následek, že jsou porušována bezpečnostní omezení systému.

Při použití modelu STAMP platí, že pokud dojde k nehodě, muselo dojít alespoň k jedné z následujících situací:

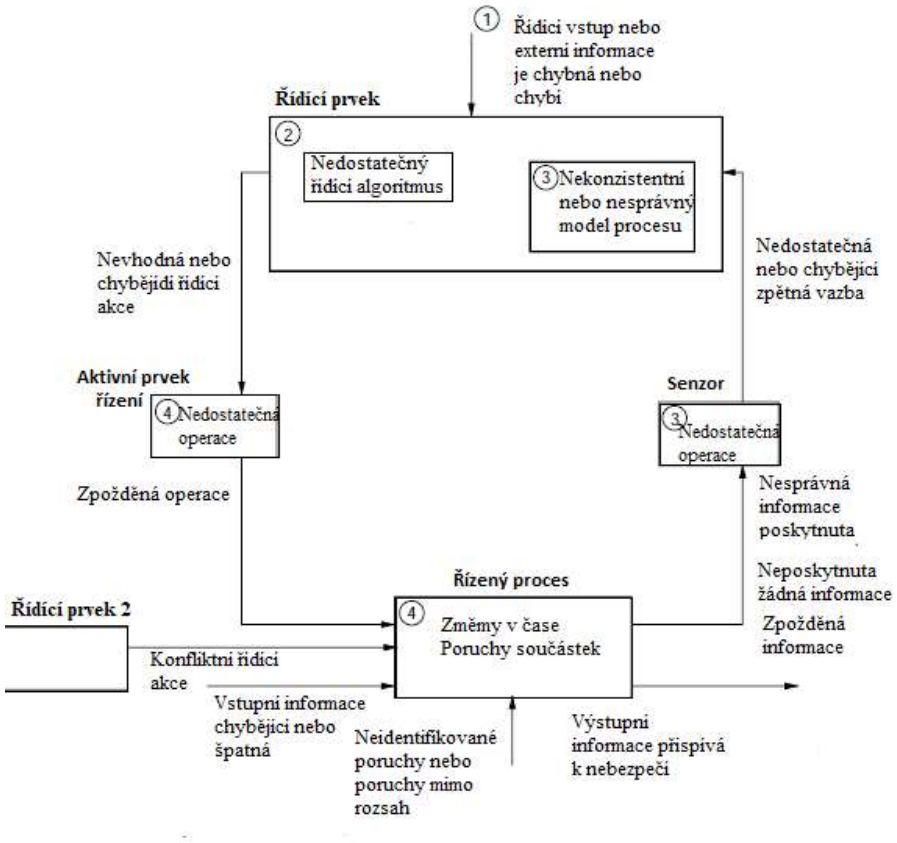
A) Bezpečnostní omezení nebylo prosazeno řídícím prvkem

- Nebyly provedeny řídící akce nezbytné k dodržení bezpečnostních omezení systému
- Nezbytné řídící akce byly provedeny, avšak v nesprávný čas nebo byly předčasně zastaveny
- Byly provedeny nebezpečné řídící akce, které způsobily porušení bezpečnostních omezení

B) Vhodné řídící akce byly řídícím prvkem provedeny, avšak nebyly dále v systému dodrženy, resp. jejich další propagace nebyla zajištěna.

Klasifikace příčinných faktorů nehod začíná zkoumáním každé ze základních složek standardní řídící smyčky a určením, jak může jejich nesprávná činnost přispět k obecným typům nedostatečného řízení.

Obrázek 5 představuje klasifikaci příčin nehod. Příčinné faktory při nehodách lze rozdělit do tří obecných kategorií: (1) řídící činnosti (2) chování aktivních prvků řízení a řízeného procesu (3) komunikace a koordinace mezi řídícími.



Obrázek 7 - Klasifikace příčin nehod [9]

- **ŘÍDÍCÍ ČINNOSTI**

Řídící činnosti mají tři primární části: řídící vstupy a další relevantní externí informační zdroje, řídící algoritmy a model procesu. Nedostatečná, neefektivní nebo chybějící řídící akce nezbytná k prosazování bezpečnostních omezení a zajištění bezpečnosti může vyplývat z nedostatků v každé z těchto částí.

Nebezpečné vstupy (1)

Každý řídící v hierarchické struktuře je sám řízen řídícími na vyšší úrovni. Řídící akce a další informace poskytnuté jinými řídícími a požadované pro bezpečné chování mohou chybět nebo být špatné.

Nebezpečný řídící algoritmus (2)

Řídící algoritmus může být nedostatečně modifikován v případě, že jsou algoritmy automatizovány nebo prostřednictvím různých typů přirozené adaptace, pokud jsou implementovány lidmi. Lidské řídící algoritmy jsou ovlivňovány úvodním školením (výcvikem),

postupy a zpětnou vazbou. Důležitým faktorem při navrhování řídících algoritmů bývá časové zpoždění. Každá řídící smyčka obsahuje časové prodlevy, což je doba mezi měřením parametrů procesu a přijímáním těchto měření nebo mezi vydáním řídící akce a časem kdy se stav procesu změní. V závislosti na tom, kde ve smyčce zpětné vazby dojde ke zpoždění, jsou pro zvládnutí zpoždění vyžadovány různé řídící algoritmy. Pokud nejsou v řídícím algoritmu dostatečně zohledněny časová zpoždění, mohou vzniknout nehody.

Nekonzistentní, neúplný nebo nesprávný model procesu (3)

Nehody z důvodu vzájemných vazeb komponentů vyplývají z nesrovnalosti mezi modely procesu používanými řídícími prvky (lidskými i automatizovanými) a skutečným stavem procesu. Když se model procesu (buďto psychický model nebo model softwaru a hardwaru) odchyluje od reálného procesu, chybné řídící akce (založené na nesprávném modelu) mohou vést k nehodě.

Model procesu navržený do systému (nebo poskytnutý výcvikem, pokud je řídícím člověk) může být od počátku nesprávný. Zároveň může být nesprávně aktualizován nebo nemusí být zahrnuta časová prodleva. Výsledkem mohou být nekontrolovatelné poruchy, neošetřené stavy procesu atd.

Zpětná vazba je velmi důležitá pro rozhodování řídícího prvku. Zpětná vazba může chybět nebo být nedostatečná v případě, že není součástí v návrhu systému, existují nedostatky v monitorování nebo zpětné vazbě. Součástí nedostatků ve zpětné vazně může být i chyba senzorů, kdy zahrnují např. palubní zařízení jako jsou výškoměry, které poskytují měřenou výšku. V případě jejich závady může dojít k nepřesné indikaci hodnot.

Procesní modely tedy mohou být od počátku nesprávné nebo mohou být nesprávné v důsledku chybných nebo chybějících zpětných vazeb či nepřesností měření.

- ## CHOVÁNÍ AKTIVNÍCH PRVKŮ ŘÍZENÉHO PROCESU

Aktivní prvky řízení a řízený proces (4)

Doposud zmiňované faktory zahrnovaly nedostatečné řízení. Druhý případ nastane, když řídící akce zachovávají bezpečnostní omezení, ale řízený proces nemusí tyto akce implementovat.

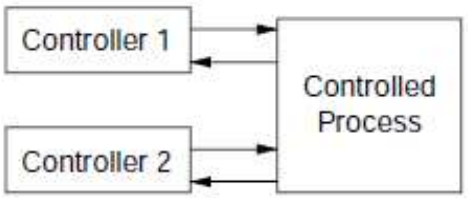
Jedním z důvodů může být selhání v přenosu řídících akcí. Dalším důvodem je chyba nebo porucha aktivního prvku řízení nebo řízeného prvku. Třetím důvodem je situace kdy bezpečnost řízeného procesu může záviset na vstupech z jiných komponent systému.

Pokud tyto vstupy do procesu nějakým způsobem chybí nebo jsou nedostatečné, řízený proces nemusí být schopen provést řídící akce a může dojít k nehodám.

Dalším faktorem vstupujícím do řízeného procesu je vnější rušení, které není ovládáno řídícím prvkem.

- **KOMUNIKACE A KOORDINACE MEZI ŘÍDÍCÍMI**

V případě, kdy existuje více řídících prvků (lidských nebo automatizovaných), řídící akce mohou být nedostatečně koordinovány a může docházet ke konfliktním řídícím akcím. Významnou roli zde hrají komunikační nedostatky. Jedním z případů, kde existuje potenciál pro nejednoznačnost a konflikty mezi nezávislými rozhodnutími řídícími je zobrazeno na obrázku 8. Jedná se o překrývající oblast řídících prvků s vyšším rizikem pravděpodobnosti nehody. [9]



Obrázek 8 - Potenciální konfliktní řídící akce [9]

Pomocí obecné klasifikace příčin nehod vycházející ze STAMP je možné identifikovat příčinné faktory v řídící struktuře. Následně je možné k nim přiřadit nebezpečí.

1.3.4 ZHODNOCENÍ STAMP

Se zvyšující se složitostí navrhovaných systémů, tradiční techniky hodnocení bezpečnosti „zdola nahoru“ nebo „shora dolů“ jako je „Failure modes and effects criticality analysis“ (FMECA), „Fault tree analysis“ (FTA), „Event tree analysis“ (ETA) se stávají nedostatečnými pro zajištění bezpečnosti systému. [13] Prozkoumání všech scénářů se stává čím dál obtížnější z důvodu interakce mezi lidmi a automatizovanými systémy.

V této souvislosti se analýza STPA ukázala jako vhodný nástroj pro zlepšení bezpečnosti moderních komplexních systémů. Tradiční metody analýzy jako FMECA, FTA a ETA byly vyvinuty pro systémy postaveny před více než 50 lety. Zaměřují se spíše na řešení poruch založených na řetězci událostí souvisejících s poruchami jednotlivých částí. Bezpečnostní inženýři se postupem času začali zabývat předvídáním nehod. Zaobírali se novým pohledem na nehody založené na komplexních chybách, které se objevují i tehdy, když vše funguje

podle plánu. [13] Zkoumají, zda jsme schopni určit k jakému nebezpečí dojde a jak jej předem eliminovat. Nebezpečné stavy jsou předem namodelovány do systému i s navrženým způsobem.

Bylo zjištěno, že pomocí STPA byla nalezena všechna nebezpečí, která jsou možné identifikovat pomocí tradičních analýz (FTA, FMECA atd.). STPA však navíc identifikovala mnoho dalších nebezpečí, často spojovanými s počítačovými scénáři, které se pomocí tradičních metod nepovedlo nalézt. [10]

1.4 MODELOVÁNÍ ŠEDÉ SKŘÍŇKY

Základem každé analýzy řídící struktury je umět vhodně a správně používat metody a techniky poznání, mezi které patří i modelování. Modelování si lze představit jako materiální nebo myšlenkovou reprodukci a zkoumání reálně existujícího objektu, pomocí jiného, zpravila uměle konstruovaného objektu, v němž jsou vyjádřeny pouze vybrané vlastnosti, stránky a vztahy originálního objektu. [14]

Důležitým krokem při modelování je volba struktury modelu. Strukturou modelu je myšlen matematický vztah mezi vstupními a výstupními proměnnými, obsahující neznámé parametry.

V případě že je struktura modelu dána známými zákony a závislostmi a jedná se o kombinaci částečné teoretické struktury a dostupných dat, jedná se o modely šedé skříňky (grey-box modelling). Podstatná část modelů bývá modely šedé skříňky. V případě že struktura modelu není předem známa, jedná se o modely černé skříňky (black-box modelling). Modely bílé skříňky jsou čistě jen teoretické. [15]

1.5 PRAKTICKÝ PŘÍKLAD

Řídící struktura v této práci je tvořena pro všeobecné mezinárodní řízené letiště s pevnou vzletovou a přistávací dráhou a službou řízení letového provozu.

Letiště má komplexní řídící strukturu a pro účel vyhodnocení změn v určité části řídící struktury je z praktických důvodů rozsahu této práce vybrána pouze její část. Diplomová práce se zaměřuje jen na činnosti probíhající na vzletové a přistávací dráze. Jsou vynechány procesy pojíždění a stání na odbavovací ploše. Důvodem výběru RWY je přístup k veřejně dostupných materiálů pro studii procesů odehrávajících se na ní. Mezinárodní letecké organizace ICAO (International Civil Aviation Organization) a IATA (International Air Transport

Association) publikují bezpečnostní studie a manuály prevencí nehod, ze kterých lze získat přehled o nebezpečích souvisejících s provozem na vzletové a přistávající dráze.

V následující podkapitole je podrobněji popsáno rozložení jednotlivých komponent letiště souvisejících s procesy odehrávajícími na dráze.

1.5.1 ŘÍDÍCÍ STRUKTURA LETIŠTĚ

Počet řídících smyček v struktuře mezinárodního letiště závisí na komplexnosti letiště. Řídící prvky, které mají vliv na procesy spojené se vzletovou a přistávací dráhou jsou posádka, řídící letového provozu, letiště a řidič mobilního mechanizačního prostředku (MMP). Tyto prvky jsou zodpovědné za dodržováni bezpečnosti při vybraných procesech na letišti.

Řídící struktura mezinárodního letiště vychází z pohledu letiště. Opírá se o veřejné studie provozu na RWY. Pro sestrojení komplexních řídících smyček je zapotřebí velké množství důvěrných dat. Z toho důvodu je na řídící prvky posádka, řidič MMP a řídící letového provozu pohlíženo jako na modely šedé skříňky. Na jejich rozhraní je možné odhalit vstupy a výstupy, které jsou využity při určování nebezpečí v řídící struktuře. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, k nehodě může dojít především když model řízeného procesu neodpovídá řízenému systému a řídící vydává nebezpečné příkazy. V následující podkapitole jsou sice vyjmenovaná některá nebezpečí související se selháním modelu procesu nebo řídícího algoritmu daného řídícího, avšak později nejsou zahrnuta do vyhodnocení.

Pro lepší zobrazení a pochopení vazeb mezi jednotlivými komponenty řídící struktury letiště je použit software XSTAMPP[9]. XSTAMPP je bezpečnostní platforma s otevřeným zdrojovým kódem navržená speciálně pro rozšíření a využití metodik STAMP (STPA a CAST). XSTAMPP je psán v jazyce Java.

Jednotlivé kroky k sestrojení řídící struktury korespondují s teorií popsanou v kapitole 1.3. V prvé řade je potřeba stanovit cíl analýzy a jaké typy ztrát budou řízené. Vybraná část systému mezinárodního letiště je zaměřena pouze na ztráty spojené s procesy na vzletové a přistávací dráze. Analýza STPA je aplikována na tradiční bezpečnostní cíle jako je prevence leteckých událostí souvisejících se škodami na zařízení nebo újmě na zdraví. Dalším krokem je modelování řídící struktury zkoumaného systému. Jsou sestrojeny řídící smyčky pro každého z uvedených řídících prvků dle obrázků 3 a 4.

[9] *https://sourceforge.net/projects/stampp/*

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, sestrojování řídící struktury je značně omezeno zdrojem informací. Řídící struktura mezinárodního letiště je vytvořena na základě autorových znalostí získaných při studiu a veřejně dostupné dokumentace leteckých organizací. Řídící struktura je navržena tak, aby se na ní dala definovat nebezpečí související s vzletovou a přistávací dráhou a nehody ke kterým mohou vyústit. Na obrázku 19 je zobrazena řídící struktura letiště s procesy přistání a vzlet.

1.5.2 LETECKÉ UDÁLOSTI NA RWY

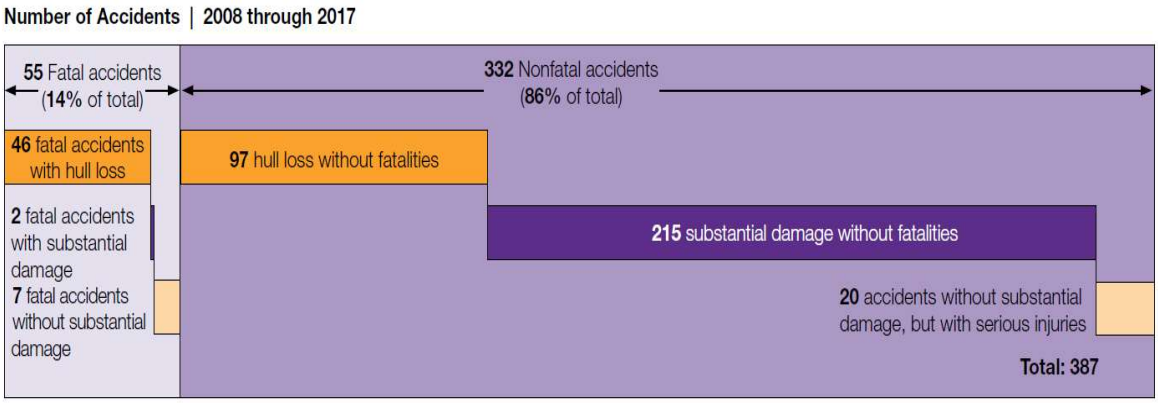
Z bezpečnostních studií a zpráv mezinárodních leteckých organizací jsou zvoleny čtyři typy nejčastějších leteckých událostí, které se odehrály v minulosti na vzletové a přistávací dráze nebo v jejím okolí na letištích po celém světě. [1]

- Runway Excursion – neúmyslné vyjetí letadla z dráhového systému
- Runway Undershoot – přistání před prahem dráhy
- Runway Incursion – nepovolený vstup na dráhu
- Runway Confusion – neúmyslné použití špatné vzletové a přistávací dráhy nebo pojezdové dráhy pro vzlet a přistání

Statistiky z bezpečnostních zpráv leteckých organizací prokazují, že každá z uvedených událostí může vést nejenom k velkým škodám na zařízení, ale i k ztrátám na životech. Z toho důvodu jsou výše zmíněné bezpečnostní události v této práci klasifikovány jako nehody. Aby se zabránilo jejich výskytu, je potřeba zjistit příčinné faktory, které s nehodami souvisí.

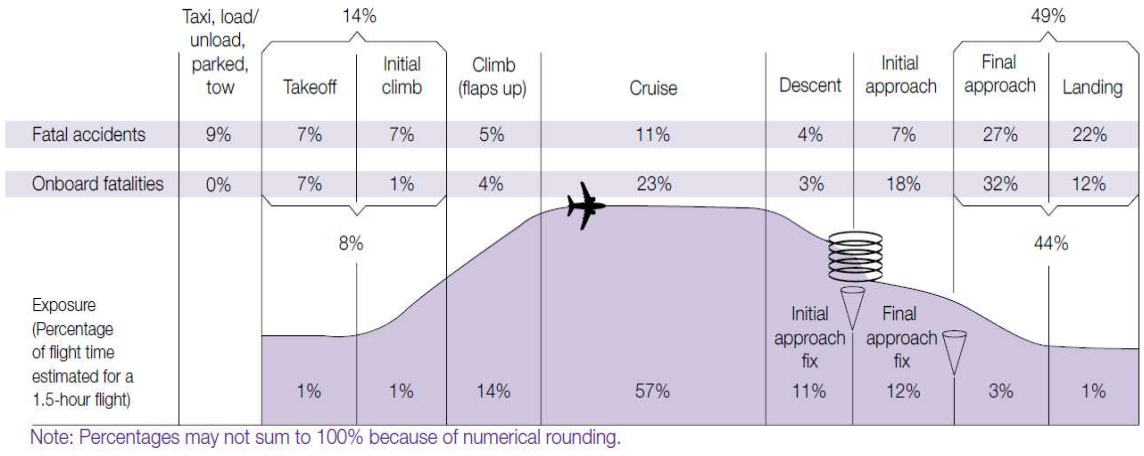
Pro lepší přehled o četnosti výše uvedených nehod a jejich závažnosti jsou použity roční zprávy *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*, vydané společnostní Boeing. [18] Od roku 1959 společnost Boeing zveřejňuje každý rok zprávu, ve které provádí statistické shrnutí celosvětových nehod dopravních proudových letadel. Roční statistiky zahrnují pouze dopravní proudová letadla s maximální vzletovou hmotností větší než 27 tun. Letadla vyráběná v bývalém Svazu sovětských socialistických republik nebo ve Společenství nezávislých států jsou z důvodu nedostatku provozních údajů vyloučena. Stejně tak se do statistiky nezapočítávají letadla provozovaná armádou.

Na obrázku 9 je názorná ukázka ze zprávy vydané společností Boeing pro rok 2017. Ukázka uvádí celkové počty nehod za období 2008-2017, v tomto desetiletí došlo k 387 nehodám, z nichž 55 nehod mělo fatální následky.



Obrázek 9 - Statistický souhrn nehod dopravních proudových letadel 2008-2017 [18]

Vzlet a přistání jsou nekritičtějšími fázemi letu. Statistiky společnosti Boeing ukazují, že v letech 2008-2017 se 63 % všech nehod stala v těchto dvou fázích, včetně konečného přiblížení a počátečního stoupání. Na samotné přistání a konečné přiblížení připadá dokonce 49 % nehod. Diplomová práce se ovšem nezabývá všemi nehodami spadající do 61 %. Je zaměřena pouze na nehody odehrávající se na RWY a v jejím okolí. Zajímavých faktem, který je možné dále vidět z obrázku 10, je celková doba letu během samotné části vzletu a přistání. Na vzlet a přistání připadá pouze 2 % z celkové doby letu. Těmto 2 % je přiřazeno 29 % všech fatálních nehod. Je třeba podrobně provádět hodnocení bezpečnostních rizik odehrávajících se na RWY a v jejím okolím, aby se počet nehod nezvyšoval.



Obrázek 10 - Procentuální rozdělení fatálních nehod [18]

Počet nehod Runway Excursion je 40krát větší než nehod Runway Incursion a 100krát větší než Runway Confusion. [19] Data o nehodách z World Aircraft Accident Summary (WAAS) pro období 1995-2008 zobrazují celkem 1429 nehod, které vedly ke značným škodám. V této

statistice jsou zahrnuty všechny nehody způsobené turbovrtulovými a proudovými letadly. 431 nehod (30 %) se odehrálo na RWY nebo v jejím okolí. Z těchto 431 nehod bylo 97% z nich klasifikováno jako RWY Excursion. Za uvedené období 14let je roční průměr nehod neúmyslného vyjetí letadla ze zpevněné plochy dráhy odhadován na 30 nehod. RWY Incursion a RWY Confusion jsou odhadovány dohromady na jednu nehodu ročně.

Ze statistiky vyplývá že 34 RWY Excursion nehod vedlo k fatálním následkům, což je 83 % všech fatálních nehod na dráze a v jejím okolí. Všeobecně vzato, pravděpodobnost úmrtí je při nehodách RWY Incursion a RWY Confusion daleko větší. Obrovský počet nehod RWY excursion ovšem stále způsobuje podstatně větší počet obětí na životech. [19] Podíl nehod s fatálními následky je uveden na obrázku 11.

Obrázek 11 - Podíl nehod s fatálními následky [19]

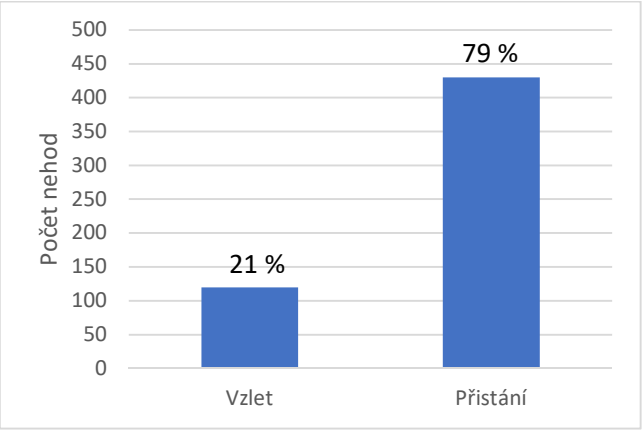
Z důvodu tak velkého počtu nehod neúmyslného vyjetí letadla ze zpevněné plochy dráhy, bylo vytvořeno několik analýz bezpečnostními institucemi po celém světě. V následující podkapitole jsou uvedeny základní informace z těchto analýz pro získání uceleného přehledu událostí RWY Excursion.

- **RWY EXCURSION**

Neúmyslné vyjetí letadla ze zpevněné plochy ve většině případech vede k málo významným incidentům, které nevedou k žádným škodám na životech nebo zařízení. RWY Excursion lze rozdělit na dva druhy, podle toho, v jaké části dráhy vyjetí letadla nastane:

- RWY Overrun – vyjetí letadla za koncový práh dráhy
- RWY Veer-off – vyjetí letadla do postranního pásma dráhy

Z dokumentu *Reducing the Risk of Runway Excursion* [19] jsou opět vytažena data nehod pro období 1995-2008 za účelem zkoumání příčin nehod. Obrázek 12 zobrazuje podíl nehod RWY Excursion při vzletu a přistání. RWY Excursion při **vzletu** odpovídají pouhým **21 %**, zatímco RWY Excursion při **přistání** je odhadováno na **79 %**. Četnost nehod vyjetí letadla z dráhy při přistání je tedy čtyřikrát větší než při vzletu. [19]



Obrázek 12 - RWY Excursion při vzletu a přistání [19]

Jako jeden ze statistických výstupů studie je porovnání RWY Overrun a Veer-off při vzletu a přistání. Při vzletu došlo v 63 % případech k vyjetí letadla za dráhu a pouze v 37 % případech k vyjetí letadla do postranního pásma dráhy. Pro přistání je počet výskytu RWY Overrun a Veer-off podobný – vyjetí letadla do postranního pásma připadá na 53 % a vyjetí letadla za práh dráhy na 47 % všech RWY Veer-off při vzletu. [19]

RWY Overrun

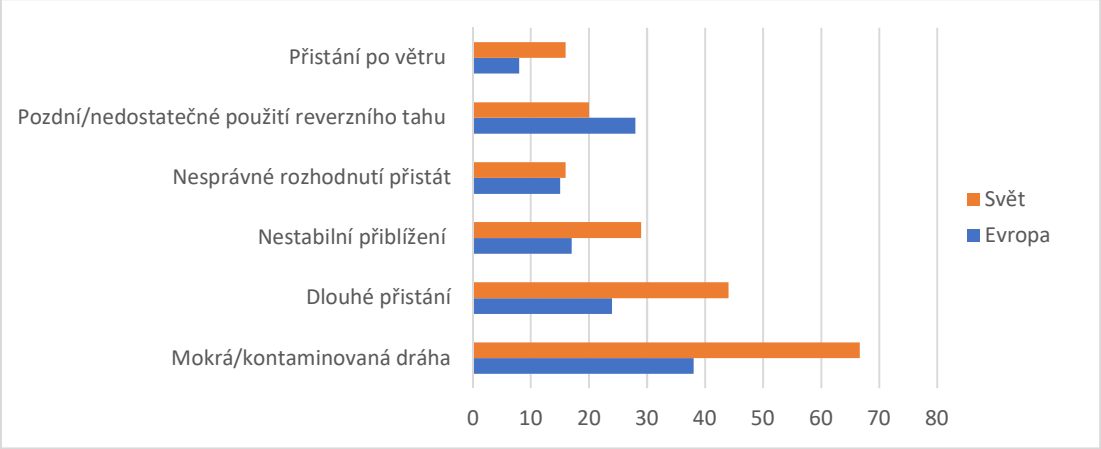
K Runway Overrun může dojít během přistání nebo přerušeného vzletu, kdy pilot nemůže zabránit vyjetí letadla za konec dráhy. Jednou z nejčastějších příčin je nestabilní přiblížení končící dlouhým dosednutím a vyjetím za práh dráhy.

Pro určení procentuálního podílu hlavních faktorů vedoucích k RWY Overrun je použita studie s názvem *Runway Excursion From a European Perspective*, kterou publikoval v roce 2010 NLR Air Transport Safety Institute. [20] V této studii je analýza dat provedena pro období 1980-2008. Velká část studie se zaměřuje na porovnání RWY Excursion vyskytující se v Evropě a zbytku světa. Ve studii je možné najít srovnání hlavních faktorů, které přispívají k vyjetí letadla za konec dráhy při přistání a vzletu. Pro přehlednější zobrazení je na obrázku 13 vytvořen graf hlavních faktorů přispívajících k RWY Overrun při přistání. Z grafu je patrné, že příčina vyjetí letadla za práh dráhy bývá často spojena posádkou letadla. Jedná se

především o nesprávné rozhodnutí přistát, nestabilní přiblížení (letadlo letí moc vysoko nebo moc rychle), dlouhé přistání a pozdní nebo nedostatečné použití reverzního tahu. Některé z těchto faktorů mohou být spojeny se závadou letadlové techniky. Nejčastější kombinací faktorů vedoucích k vyjetí letadla za dráhu jsou nedostatečné použití reverze tahu motoru společně se sníženým brzdným účinkem kvůli kontaminované dráze. Dalším faktorem přispívajícím k RWY Overrun je vliv i počasí, a to především situace kdy letadlo přistává se zadním větrem.

V grafu zobrazeném níže si lze povšimnout výrazného procentuálního rozdílu některých faktorů pro Evropu a zbylý svět, např. faktor mokré/kontaminované dráhy nebo dlouhého přistání, kdy výskyt zmíněných faktorů je daleko větší pro zbylý svět. Podle studie provedené NLR Air Transport Safety Institute pro tyto rozdíly nebylo možné nalézt žádné vysvětlení. Rozdíly by ovšem mohly souviset s faktem, že Evropa je významnou ekonomickou zónou a tudíž např. kontaminace dráhy je lépe kontrolována v Evropě než v zemích Afriky.

Ačkoliv frekvence těchto faktorů je pro Evropu nižší, faktory jsou stále poměrně vysoké a vykazují stejný význam ve srovnání se zbytkem světa.



Obrázek 13 - Faktory přispívající k RWY Overrun při přistání [20]

Mezi hlavní příčiny RWY Overrun při vzletu patří: přerušený vzlet po dosažení v_1[10], mokrá/kontaminovaná dráha a problém s pneumatikou letadla.

RWY Veer-off

K Runway Veer-off může dojít v jakékoliv fázi pohybu letadla na letišti. Jedná se o postranní odchylku letadla od prodloužené osy RWY nebo TWY. K této odchylce může dojít při vzletu,

[10] v_1 je rychlost rozhodnutí, zda ve vzletu pokračovat nebo ho přerušit

přistání, pojíždění nebo odbočování. Z analýzy vypracované NLR Air Transport Safety Institute jsou zjištěny nejčastější příčiny, které vedly k vyjetí letadla do postranního pásma dráhy. Ve fázi přistání můžou přispět vzniku RWY Veer-off následující faktory: faktor větru – boční vítr, mokrá/kontaminovaný dráha, problém s řízením přední podvozkové nohy, pneumatikou nebo hlavním podvozkem. Dále to je lidský faktor, kdy pilot přistává moc tvrdě.

Ve fázi vzletu mohou k vyjetí letadla do postranního pásma dráhy přispět podobné faktory jako při přistání: faktor bočního větru, problém s řízením předního podvozku a kontaminovaná dráha.

- **RWY UNDERSHOOT**

RWY Undershoot je incident, kdy se kola hlavního podvozku dotknou země před prahem dráhy. Ve většině případech je přistání před prahem dráhy způsobeno chybou posádky. Jedná o nedodržení předepsaných procedur, kdy posádka začne předčasně klesat. Dalším faktorem může být nestabilní přiblížení z důvodu technické závady letadla – výpadek motoru atd.

Snížené podmínky dohlednosti způsobené špatným počasím mohou být také ovlivňujícím faktorem vedoucím k RWY Undershoot. V případě výpadku ILS (Instrument Landing System), přesněji sestupového majáku pro vertikální vedení, může dojít k přistání letadla před prahem dráhy.

Letadlo po dotyku podvozku s nezpevněnou plochou před prahem dráhy může vést ke ztrátě stability a následně k nehodě. Z toho důvodu se na letištích, kde je to možné, zavádí koncová bezpečnostní plocha (RESA, Runway End Safety Area). Koncová bezpečnostní plocha je souměrná k prodloužené ose RWY a navazuje na konec pásu RWY. Je určená především ke snížení nebezpečí poškození letounu v případě jeho předčasného dosednutí nebo vyjetí za konec RWY. [21] V některých případech zavedení bezpečnostní plochy není možné z důvodu terénu kolem dráhy či nemožnosti odstranit nezbytně nutné překážky jako je např. ILS.

- **RWY INCURSION**

„RWY Incursion je každá událost na letišti týkající se nesprávného výskytu letadla, vozidla nebo osoby v ochranném prostoru plochy určené pro vzlety a přistání.“ [22]

Posádka letadla je povinna si předem nastudovat postupy které lze na daném letišti použít, a to především postupy najíždění a opouštění RWY a pojíždění po TWY. Letištní řídící musí mít

přehled o všech letadlech na letišti a v blízkém okolí. Letadlo nemůže provést najíždění na RWY bez povolení od řídícího.

Mezi nejčastější případy porušení pravidel, které vedou k incidentu nepovolený vstup na aktivní dráhu jsou chyby posádky, letištního řídícího či řidiče MMP. Ze strany pilota je to vzlet, přistání, křižování dráhy nebo opuštění vyčkávacího místa RWY bez povolení od řídícího letového provozu. Ze strany řídícího se jedná o situace, kdy vydává povolení vstoupit letadlu na dráhu, zatímco jiné letadlo na stejné dráze přistává. Případně, kdy vydává vzletové povolení, zatímco na stejné dráze je stále pohyb jiného letadla nebo vozidel. Pro řidiče MMP je to křižování dráhy nebo opuštění vyčkávacího místa bez povolení letištního řídícího. Nepozornost, únava a nedorozumění z důvodu jazykové bariéry nebo špatné použití frazeologie jsou dalšími faktory lidské chybovosti. Neznalost letiště je dalším faktorem, který v kombinaci s nepozorností a dezorientace posádky může vest k RWY Incursion.

Snížené podmínky dohlednosti způsobené špatným počasím, v kombinaci s výše zmíněnými faktory výrazně zvyšují riziko RWY Incursion.

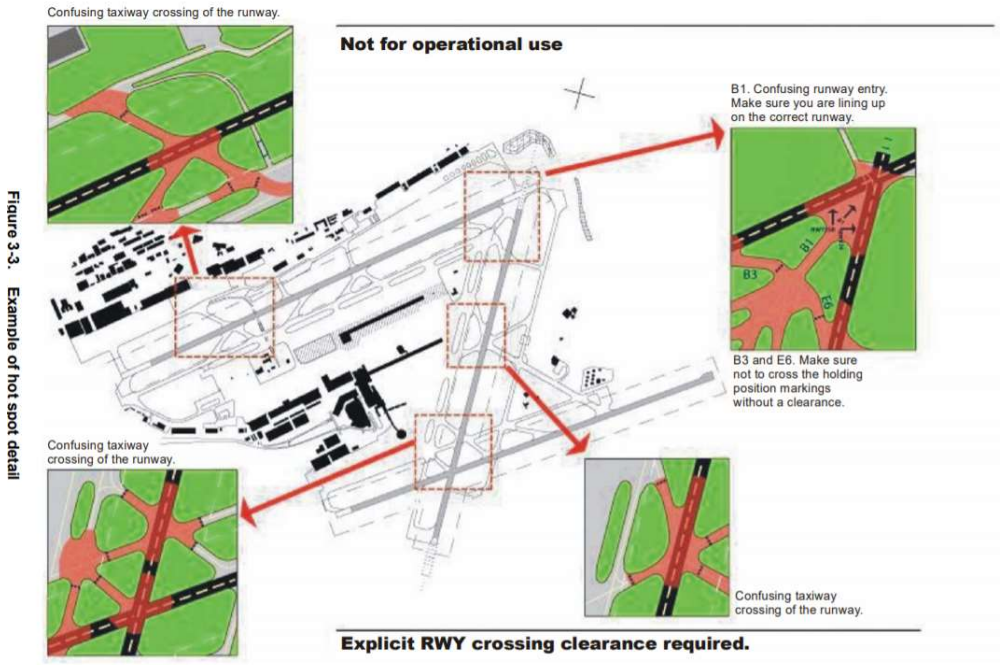
RWY Incursion může být způsobeno chybou letiště, a to především z důvodu složité konfigurace letiště. Příklady složitého křížení RWY a TWY nebo TWY napojujících se na RWY pod špatným úhlem jsou uvedeny na obrázku 14. Přiložený obrázek je výstřižkem z letištní mapky, kde červenými obdélníky jsou vyznačena kritická místa, přezdívaná Hot Spots. Hot Spot je místo na letištní pohybové ploše s historickým nebo potenciálním nebezpečím srážky nebo narušení dráhy, kde je zapotřebí zvýšené pozornosti pilotů a řidičů. [24] Na těchto problematických místech lze očekávat špatnou orientaci a nepřehlednost. Existuje zde zvýšené riziko realizace nebezpečí, které vyplývá z přiléhavého vstupu na dráhu nebo samotného křižování drah.

- **RWY CONFUSION**

RWY Confusion je událost, ke které dochází při ztrátě orientace posádky v souvislosti se záměnou dráhy nebo najetím na nesprávnou pojížděcí dráhu.

K nehodám neúmyslného použití špatné vzletové a přistávací dráhy nebo pojezdové dráhy pro vzlet a přistání dochází v situaci, kdy posádka nevěnuje dostatečnou pozornost řízení nebo spoléhá na vlastní zkušenost. Na vině nebývá pouze nepozornost či vytíženost posádky. Složitý návrh letiště může být rovněž značným faktorem RWY Confusion. Stejně jako u RWY Incursion, složité křížení RWY a TWY zvyšuje pravděpodobnost RWY Confusion. Vzlet ze špatné dráhy může být způsoben situací, kdy prahy drah jsou moc blízko sebe nebo vzletová

a přistávací dráha je používána jako pojezdová dráha. Na obrázku 15 je ukázka situace, která může vést k RWY Confusion. Pro odlet z dráhy s posunutým prahem dráhy 36 si pilot musí zjistit, zda je nastaven kurz letadla na 360° a zarovnat letadlo na tento kurz dráhy, aby nedošlo k vzletu ze špatné dráhy. [23]



Obrázek 14 - Složitá konfigurace letiště [23]

Obrázek 15 – Posunutý práh dráhy [23]

Nepřesné mapy a nezakreslení kritických míst do AIP jsou dalšími z faktorů přispívající k RWY Confusion. Faktor neznámého letiště může způsobit dezorientaci pilotů. Při ztrátě povědomí o aktuální pozici je pilot povinen kontaktovat řídícího letového provozu a požádat ho o instrukce. Posádka má rovněž povinnost mít aktualizované mapy letiště.

Denní doba a počasí jsou dalšími faktory které mohou vést k RWY Confusion. Orientace ve tmě je při pojíždění na letišti vždy pro posádku obtížnější. Snížené podmínky dohlednosti výrazně zvyšují neúmyslné použití špatné vzletové a přistávací dráhy nebo pojezdové dráhy.

Z uvedené definice vyplývá že RWY Confusion může nastat při záměně dráhy v poslední fázi přiblížení, především pokud se jedná o vizuální přiblížení. Tato situace se týká především letišť s konfigurací paralelních drah blízko u sebe nebo v případě přistání na TWY místo RWY, která je s ní rovnoběžná. K těmto situacím dochází zejména v případě nedostatečného odlišení dvou prvků od sebe, nepozornosti nebo nedorozumění posádky a řídícího letového provozu.

1.5.3 ZMĚNY

Změny, na nichž je prováděno hodnocení bezpečnosti jsou změnami v kompetenci letiště. Účelem diplomové práce není vyřešení situace související se zaváděním změn. Navržené změny a jejich projevení v řídící struktuře jsou pouze předpokladem, jak by to v reálné situaci mohlo vypadat Na základě vyšetřovacích zpráv a aktuálních moderních trendů letišť budou vyhodnoceny následující změny:

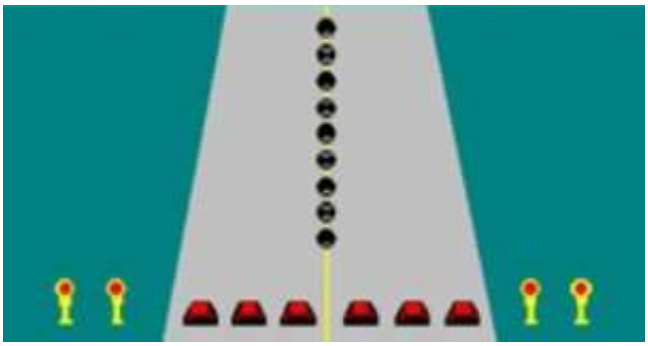
- Zavedení nového stroje/metody pro měření brzdného účinku

Měření brzdného účinku se musí opakovat při každé změně podmínek v případě pokrytí dráhy sněhem a ledem. V navržené struktuře letiště doposud se pro měření koeficientu tření doposud používá automobil vybavený decelerometrem. Další možnou metodou je použití zařízení pro kontinuální měření tření (zařízení CFME – continuous friction measuring equipment). Měření zařízením CFME oproti decelerometrům probíhá kontinuálně, díky čemuž je naměřeno více hodnot a měření je tím přesnější. Pro vyhodnocení změn je uvažováno zavedení zařízení CFME pro měření koeficientu tření. [26]

- Zavedení stop příček s párovými nadzemními návěstidly na každém konci

Složitý nebo nedostatečný plán letiště má skutečný dopad na pravděpodobnost a závažnost rizika spojeného s RWY Incursion. Složitá konfigurace letiště je zdrojem incidentů a potenciálních nehod. V navržené řídící struktuře doposud platí situace, kdy v případě

podmínek RVR[11] nižších než 550 m je počet vozidel na provozní ploše snížen na nezbytné minimum. Za účelem zvýšení bezpečnosti je počítáno se změnou zavedení stop příček s párovými nadzemními návěstidly na všechny vyčkávací místa. [21] Stop příčka je světelně vyznačený příčka na provozní ploše určená k zastavení letadel a MMP v případě zajištění potřebné bezpečné vzdálenosti od jiné provozní plochy. Zavedená stop příčka s párovými nadzeními návěstidly je znázorněna na obrázku 16.



Obrázek 16 - Aktivní stop příčka s párovými návěstidly [27]

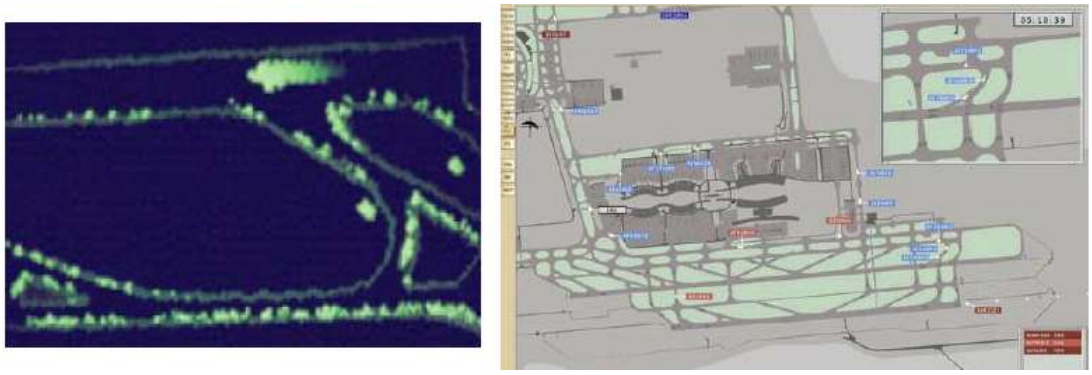
- Zavedení A-SMGCS (Advanced Safety Movement Guidance and Control System)

Většina velkých letišť stále spoléhá na koncept Surface Movement Guidance and Control System (SMGCS). Provoz na letišti je v tomto případě zajišťován vizuálně řídícím letového provozu. Řídící letového provozu provádí manuálně navádění pohybů po letišti, jednotlivým mobilním prostředkům dává instrukce, využívá stop příčky a osvětlení pojíždějících drah. Piloti tedy majoritně spoléhají na vizuální navigační prostředky[12] které je vedou po trati a vizuálně identifikují křižovatky vyčkávajících míst. [28] SMGCS jsou většinou založeny na SMR (surface movement radar), kterým monitorují pozemní pohyby. Tato technologie je spojena s řadou nedostatků (např. znehodnocení vykreslení deštěm, přeskakování volaček letadel), zobrazovaná informace z toho důvodu může být chybná. [4] V případě špatné orientace řídícího letového provozu, hlavně při snížené viditelnosti, je zvýšené riziko vážného incident nebo nehody.

Novou technologií, pomocí které se má předejít výše zmíněným nedostatkům je A-SMGCS (Advanced Safety Movement Guidance and Control System). A-SMGCS bude posádce, řidičům a řídícím letového provozu zprostředkovávat povědomí o okolní dopravní situaci,

[11] RVR (Runway Visual Range) neboli dráhová dohlednost je vzdálenost na kterou může pilot letadla nacházející se na ose RWY vidět dráhové značení nebo návěstidla
[12] Vizuálními navigační prostředky jsou myšleny značení, značky, znaky a světelná návěstidla.

bude detekovat nepovolené nájezdy na RWY a ostatní nebezpečné situace. Doposud využívaný SMGCS byl považovaný za tzv. základní nultou úroveň. A-SMGCS je rozdělen na čtyři úrovně, přičemž úroveň I a II řeší převážně otázky zvýšení bezpečnosti a úroveň III a IV se zaměřuje na efektivitu pozemních pohybů. [28] Levá část obrázku 17 znázorňuje systém SMGCS. Jedná se o funkci sledování, jenž má omezené možnosti – ukazuje polohu objektů na letišti bez jejich identifikace.



Obrázek 17 - Zobrazení SMGCS pomocí SMR (vlevo) a A-SMGCS (vpravo) [28]

Úroveň I

První úroveň je zlepšený přehled pro řídícího letového provozu. Jedná se o zlepšení vizuálního pozorování + identifikace a pozice na obrazovce A-SMGCS, uvedené na obrázku 17 vpravo. Řídícímu letového provoz budou poskytnuty na přehledovém displeji o pozici všech letadel a vozidel na provozních plochách, včetně jejich identifikace. Tato přehledová funkce pokrývá i všechna letadla na pojezdové ploše pro usnadnění přidělování povolení k vytlačování ze stání.

Úroveň II

Druhá úroveň je zlepšení pro již zavedenou první úroveň o přidání funkce výstrahy před nepovoleným vstupem na vzletovou a přistávací dráhu. Zároveň prostřednictvím palubního displeje bude řidičům vozidel poskytnuta kompletní mapa se všemi pojíždějícími drahami a zobrazení dané pozice vozidla pomocí satelitního navigačního systému nebo souřadnicemi ze senzoru. Zobrazení této přesné polohy bude nápomocné především v provozu při nízké dohlednosti. [28]

Třetí a čtvrtou úroveň nebudu při zavádění A-SMGCS uvažovat, jedná se o funkci automatického vedení a optimalizace provozu na vzletové a přistávací dráze. Implementace

těchto dvou úrovní je složitá. V současné době je primární zavést první a druhou úroveň A-SMGCS, které jsou nezbytné pro případné zavedení vyšších úrovní.

1.5.4 STATISTIKA

V předešlé podkapitole je uveden přehled nehod, které se odehrály v minulosti na vzletové a přistávací dráze. Nyní je provedeno zaměření pouze na nehody související s navrženými změnami v řídící struktuře. Na základě tabulek 8 a 9 z druhé kapitoly, na první pohled je možné vidět, že navržené změny souvisí pouze s nehodami RWY Overrun a RWY Incursion.

Za účelem praktické části diplomové práce – ověření zvolené metody vyhodnocení změn v řídící struktuře je provedena statistika těchto dvou kategorií nehod.

Při sbírání dat o nehodách RWY Overrun v minulosti je použit již zmiňovaný roční report s názvem Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents (vydaný společnostní Boeing). Pro získání podrobnějších informací o nehodách jsou využity dva největší servery[13], zabývající se bezpečnostními událostmi – Aviation Safety Network [29] a Aviation Herald [30]. Tyto servery pracují s ověřenými informacemi např. publikovanými reporty vyšetřovacích týmů atd. Při sbírání dat o nehodách RWY Incursion jsou opět použity databáze serverů Aviation Safety Network a Aviation Herald.

Ve většině případech události vedly ke škodám na letadle, letištním vybavení ale i ke ztrátám na lidských životech. Za cílem předejít jim v budoucnu, byly nehody důkladně prošetřeny, stanoveny příčiny a jejich opatření.

Od roku 1996 celosvětově klesá počet nehod s fatálními následky v obchodní letecké dopravě, a to díky pokrokům v technologii, výcviku posádky a vylepšováním bezpečnostních postupů ze strany operátorů a regulačních orgánů. [31] Z důvodu sbírání konzistentních dat a využití stejného vybavení a novodobých bezpečnostních postupů, diplomová práce je zaměřena pouze na nehody, které se staly v 21.století.

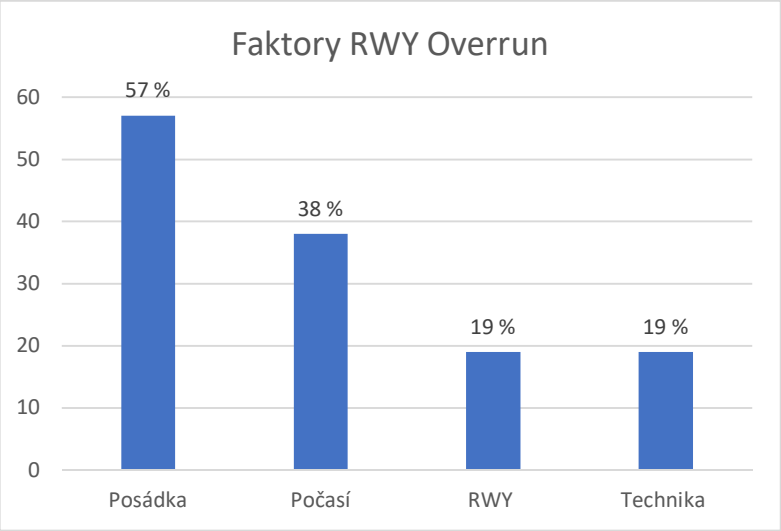
- **RWY OVERRUN**

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2, k RWY Overrun může dojít během přistání nebo přerušeného vzletu, kdy pilot nemůže zabránit vyjetí letadla za konec dráhy. Vyhodnocení je provedeno pouze pro RWY Overrun události, které byly klasifikovány jako nehody.

[13] Serverem je v informatice myšleno obecné označení pro počítač, který poskytuje nějaké služby, nebo počítačový program, který tyto služby realizuje. Na server je možné se připojit přes internet.

Pro statistiku RWY Overrun je zvoleno období posledního desetiletí 2008-2017. Ze statistiky bylo vyhodnoceno celkem 26 případů RWY Overrun, tabulka s výpisem všech analyzovaných nehod se nachází v příloze A. Jednou z informací, kterou lze vyčíst z provedené statistiky je příčina vyjetí letadla za koncový práh dráhy. Sloupec příčiny nehod je rozdělen na 4 podkategorie, podle toho, jaký z faktorů měl podíl na nehodě: počasí, posádka, letadlo, RWY.

Následující graf na obrázku 18 zobrazuje vyjmenované faktory a k nim procenta nehod na kterých se podílely. K nehodě může dojít v důsledku kombinace více faktorů, z toho důvodu součet nedává 100 procent.



Obrázek 18 - Příčinné faktory RWY Overrun

Výše uvedený graf dokazuje tvrzení z předešlé kapitoly, že hlavním faktorem vedoucím k vyjetí letadla za konec dráhy je faktor posádky. Hned za faktorem posádky je faktor počasí, který však bývá často spojený i s chybou posádky. Faktory posádky, počasí a techniky letadla není možné při změnách které probíhají v letištní struktuře nijak ovlivnit. Při hodnocení změn v řídící struktuře letiště je brán v potaz pouze faktor RWY. Z grafu je to hodnota 19 % nehod kdy nevyhovující stav dráhy vedl k vyjetí letadla.

Z uvedených 26 případů RWY Overrun, 5 případů kdy byl faktor RWY jako samostatný nebo dílčí faktor odpovídá hodnota 19 %. Všech 5 případů souviselo s významnou kontaminací dráhy. Vzletová a přistávací dráha je při projektování navržena s určitým příčným sklonem pro odvod vody z dráhy. V případě extrémního bočního větru může však nedocházet k dostatečnému odtoku vody, s kterým se počítalo při návrhu sklonu dráhy.

Tabulka 4 ukazuje všech 5 případů RWY Overrun z důvodu kontaminované dráhy. Tabulka obsahuje údaje o datu nehody, typu letadla, letiště nehody, délce RWY, konečné polohy letadla po vyjetí, fázi letu, míru poškození a zda došlo k obětem na životech.

Tabulka 4 - Statistika RWY Overrun - faktor RWY

Datum	Typ letadl	Letecká společn	Letiště	RWY [m	Fáze let	POČAS	POSADK	LETAD	RWY	Poškoze	Obět
28.4.2016	ERJ 190	TAME	Cuenca, Ecuador	1900	Vzlet		x		x	Zničený	0
2.6.2012	727-200	Allied Air Lilmited	Accra, Ghana	3403	Přistání	x			x	Zničený	0/4 (12)
16.10.2012	CRJ7	Brit Air	Lorient, France	2230	Přistání	x			x	Značný	0
9.2.2009	A321	Air Mediterranee	Paris, France	2700	Přistání	x	x		x	Značný	0
10.6.2008	A310	Sudan Airways	Khartoum, Sudan	2980	Přistání		x		x	Zničený	30/214

- **RWY Incursion**

K incidentům RWY Incursion dochází poměrně často, avšak k události RWY Incursion klasifikované jako nehoda už tak často nedochází. Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, nejčastější příčinou je lidský faktor, a to na straně posádky, řídícího letového provozu či řidiče MMP. Stejně jako u RWY Overrun, tento faktor není možné při změnách probíhajících v kompetenci letiště nijak ovlivnit. Lidský faktor je při analýze záměrně vynecháván a statistika je zaměřena pouze na nehody typu RWY Incursion způsobené chybou ze strany letiště. Statistika nehod RWY Incursion v této práci je zaměřena pouze na události, které souvisejí s vzletovou a přistávací dráhou odehrávající se v místě křížení TWY a RWY. Z důvodu nedostatečného vzorku dat nehod RWY Incursion pro vyhodnocení za poslední desetiletí, je zvoleno období 2000-2017.

V tabulce 5 jsou uvedeny čtyři nehody chybného vstupu na aktivní dráhu jako vzorek dat pro pozdější hodnocení bezpečnosti. Tabulka obsahuje údaje s datem nehody, typem letadel, letiště nehody, fázi letu, přesné místo události na letišti, míru poškození a zda došlo k obětem na životech.

Tabulka 5 - Statistika RWY Incursion - faktor RWY

Datum	Typ letadla	Typ letadla	Letiště	Fáze letu	Místo událos	Poškozen	Oběti	Příčinna
17.08.2016	Fokker F50	A320	Adelaide	Přistání	TWY x RWY	Značný	0	chyběla stop příčka
29.3.2010	Rayethon	Bombardier	Nice	Přistání	TWY x RWY	Značný	0	nepřesní mapy, matoucí podsvícení
8.10.2001	Cessna	MD-87	Milano	Přistání	TWY x RWY	Značný	4	špatné značení vyčkávacího místa
23.5.2000	Shorts	MD 83	Pariz	Přistání	TWY x RWY	Značný	0	malý uhel napojení RWY a TWY

1.6 HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI

V předchozích podkapitolách jsou popsány nejběžnější typy nehod v okolí vzletové a přistávací dráhy a metoda pro identifikaci nebezpečí. Tato podkapitola je věnována hodnocení bezpečnosti změn v řídící struktuře. Hodnocením bezpečnosti je myšleno ohodnocení rizik, která mohou vzniknout z odhalených nebezpečí. Jedná se o komplexní proces určení pravděpodobnosti a závažnosti vzniku nežádoucí situace a rozhodnutí o tom jaká opatření učinit v případě nutnosti eliminovat nebo snížit riziko na tolerovanou míru. [33] Hodnocení rizik lze provést kvalitativním nebo kvantitativní způsobem.

Kvalitativní hodnocení rizik je založeno na slovním odhadu rozsahu možných následků a pravděpodobnosti že se tyto následky přihodí.

Kvalitativní hodnocení se používá především v případech, kde číselné údaje nejsou dostatečné k provedení kvantitativního hodnocení a tam kde tento druh hodnocení rizik postačuje k rozhodování. Výstupem je kvalitativní odhad rizika vzniku nebezpečné události. Příkladem kvalitativního hodnocení rizika je tradiční matice rizik uvedená v kapitole 1.1. SMS. Výhodami tohoto hodnocení jsou jednoduché výpočty, nevysoká potřeba programového vybavení a nižší nároky na potřebné zdroje. [32] Kvalitativní přístup hodnocení bývá často zvolen jako první krok v hodnocení rizik. Mnohdy bývá obtížné dosáhnout jednotného souladu mezi kategorií závažnosti a pravděpodobnosti. Z toho důvodu kvalitativní hodnocení často končí potřebou vnesení určité formy kvantifikace do hodnocení. [33] Kvalitativní hodnocení často pracuje s menším množsvím případů. Pozorované případy jsou včas studovány do hloubky.

Kvantitativní hodnocení rizik spočívá v pravděpodobnostní analýze (určení četnosti, frekvence) a určení následků (závažnosti). Cílem je vyčíslit hodnoty pro pravděpodobnostní i následkový rozměr rizika. [33] Kvalita analýzy závisí na přesnosti a úplnosti zdrojů číselných hodnot. Pro stanovení kvantitativních hodnot se využívají např. FTA (Fault Tree Analysis), ETA (Event Tree Analysis), simulace a modelování, síťové analýzy atd. Kvantitativní metody jsou použíány především v oblasti bezpečnostni organizace, procesů a informačních systémů.

Pro hodnocení a posouzení přijatelnosti rizik je pro diplomovou práci zvoleno **kvalitativní hodnocení**, kde kvalitativní **škála pro určení pravděpodobnosti je doplněna číselnými hodnotami**. Je třeba vytvořit takovou škálu hodnocení, která je podrobnější než dosavadní kvalitativní hodnocení. Cílem není navrhnout přesné realistické hodnoty pro popis rizik, jak je

uvedeno kvantitativním hodnocením. Upravená tabulka hodnocení pravděpodobnosti je uvedena v následující podkapitole.

Podle nařízení komise 139/2014, provozovatel letiště navrhující změnu je povinen zajistit takovou změnu, aby v rozumné míře přispěla ke zlepšení bezpečnosti. [11]

Cílem hodnocení bezpečnosti je zjistit, jak se projeví změny na hodnocení a ověření tohoto nařízení. V kapitole 2 bude provedeno ověření navrženého hodnocení bezpečnosti na zvolených změnách uvedených v podkapitole 1.5.3.

1.6.1 HODNOCENÍ ZÁVAŽNOSTI A PRAVDĚPODOBNOSTI

Závažnost následku nebezpečí je hodnocena dle závažnosti škod nejhoršího případu spojeného s nebezpečím. Škody na letadle, letištním vybavení a zda došlo k újmě na zdraví je možné vyčíst z bezpečnostních vyšetřovacích zpráv. Tyto zprávy byly použity k provedení již zmiňované statistice.

K určení závažnosti rizika je použita tabulku 1 - Klasifikace závažnosti bezpečnostních rizik, uvedena v kapitole 1.1. Pro každou uvedenou změnu je provedeno opětovné zhodnocení za účelem posouzení, jak se změní závažnost.

K určení pravděpodobnosti nastání nebezpečí jsou využita statistická data nehod. Pro vybraná letiště, na kterých došlo k nehodám je z provozních historických dat zjištěna informace o pohybu letadel (vzlety/přistání) za stanovené období.

Pravděpodobnost, že jeden pohyb povede k nehodě daného typu (RWY Incursion, RWY Overrun), je určena jako počet nehod způsobených daným příčinným faktorem za sledované období ku počtu pohybů na letišti za sledované období. Pravděpodobnost rizika nebude určena dle tabulky klasifikace pravděpodobnosti rizika uvedené v první kapitole. Pro lepší určení pravděpodobnosti v závislosti na počtu pohybů letadel na daném letišti, bylo třeba najít přesnější tabulku. Pro hodnocení pravděpodobnosti rizika je použita Tabulka pravděpodobné míry nehodovosti publikované v analýze FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) [12]. V této tabulce je kvalitativní škála určení pravděpodobnosti doplněna číselnými hodnotami odpovídající počtu pohybů na letišti. Tabulka je upravena dle autora. Škála hodnot je také upravena, aby odpovídalo stejnému počtu hodnot jako využívá klasická tabulka hodnocení pravděpodobnosti v kapitole 1. Tabulka byla konzultována se stážistou oddělení bezpečnosti a provozu organizace IATA. Dle jeho názoru, stanovené rozdělení odpovídá reálné situaci při hodnocení pravděpodobnosti.

Tabulka 6 - Tabulka pravděpodobné míry nehodovosti

Pravděpodobnost nehody	Pravděpodobnost míry nehodovosti	Hodnota
Velmi vysoká	1 z 2-7	5
Vysoká	1 z 8-79	4
Střední	1 z 80-14 999	3
Nízká	1 z 15 000- 149 999	2
Zanedbatelná	1 z 150 000 a více	1

1.6.2 POTENCIÁL ZMÍRNĚNÍ NEBEZPEČÍ

Jako dalším parametrem založeným na kvalitativním hodnocením může být *potenciál zmírnění nebezpečí*. Určuje, jakým způsobem je řízeno nebezpečí nebo jeho následky.

Prvním krokem určování tohoto parametru je identifikace nebezpečí. Určování tohoto parametru je zvolena z toho důvodu, že nebezpečí mohou být identifikována pomocí teorie STAMP. V této práci se jedná o nebezpečí vyskytujících se na vzletové a přistávací dráze. Jejich identifikace je provedena v tabulkách 8 a 9 uvedených v kapitole 2. V případě použití tohoto parametru pro hodnocení, budou vybrána nebezpečí související se změnami k vyhodnocení.

Jak moc velký vliv má jednotlivá změna na řízení nebezpečí nebo jeho následků bude vyhodnoceno pomocí tabulky 7, uvedené v knize *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. [9] Číselné hodnoty jsou pro lepší přehled v tabulce upraveny. Nyní je úroveň zmírnění ohodnocena vzestupně. Nejlepší případ, který může nastat odpovídá nejnižšímu číslu, stejně jako to je v matici pravděpodobnosti rizik.

V případě, že provedená změna zcela vyloučí nebezpečí z řídící struktury, je ohodnocena úrovní 1. Podobně nebezpečí, která byla vyloučena během návrhu systému nebo mohou být snadno odstraněna v detailním návrhu, tak nemohou vést k nehodě.

V případě že ohodnocené změně přiřadím úroveň 2, nebezpečí stále může nastat, avšak dojde ke snížení pravděpodobnosti nebezpečí.

V případě že dané změně přiřadím úroveň 3, nezmění to nijakým způsobem pravděpodobnost nastání nebezpečí, ale snižuje to pravděpodobnost toho, že to bude mít negativní vliv – pravděpodobnost nastání nehody je nízká. Pro nebezpečí, která lze snadněji zmírnit v konstrukci a provozu, platí, že je méně pravděpodobné že povedou k nehodám.

Úroveň 4 je přiřazena takové změně, kdy dojde pouze ke snížení škod v případě nehody.

Tabulka 7 - Stupeň řízení nebezpečí nebo jeho následků [9]

Úroveň	Obecný popis	Detailní popis
1	Odstranění nebezpečí	Úplné vyloučení nebezpečí ze struktury
2	Zabránění nebezpečí	Snížení pravděpodobnosti že nastane nebezpečí
3	Řízení nebezpečí	Snížení pravděpodobnosti že nebezpečí povede k nehodě
4	Snížení škod	Snížení škod v případě nehody

.

2 VÝSLEDKY

Tato kapitola v prvé řadě popisuje podrobně jednotlivé řídící smyčky vytvořené řídící struktury pro procesy odehrávající se na vzletové a přistávací dráze. V druhé části kapitoly jsou identifikované příčinné faktory v řídící struktuře a k nim následně přiřazena nebezpečí. Třetí část se zabývá kvalitativním hodnocení bezpečnosti po zavedených změnách v řídící struktuře.

2.1 ŘÍDÍCÍ STRUKTURA MEZINÁRODNÍHO LETIŠTĚ

Veškeré vazby mezi komponenty řídící struktury jsou vytvořeny dle veřejně dostupné letecké dokumentace a autorových znalostí získaných při studium. Obrázek 19 nastiňuje řídící strukturu mezinárodního letiště pro procesy spojené se vzletovou a přistávající dráhou.

Červená čísla u jednotlivých komponentů v navržené řídící struktuře znázorňují místa definovaná v kapitole *1.3.3. Obecná klasifikace příčin nehod*, viz obrázek 7. V následující kapitole *2.2.Určení nebezpečí pro vzlet a přistání* jsou tato místa podrobněji popsána v tabulkách.

Nejprve je vytvořena standardní řídící smyčka pro řídící prvek **posádka**. Jednou z řídících akcí, kterou posádka musí provést při přistání je nastavení konfigurace letadla. Aktivními řídícími prvky jsou prvky primárního[14] a sekundárního řízení. Externími vstupy posádky jsou vstupy okolního prostředí (např. počasí) a především vstupy od řídícího letového provozu a letiště. Dalším externím vstupem posádky jsou informace o letišti. Tyto informace jsou pilotovi předány pomocí AIP (Letecká informační příručka) daného letiště a jiných manuálů, resp. leteckých map. Zbytek informací pilot získává vizuálním kontaktem s letištěm. V AIP pilot může najít veškeré informace o používané frekvenci při přistání, povolený druh provozu, provozní dobu letiště, služby a zařízení pro pozemní odbavení letadel, záchranné a požární služby, údaje o letištních plochách (odbavovací, pojezdové dráhy a umístění kontrolních bodů), fyzikální vlastnosti vzletových a přistávacích drah, informace o přibližovací a dráhové světelné soustavě, radionavigační a přistávací zařízení a další důležité informace pro bezpečný pohyb letadla na letišti.

Pro detailnější analýzu procesů a jednodušší určení nebezpečí související s vzletovou a přistávací dráhou je v této fázi potřeba rozdělit proces přistání a vzletu na řízené dílčí procesy.

[14] Prvky primárního řízení letadel jsou křidélka, směrové kormidlo, výškové kormidlo. Pomocí nich je možné provést tři základní operace: klonění, klopení a zatáčení.

- Přiblížení

Proces přiblížení začíná v bodě konečného přiblížení a pokud takový bod není stanoven, tak se jedná o konec poslední předpisové zatáčky. Přiblížení končí buď ve stanoveném bodě v blízkosti letiště, ze kterého letadlo může přistát nebo v bodě zahájení postupu nezdařeného přiblížení. [17]

- Přistání

Přistání je manévr, skládající se ze vzdušné a pozemní fáze. Vzdušná fáze začíná ve smluvní výšce překážky 15 m. Během této fáze dochází postupně ke snižování rychlosti a vyrovnání dráhy letu do směru rovnoběžného s RWY. Po dosednutí při stanovené rychlosti na přistání následuje poslední část přistání – dojezd. Letoun volně dojíždí a po dosažení stanovené rychlosti při dojezdu začne intenzivně brzdit. [17]

- Opuštění RWY

Opuštění vzletové a přistávací dráhy je v této práci myšleno jako proces od začátku intenzivního brždění letadla po napojení na klasickou 90° pojezdovou dráhu nebo pojezdovou dráhu pro rychlé odbočení.

- Vyčkávání (vyčkávací místo)

Letadlo čeká na vyčkávacím místě na povolení od řídícího letového provozu k povolení najíždění na RWY (Line-up).

- Vyčkávání na RWY

Letadlo vyčkává na prahu dráhy pro povolení ke vzletu od řídícího letového provozu.

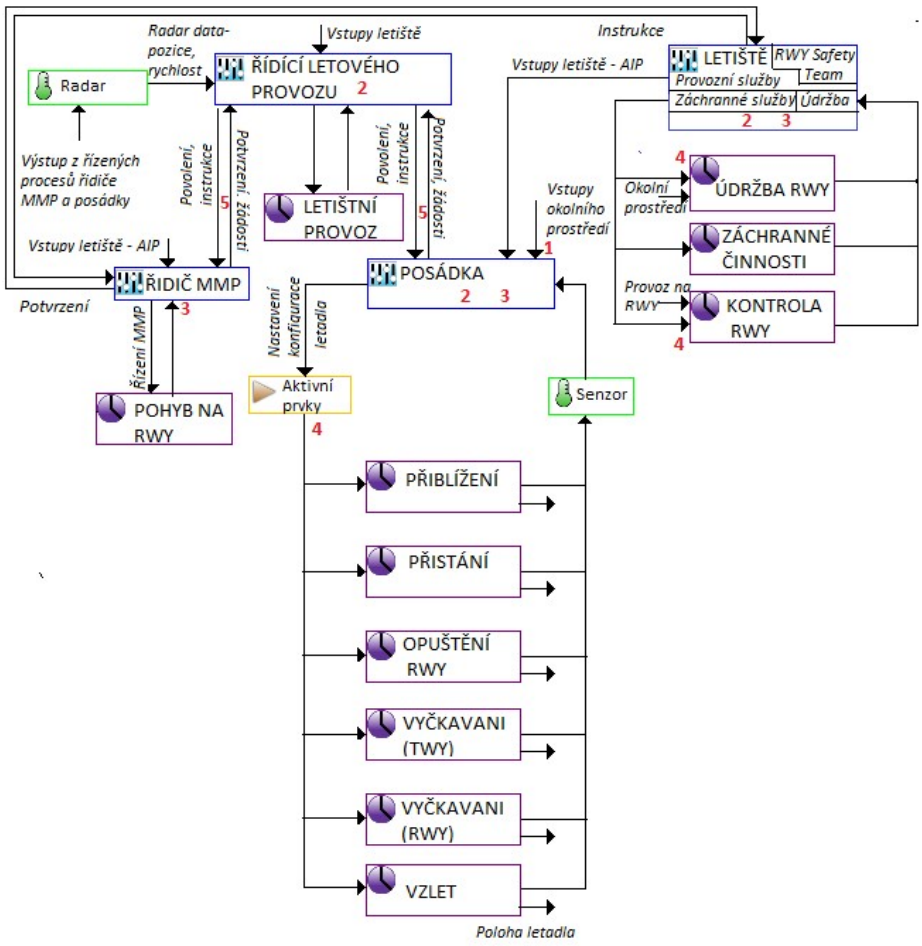
- Vzlet

Vzlet lze definovat jako neustálený pohyb letounu, během něhož je letoun urychlován z nulové rychlosti až po bezpečnou rychlost vzletu v určité smluvní výšce 15 m. Vzlet se skládá ze dvou částí: pozemní část vzletu a vzdušná část vzletu. [17]

Řídícího letového provozu jako model šedé skříňky je znázorněn pomocí základní řídící smyčky s jedním řízeným procesem, kterým je letištní provoz. Řídící letového provozu vydává povolení a instrukce, které jsou externím vstupem posádce. Zpětnou vazbou od posádky je potvrzení vydaného povolení. Jeho vstupem jsou informace z radaru o pozici letadel, jejich rychlosti atd. Radar získává informace z výstupu řízených procesů řidiče MMP a posádky.

Pro sestrojení řídící smyčky **letiště** je použita standardní řídící smyčka, s řídícími procesy souvisejícími se vzletovou a přistávací dráhou: záchrana a požární činnosti, údržba RWY, kontrola RWY. Pro lepší určení nebezpečí, která jsou v kompetenci letiště je řídící prvek letiště podrobněji rozepsán: RWY Safety Team, provozní služba, záchranná služba a údržba.

Poslední řídící smyčka patří **řidiči MMP**. Jedná se o MMP v kompetenci letiště, a tudíž řidič MMP pohybující se na RWY je řízen instrukcemi od letiště. Jako zpětnou vazbu zasílá potvrzení zpět. Z důvodu lepší přehlednosti rozložení jednotlivých komponentů řídící struktury, řidič MMP se nenachází hned pod řídícím prvkem letiště. Pro názornou ukázku je použita základní řídící smyčka, kde je zanedbán aktivní prvek řízení a senzor. Řídícím procesem je pohyb MMP na RWY. Řidič MMP je propojen také s řídícím letového provozu, od kterého získává povolení a instrukce. Zpětnou vazbou předává potvrzení a žádost o povolení.



Obrázek 19 - Řídící struktura mezinárodního letišt

Tabulka 8 – Klasifikace příčin nehod pro vzlet

VZLET				
Kategorizace příčin	**Příčinné faktory**	**Nebezpečí**	**Řídící smyčka**	**Události**
1. Řídící vstupy a další relevantní externí informační zdroje	Střih větru – boční, zadní vítr, Mlha, Sníh, Silný déšť	**Špatné počasí**	Posádka	RWY Veeroff RWY Overrun
	Nesprávné použití frazeologie Nedorozumění	**Komunikační problém**	Řídící letového provozu/posádka/MMP	RWY Incursion RWY Confusion
2.Řídící algoritmy	Nedostatečná zkušenost řídícího Neznalost letiště	**Selhání lidského faktoru**	Posádka, Řídící letového provozu	RWY Incursion RWY Confusion
3.Model procesu a nedostatečné operace	Nefunkční světla na RWY Světla na stop příčce jsou nefunkční	**Nefunkční letištní systém**	Letiště	Rwy Incursion RWY Confusion RWY Overrun
	Složitý tvar napojení TWY na RWY – např. tvar Y Nedostatečné vyznačení v AIP Nedostatečné značení neprovozuschopných ploch Špatné značení vyčkávacího místa/chybí stop příčka	**Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho značení**	Letiště	RWY Incursion RWY Confusion
	Vyjetí na RWY bez povolení Zahájení vzletu bez povolení ATC Přerušený vzlet po dosažení v1	**Nedodržení předepsaných procedur**	Posádka	RWY Incursion RWY Overrun
	Nepozornost řídícího letového provozu	**Nesprávné povolení k najíždění (line-up)**	Řídící letového provozu	RWY Incursion
	Nepozornost řidiče	**Nedodržení dopravního řádu**	MMP	RWY Incursion RWY Veeroff
4.Aktivní prvky řízení a řízený proces	Chyba systému letadla – nefunkčnost prvků sekundárního řízení	**Nestabilní přiblížení – technická závada letadla**	Posádka	RWY Overrun RWY Veeroff
	Sníh	**Kontaminovaná dráha**	Letiště	RWY Overrun
	Úpadky od letadel, ptáků, rozbitých pozemních zařízení	**FOD na dráze**	Letiště	RWY Veeroff

Tabulka 9 – Klasifikace příčin nehod pro přistání

PŘISTÁNÍ				
Kategorizace příčin	**Příčinné faktory**	**Nebezpečí**	**Řídící smyčka**	**Události**
1. Řídící vstupy a další relevantní externí informační zdroje	Střih větru – boční, zadní vítr, Mlha, Sníh, Silný déšť	**Špatné počasí**	Posádka	RWY Veeroff RWY Undershoot RWY Overrun
		Střet s ptákem		RWY Veeroff
	Nesprávné použití frazeologie Nedorozumění	**Komunikační problém**	Řídící letového provozu/posádka/MMP	RWY Confusion
2. Řídící algoritmy	Nedostatečná zkušenost pilota a řídícího letového provozu	**Selhání lidského faktoru**	Posádka, Řídící letového provozu	RWY Undershoot RWY Overrun
3.Model procesu a nedostatečné operace	Nefunkční světla na RWY Nefunkční ILS	**Nefunkční letištní systém**	Letiště	RWY Overrun RWY Confusion RWY Undershoot
	Velký sklon RWY Nesprávný úhel „rychloodbočky“ Nedostatečné značení neprovozuschopných ploch Špatné značení dráhového systému Nedostatečné informace v AIP	**Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho značení**	Letiště	RWY Veeroff
	Letadlo letí příliš vysoko/nízko nad prahem dráhy Pozdní/nedostatečné použití reverzního tahu/brzd Přelet bodu dotyku Vysoká rychlost dosednutí Přejetí TWY opouštějící RWY	**Nedodržení předepsaných procedur**	Posádka	RWY Overrun RWY Undershoot RWY Veeroff
	Nepozornost řidiče	**Nedodržení dopravního řádu**	MMP	RWY Incursion RWY Veeroff
4.Aktivní prvky řízení a řízený proces	Chyba systému letadla – klapky, spoiler, ztráta hydraulické nebo elektrické energie Nefunkční brzdy na kolech Výpadek motoru, problém s podvozkem	**Nestabilní přiblížení – technická závada letadla**	Posádka	RWY Undershoot RWY Overrun RWY Veeroff
	Sníh Led	**Kontaminovaná dráha**	Letiště	RWY Overrun
	Úpadky od letadel, ptáků, rozbitých pozemních zařízení	**FOD na dráze**	Letiště	RWY Veeroff

2.2 URČENÍ NEBEZPEČÍ PRO VZLET A PŘISTÁNÍ

Tabulky 8 a 9 na předešlých stránkách jsou vytvořeny pomocí teorie STAMP z kapitoly *1.3.3. Obecná klasifikace příčin nehod*. Pomocí teorie STAMP bylo možné identifikovat příčinné faktory v řídící struktuře a k nim následně přiřadit daná nebezpečí. Tato nebezpečí mohou vést k nehodám na vzletové a přistávací dráze. Jedno nebezpečí může vést k více typům nehod.

První sloupec v tabulce představuje názvy jednotlivých míst v řídící smyčce, kde může dojít k nesprávné činnosti přispívající k nedostatečnému řízení.

V druhém sloupci jsou uvedeny příčinné faktory, které jsou rozděleny do řádků dle míst v řídící smyčce, kde dochází k nedostatečnému řízení. V třetím sloupci jsou k těmto místům přiřazena nebezpečí. Čtvrtý sloupec obsahuje název řídící smyčky, ve které dochází k nedostatečnému řízení. V posledním sloupci jsou uvedeny nehody vycházející z definovaných nebezpečí ve třetím sloupci.

2.3 KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI

Na úvod této podkapitoly je třeba připomenout, že hodnocení změn je provedeno na obecné řídící struktuře, aby mohlo být implementováno na všeobecné mezinárodní letiště. Hodnocení bezpečnosti se může lišit v závislosti na komplexnosti konkrétního letiště a jeho provozních faktorech. Nejprve je kvalitativní hodnocení bezpečnosti provedeno klasickým hodnocením pravděpodobnosti a závažnosti podle matice rizik dle kapitoly 1.6.1. Ověření navrženého postupu řízení změn je provedeno na změnách uvedených v kapitole 1.5.3.

2.3.1 HODNOCENÍ ZÁVAŽNOSTI A PRAVDĚPODOBNOSTI

RWY Overrun

- Před změnou

Na základě vypracované statistiky RWY Overrun, riziko vyjetí letadla za konec dráhy před zavedením změny je ohodnoceno stupněm pro **závažnost A** – Katastrofický**.** Dle tabulky 4, u vybraných pěti nehod, příčinným faktorem ze strany letiště byla ve všech případech kontaminace dráhy. Z posledních dvou sloupců této tabulky je možné vidět že v několika případech došlo k úmrtí nebo značným škodám na letadle. Je uvažován nejhorší možný

případ, kdy v blízkosti letiště se nachází překážky, např. silnice, snižující šanci lidí na přežití a zvyšující riziko škod na letadle po nárazu.

Hodnota pravděpodobnosti že nehoda nastane před zavedenou změnou je stanovena na základě statistiky nehod daného typu v nedávné historii. Pravděpodobnost nastání nehody před zavedenou změnou je hodnocena pro každé letiště zvlášť. V tabulce 10 je přehled letišť ze statistiky, na kterých došlo k RWY Overrun z důvodu kontaminované dráhy. Ke každému letišti je přiřazen přibližný počet pohybů za uvažované období 2008-2017. Ve všech případech se jednalo o fázi přistání, proto je uveden pouze počet přistání na letišti.

Tabulka 10 - Letiště s nehodami RWY Overrun 2008-2017

Letiště	Počet přistání	Hodnota
Cuenca, Ecuador	350 000	1
Accra, Ghana	110 000	2
Lorient, Francie	30 000	2
Paříž, Francie	2 400 000	1
Khartoum, Sudan	70 000	2

Na všech letištích uvedených v tabulce 10 se za hodnocené období 2006-2017 stala pouze jedna nehoda tohoto typu. Dle tabulky 6 je letištím přiřazena hodnota pravděpodobnosti rizika. Na letištích ve městech Accra, Lorient a Khartoum je pravděpodobnost rizika stanovena hodnotou **2**, odpovídající nízké pravděpodobnosti. Pro letiště ve městech Cuenca a Paříž je počet pohybů za rok vyšší, proto je hodnota pravděpodobnosti rizika stanovena hodnotou **1**, odpovídající nepravděpodobné situaci. Pro vyhodnocení pravděpodobnosti rizika na všeobecné letiště je přiřazena striktnější hodnota pravděpodobnosti.

Výsledný index rizika RWY Overrun, kde příčinným faktorem je kontaminovaná dráha, je vyhodnocen jako **2A**. Dle matice snesitelnosti bezpečnostního rizika nacházející se v první kapitole, index rizika 2A spadá do snesitelné oblasti. Jedná se o přijatelné riziko a vyžaduje se rozhodnutí o případných opatření pro zmírnění rizika od oddělení řízení provozní bezpečnosti všeobecného letiště.

- Po změně

V případě zavedení nové metody/stroje pro měření brzdného účinku je riziko vyjetí letadla za konec dráhy ohodnoceno stupněm **závažnosti A**, stejným stupněm jako před změnou. Lepší údržba RWY nemá vliv na závažnost nehody.

Pravděpodobnost nastání nehody po zavedené změně je předpokládána že bude nižší. Užití správné metody/stroje údržby RWY je jednou z bariér, která by měla zabránit výskytu RWY Overrun. Díky kontinuálnímu měření je naměřeno více hodnot a dochází k předání přesnější informace. Přesnou hodnotu pravděpodobnosti rizika po zavedené změně však není možné pomocí této metody určit.

V případě že by se po zavedení CFME se hodnota **2A** změnila na hodnotu **1A**, stále by se jednalo o snesitelnou oblast a z hlediska řízení provozní bezpečnosti by to žádný efekt nemělo.

RWY Incursion

- Před změnou

Na základě vypracované statistiky RWY Incursion v tabulce 5, riziko nepovoleného vstupu na dráhu před zavedením změn je ohodnoceno stupněm **A – Katastrofický**. Uvažuje se případ, kdy dráha letiště je používána pro vzlet i přistání. Může dojít ke střetu s rozjíždějícím se nebo přistávajícím letadlem, kdy by takový střet vedl k velkým ztrátám na životech a majetku. V jednom z případů vypracované statistiky, příčinným faktorem bylo špatné značení vyčkávacího místa. Při této události došlo k úmrtí a značným škodám na letadle.

Pravděpodobnost nastání nehody před zavedenou změnou je hodnocena pro každé letiště zvlášť. V tabulce 11 je přehled letišť ze statistiky, na kterých došlo k RWY Incursion z důvodu nedostatečné konfigurace letiště nebo chybějícího zařízení. Ke každému letišti je přiřazen přibližný počet pohybů za uvažované období 2000-2017. Ve všech případech se jednalo o fázi vzletu v místě křížení RWY a TWY.

Tabulka 11 - Letiště s nehodami RWY Incursion 2000-2017

Letiště	Počet vzletů	Hodnota rizika
Adelaide, Austrálie	850 000	1
Nice, Francie	1 317 000	1
Milano, Itálie	1 650 000	1
Paříž, Francie	4 080 000	1

Na každém z uvedených letišť se za období posledních 17 let stala pouze jedna nehoda tohoto typu. Dle tabulky 6 uvedené v první kapitole je letištím přiřazena hodnota pravděpodobnosti rizika s hodnotou 1.

Výsledný index rizika RWY Incursion, kde příčinným faktorem je chyba v konfiguraci letiště nebo jeho značení, je vyhodnocen jako **1A**. Dle matice snesitelnosti bezpečnostního rizika uvedené v první kapitole, index rizika 1A spadá do snesitelné oblasti. Jedná se o přijatelná rizika a vyžaduje opět rozhodnutí o případných opatření pro zmírnění rizika od oddělení řízení provozní bezpečnosti všeobecného letiště.

- Po změně

V případě zavedení stop příčky i A-SMGCS, riziko RWY Incrusion je ohodnoceno stupněm **závažnosti A**, stejným stupněm jako před změnou. Obě změny nemají vliv na závažnost nehody, ale pouze na pravděpodobnost jejího výskytu.

Nově navržená infrastruktura letiště a její změny by měly být navrženy tak, aby se snížila pravděpodobnost RWY Incursion. [11] Pravděpodobnost nastání nehody po zavedení stop příčky je předpokládána že bude nižší. Stop příčka, jako jedna z bezpečnostních bariér proti RWY Incursion, má za úkol svým výstražným červeným světlem zastavit posádku před vjezdem na aktivní dráhu. Přesnou hodnotu pravděpodobnosti však pomocí této metody hodnocení nelze stanovit. V případě zavedení A-SMGCS a to především zavedení druhé úrovně, pravděpodobnost odhalení nepovoleného vstupu na aktivní dráhu se může zvýšit až o 50 %. [25]

2.3.2 POTENCIÁL ZMÍRNĚNÍ NEBEZPEČÍ

Klasické hodnocení dle matice rizik nepřispělo k určení hodnoty indexu rizika po zavedené změně. Z toho důvodu je vybráno vyhodnocení parametru *potenciál zmírnění nebezpečí,* které určí, jakým způsobem je řízeno nebezpečí nebo jeho následky. Díky této metodě je ověřeno, zda se zlepší bezpečnost a bude splněno nařízení 139/2014.

V tabulkách 12 a 13 jsou vybraná nebezpečí, která se změnami souvisí a budu s nimi pracovat při vyhodnocení bezpečnosti. Podrobnější popis nebezpečí je proveden v následujících podkapitolách.

Tabulka 12 - Nebezpečí související s RWY Overrun

Fáze	Nebezpečí
Vzlet a Přistání	Vzletová a přistávací dráha je kontaminovaná

Tabulka 13 - Nebezpečí související s RWY Incursion

Fáze	Nebezpečí
Vzlet a Přistání	Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho značení

2.3.2.1 Vzletová a přistávací dráha je kontaminovaná

Definice: Dráha se pokládá za kontaminovanou v případě, kdy je více než 25 % jejího povrchu (ať už v oddělených plochách či nikoliv) pokryto formou zmrzlé nebo namrzající vlhkosti takové jako námraza, sníh, rozbředlý sníh nebo led. [16] Součástí kontaminace nemusí být pouze stojatá voda, sníh a led. Může tím být i guma od pneumatik letadel zanesená do povrchu dráhy v oblastech bodu dotyku letadel, bláto, písek a další částice, které ovlivňují vzlet a přistání. Možné příčiny kontaminované dráhy mohou být zpoždění provádění inspekce a měření letištním operátorem, nesprávná nebo zpožděná informace o stavu dráhy, zastaralá metoda měření brzdného účinku atd.

Potenciál zmírnění nebezpečí:

Tabulka 14 - Nebezpečí související s RWY Overrun

Zmírnění	Stupeň zmírnění
Zavedení nového stroje/metody pro měření brzdného účinku	3

Pomocí určení potenciálu zmírnění nebezpečí je změně zavedení nového stroje/metody pro měření brzdného účinku přiřazena úroveň zmírnění 3 – Snížení pravděpodobnosti že nebezpečí povede k nehodě. Správná údržba RWY je jedna z hlavních bariér proti vyjetí letadla za práh dráhy z důvodu její kontaminace. Oproti decelerometrům, zařízení CFME poskytují rychlejší měření, vyhodnocení a distribuci dat, která probíhá mezi měřícím vozem a dispečinkem. Navíc je lze použít při všech typech kontaminace povrchu a lze s nimi měřit i kvalitu makrostruktury povrchu dráhy.

2.3.2.2 Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho značení

Definice: Letiště je navrženo tak, že je nepřehledné a křížení pojezdových drah, vzletových a přistávacích drah jsou složité na orientaci. Dále se může jednat o chybějící bezpečnostní systémy na letišti, nesprávné značení nebo osvětlení.

Potenciál zmírnění nebezpečí:

Tabulka 15 - Nebezpečí související s RWY Incursion

Zmírnění	Stupeň zmírnění
Zavedení stop příček s párovými nadzemními návěstidly na každém konci	2
Zavedení A-SMGCS	3

Podle nařízení komise 139/2014, nově navržená infrastruktura letiště a změny stávající infrastruktury by měly být navrženy tak, aby se snížila pravděpodobnost RWY Incursion. [11]

Pomocí určení potenciálu zmírnění nebezpečí je změně zavedení stop příček s párovými nadzemními návěstidly na každém konci přiřazena úroveň zmírnění 2 – Snížení pravděpodobnosti že nastane nebezpečí. Stop příčky jsou jedním z prvků nedostatečného značení letiště. Jejich přidání sníží pravděpodobnost nastání nebezpečí *Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho značení*

V případě zavedení A-SMGCS úrovně I a II (již popsané v diplomové práci) je této změně přiřazen stupeň zmírnění 3 – Snížení pravděpodobnosti že nebezpečí povede k nehodě. Řídícímu letového provozu jsou poskytnuty informace o pozici všech letadel a vozidel na provozních plochách, včetně jejich identifikace vylepšené o funkci výstrahy před nepovoleným vstupem na vzletovou a přistávací dráhu. Řídící letového provozu má tedy lepší přehled o situaci na provozních plochách s výstrahou před RWY Incursion. Nebezpečí *Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho značení* to však ze systému nijak neeliminuje ani nezabraňuje jeho výskytu.

3 VYHODNOCENÍ

V této kapitole jsou zhodnoceny výsledky práce. V první podkapitole je uvedeno, jakým způsobem přispěl model STAMP k vytvoření řídící struktury a definování daných nebezpečí. Druhá kapitola se zabývá výsledky hodnocení bezpečnosti a zda po uvedených změnách dojde k jejímu zlepšení.

3.1 STAMP

Diplomová práce představuje ucelený přehled modelu STAMP a s ním spojený postup sestrojení řídící struktury s využitím dostupných zdrojů informací. Práce určila řídící prvky související s provozem na vzletové a přistávací dráze, vytvořit seznam všech objektů řídících smyček a seznam odpovídajících chyb, které mohou v těchto krocích vzniknout.

Počet řídících smyček řídící struktury odpovídá počtu řídících prvků zodpovědných za dodržování bezpečnosti při vybraných procesech na letišti. Těmito řídícími prvky jsou posádka, řídící letového provozu, letiště a řidič MMP.

Dle STPA byl určen bezpečnostní cíl celkové analýzy řídící struktury, tedy jaké typy ztrát budou řízené. Vzletová a přistávací dráha představuje místo na letišti, kde se letadla pohybují vysokou rychlostí a každé zaváhání může vést k velkým ztrátám na životech a škodě na letadle. Analýza je tedy aplikovaná na cíle jako je prevence leteckých událostí souvisejících se škodami na zařízení nebo újmě na zdraví.

I přes to, že řídící prvky posádka, řídícího letového provozu a řidič MMP jsou modely šedé skříňky, na jejich rozhraní bylo možné odhalit vstupy a výstupy, které byly využity při určování nebezpečí v řídící struktuře.

Pro lepší vizuální přehled řídící struktury a pochopení jednotlivých komponent a jejich rolí v řídící smyčce byl použit software XSTAMPP.

Po sestrojení řídící struktury je práce zaměřena na identifikování chyb v jednotlivých řídících smyčkách a na jejich vstupech a výstupech. Díky teorii *Klasifikace příčin nehod*, podrobněji rozepsané v kapitole 1.3.3., bylo možné definovat místa v řídící smyčce, kde může dojít k nesprávné činnosti přispívající k nedostatečnému řízení. K těmto místům jsou přiřazena nebezpečí, která v nich mohou vznikat.

Před použitím modelu STAMP není nutné znát jednotlivé složité vztahy mezi komponenty v řídící struktuře. Ze znalosti teorie standardní řídící smyčky zpětné vazby jsou identifikovány

její části a řízené akce. Je možné identifikovat činnosti související s řídícím algoritmem, modelem procesu, řídícími akcemi, aktivními prvky řízení, řízeným procesem a zpětnou vazbou. Po propojení všech řídících smyček bylo možné určit jednotlivé vazby mezi řídícími prvky.

Se zvyšující se složitostí navrhovaných systémů, tradiční techniky hodnocení bezpečnosti jako je FTA a ETA se stávají nedostatečnými pro zajištění bezpečnosti systému. [13] Cílem ETA je určit pravděpodobnost události, která je výsledkem k ní chronologicky vedoucích předcházejících událostí. Tato analýza vybírá pouze události, které na první pohled mohou vést k nechtěným důsledkům. Nezkoumá systém jako komplexní model vzniku nebezpečí ze všech systémových chyb a nebezpečných událostí, které v systému mohou nastat. Pomocí ETA by sice bylo možné určit, zda informace od jiného řídícího prvku byla obdržena, např. mezi řídící letového provozu a pilotem. Avšak tato analýza nedokáže zkoumat to, že každý z těchto prvků má určitý algoritmus řízení a v závislosti na tom, kde dojde ke zpoždění informace jsou vyžadovány různé algoritmy řízení. Využitím metody STAMP bylo v práci potvrzeno, že je možné pracovat s komplexními systémy ve kterých jsou v interakci organizace, člověk a automatizovaný systém. STAMP se tedy zaměřuje na nehody založené na komplexních chybách.

Model STAMP dokázal identifikovat nebezpečí, která byla použita pro určení parametru potenciál snížení nebezpečí. Tato metoda ověřila zda došlo ke zlepšení nebezpečí po zavedené změně, tedy zda je splněno nařízení 139/2014.

3.2 VYHODNOCENÍ BEZPEČNOSTI

Řízení změn v systému je poměrně složitý proces. Bezpečnostní posouzení je prováděno během zavádění nových technologií nebo implementace změněných postupů v provozu.

Podle nařízení komise 139/2014, provozovatel letiště navrhující změnu je povinen zajistit takovou změnu, aby v rozumné míře přispěla ke zlepšení bezpečnosti. [11]

Zhodnocení bezpečnosti změn bylo provedeno na obecné řídící struktuře pro všeobecné mezinárodního letiště. Z toho důvodu výsledky pravděpodobnosti a závažnosti mohou být zkreslené. Hodnocení bezpečnosti se může lišit v závislosti na komplexnosti letiště, provozních faktorech a toho, jaké dosavadní bariéry jsou na letišti implementovány.

3.2.1 Před změnou

Závažnost byla určena jako vážnost škod nejhoršího případu spojeného s daným nebezpečím. Bariéry, které mohou snížit závažnost jsou například koncová bezpečnostní plocha navazující na konec pásu RWY, určená především ke snížení poškození letounu v případě dosednutí nebo vyjetí za konec RWY. [21] Je brána v potaz nejhorší možná situace, kdy na letišti RESA implementována není a zároveň v blízkosti se mohou nacházet překážky. Je tedy uvažována událost s katastrofickými následky.

Za účelem zhodnocení pravděpodobnosti rizika spojeného s procesy na RWY je použita tabulka s hodnotami vztaženými k počtu pohybů na letišti. Dle tabulek pravděpodobnosti rizika z kapitoly 1, kvantitativní hodnocení pravděpodobnosti je vztaženo pouze k počtu letových hodin. Z toho důvodu je použita *Tabulka 6 – Tabulka pravděpodobné míry nehodovosti*, uvedená v první kapitole. Tabulka je autorem upravena, aby odpovídala přibližnému určení pravděpodobnosti, kdy jeden pohyb povede k nehodě.

Určení pravděpodobnosti pro obecné letiště bez znalosti provozních charakteristik a zavedených bariér může být nepřesné. Při hodnocení pravděpodobnosti pro obecné letiště nejsou známy informace o bariérách pro RWY Overrun při kontaminované dráze. Takovými bariérami mohou být: délka RWY, vybavení letiště, jakým způsobem dochází k vyhlašování RWY v provozu, pravidelná kontrola RWY atd. Dále je třeba zvážit povětrnostní podmínky daného letiště, např. v situaci kdy přistání je provedeno po větru, je potřebná delší brzdná dráha a dochází k horší ovladatelnosti letadla.

Pravděpodobnost je určena pouze v závislosti na počtu pohybů na letišti. To odpovídá tabulce 10, kde je hodnocení provedeno pro zcela rozdílná letiště dle provozních podmínek a velikosti. Letiště Charles de Gaulla v Paříži s více jak dvěma miliony přistání za posledních 10 let je hodnoceno stejným způsobem jako letiště Khartoum s počtem přistáním pod sto tisíc.

Pro vyhodnocení dat statistiky nehod RWY Incursion je situace podobná. Uvažované období pro statistiku bylo v tomto případě zvoleno ještě delší, čímž se zvyšuje počet pohybů a snižuje pravděpodobnost nastání nehody. Hodnota pravděpodobnosti rizika je stanovena odhadem pouze na základě statistiky nehod daného typu v nedávné historii. Všem případům byla přiřazena nejnižší hodnota pravděpodobnosti. Jelikož je hodnocení prováděno pro obecné letiště, opět není známa situace o provozu na letišti. Např. v situaci kdy je jedna z drah na letišti určena převážně pro přistání, letadla budou dráhu po většinu času opouštět. Tehdy je pravděpodobnost vjetí na aktivní dráhu nižší.

Získání zkreslených hodnot o pravděpodobnosti a závažnosti se dalo očekávat. V případě použití diplomové práce na konkrétní letiště by oddělení zabývající se řízením bezpečnosti mělo být schopno určit přesnější hodnoty před zavedenou změnou na základě znalostí provozních faktorů a existujících bariér na daném letišti.

V diplomové práci se vychází z předpokladu, že autorem stanové indexy rizika RWY Overrun a RWY Incursion před zavedenou změnou mohou odpovídat reálné situaci, avšak jejich správnost není pro práci zásadní. Důležitou částí diplomové práce je vyhodnotit, zda zavedená změna přispěje ke zlepšení bezpečnosti.

3.2.2 Po změně

Vybrané změny nesnižují závažnost nehody. Jedná se o bezpečnostní bariéry, které mají vliv pouze na pravděpodobnost.

Na základě kapitoly *2.3.1 Hodnocení závažnosti a pravděpodobnosti*, je zjištěno, že pravděpodobnost po zavedených změnách pomocí zvolené tabulky pravděpodobnosti není možné určit. Jak již bylo uvedeno, všechny změny jsou bariéry, které snižují pravděpodobnost, ale není možné odhadnout přesnou změnu pravděpodobnosti.

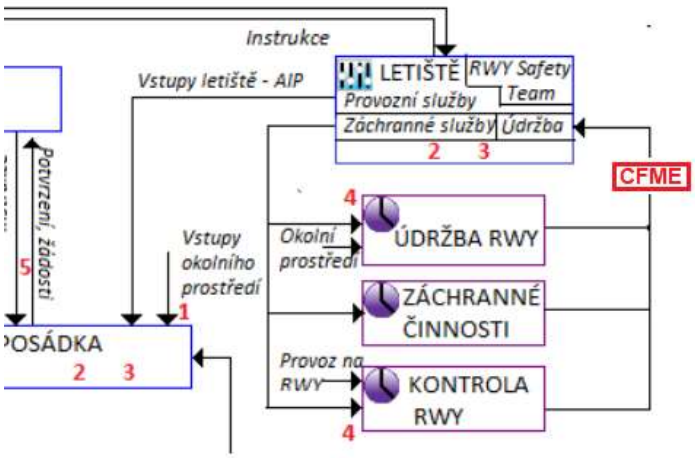
Dále je v práci určen parametr potenciál zmírnění nebezpečí, díky kterému lze vyhodnotit, jakým způsobem je řízeno nebezpečí nebo jeho následky. *Potenciál zmírnění nebezpečí* je zvolen jako náhrada za pravděpodobnost, jelikož eliminace nebo kontrola nebezpečí v konstrukci nebo činnostech má přímý a důležitý vliv na pravděpodobnost výskytu nebezpečí. Určení parametru potenciál zmírnění nebezpečí je využíván i americkou vládní agenturou NASA pro své mise, kde nelze pravděpodobnost jinak odhadnout. [9]

První krok určení potenciálu zmírnění nebezpečí je identifikace nebezpečí. Tato nebezpečí byla získána pomocí metody STAMP.

Zavedením zařízení CFME pro měření kontinuálního brzdného účinku, je snížena pravděpodobnost, že nebezpečí *kontaminovaná dráha* povede k nehodě. Dráha bude sice stále kontaminována, to změna nijak neovlivní. Díky poskytnutí přesnějších hodnot z měření brzdného účinku, snižuje se pravděpodobnosti nastání nehody, tudíž nařízení Komise 139/2014 je splněno. Změna přispěla ke zlepšení bezpečnosti.

Na obrázku 20 je zavedení CFME zobrazeno v řídící struktuře letiště. Zařízení CFME je senzorem v řídící smyčce letiště, související s řídícím procesem údržba RWY. Změna pravděpodobnosti po zavedení CFME z řídící struktury na první pohled nelze vyčíst.

Zavedení CFME je i vstupní informací řidiči MMP, za jehož vozidlo je zařízení CFME zapojeno.

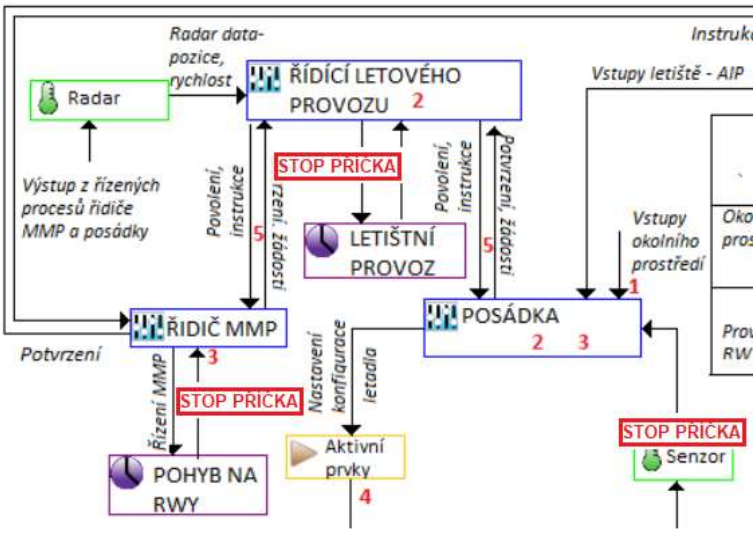


Obrázek 20 - Zavedení CFME pro měření brzdného účinku

V případě zavedení stop příčky s párovými nadzemními návěstidly na každém konci je snížená pravděpodobnost že nastane nebezpečí *Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho značení*. Příčinnými faktory tohoto nebezpečí jsou i chybějící stop příčky a jiná značení na vyčkávacích místech. Přidání stop příček na všechna vyčkávací místa tedy snižuje pravděpodobnost nastání tohoto nebezpečí. Nařízení Komise 139/2014 je splněno, díky snížení pravděpodobnosti nastání nebezpečí je i snížena pravděpodobnost, že by vedlo k RWY Incursion. Změna přispěla ke zlepšení bezpečnosti.

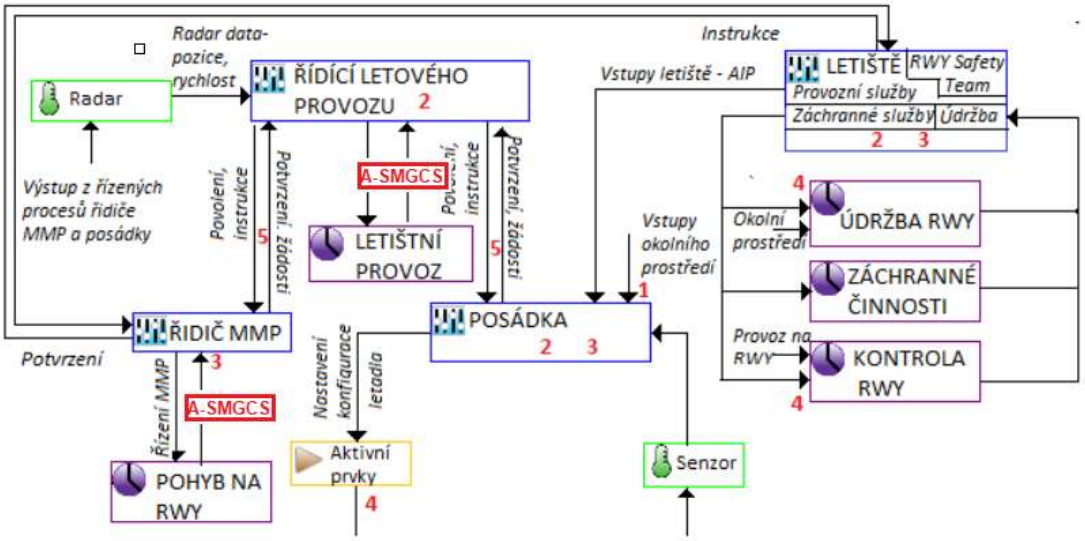
Na obrázku 21 je zavedení stop příček zobrazeno v řídící struktuře letiště. Zavedená změna je senzorem. Zavedení stop příček je také vstupní informací do řídící smyčky posádky, řídícího letového provozu a řidiči MMP.

V případě zavedení A-SMGCS úrovně I a II, dojde k snížení pravděpodobnosti, že nebezpečí *Nedostatečná nebo složitá konfigurace letiště a jeho* povede k nehodě. Nejedná se o žádný zásah do infrastruktury letiště, proto nastání tohoto nebezpečí to nijak neovlivní. Díky lepšímu povědomí řídícího letového provozu o pozici letadel na provozních plochách a výstrahy před nepovoleným vstupem na vzletovou a přistávací dráhu je snížena pravděpodobnost RWY Incursion. Nařízení komise 139/2014 je tedy splněno a zavedená změna přispěla ke zlepšení bezpečnosti.



Obrázek 21 - Zavedení stop příčky

Na obrázku 22 je zavedení A-SMGCS zobrazeno v řídící struktuře letiště. Zavedení A-SMGCS je senzorem řidiči MMP a řídícímu letového provozu, kde má zásadní roli ve své funkci poskytování povědomí o situaci na ploše.



Obrázek 22 - Zavedení A-SMGCS

Z řídící struktury se na první pohled nedala určit pravděpodobnost nebo závažnost. Splnila však svůj cíl a díky ní jsou definována nebezpečí, která jsou využita pro určení potenciálu snížení nebezpečí.

Není možné určit, zda index rizika po změně bude stále spadat do snesitelné oblasti, nebo se zlepší na oblast přijatelnou. Co je ale možné říci, že ve všech případech došlo ke zlepšení bezpečnosti a tedy nařízení 139/2014 je splněno.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit řídící strukturu v oblasti bezpečnosti civilního letectví a provedení vyhodnocení jejích změn.

Pro dosažení tohoto cíle byl použit model STAMP, který dokázal prozkoumat chyby mezi komponenty systému, problémy vznikající v jejich vzájemné interakci a chyby vnějšího rušení systému. Tento proces byl znázorněn důkladným popisem řídících smyček jednotlivých řídících prvků spojených s procesy na vzletové a přistávací dráze.

Práce poukázala na možnost sestrojení řídící struktury, zjištění příčinných faktorů a nebezpečí v případě, kdy jsou použity pouze volně dostupné zdroje.

Pro hodnocení a posouzení přijatelnosti rizik bylo pro diplomovou práci zvoleno kvalitativní hodnocení, kde kvalitativní škála pro určení pravděpodobnosti je doplněna číselnými hodnotami. Tato škála určuje pravděpodobnost jedné nehody vztažené k počtu pohybů na letišti.

Pravděpodobnost rizika určitého typu nebezpečí byla stanovena na základě statistických dat nehod z nedávné historie. Výsledek hodnocení rizik je zkreslený z důvodu aplikace metody hodnocení bezpečnosti na všeobecné letiště bez znalosti provozních faktorů a zavedených letištních bariér. Závažnost byla také stanovena pouze ze statistik jako závažnost škod nejhoršího případu spojeného s konkrétním nebezpečím. Vybrané změny nesnižují závažnost nehody. Jedná se o bariéry, které mají vliv pouze na pravděpodobnost.

Cíl práce byl tímto dosažen. V práci je popsán ucelený přehled metody STAMP a s ní spojený postup sestrojení řídící struktury aplikovaný na procesech souvisejících s vzletovou a přistávací dráhou. Pomocí sestrojené řídící struktury byla identifikována nebezpečí, která se mohou vyskytnou při provozu na RWY.

Pomocí parametru *potenciál zmírnění nebezpečí*, zavedené změny přispěly ke zlepšení bezpečnosti, a tedy nařízení Komise 139/2014 je splněno.

Tato diplomová práce je vhodným podkladem pro oddělení řízení bezpečnosti letišť, které se rozhodnou použít metodu STAMP pro identifikaci nebezpečí. V případě použití diplomové práce na konkrétní letiště, výsledky hodnocení bezpečnosti mohou přinést přesnější hodnoty na základě znalosti provozních faktorů a existujících bariér daného letiště.

Využití diplomové práce do budoucna je možné. Jak již bylo zmíněno, práce je omezena volně dostupnými zdroji informací. V případě použití na konkrétní letiště a zapojení oddělení zabývající se řízením bezpečnosti, výsledky by měly být přesnější na základě znalostí provozních faktorů a existujících bariér daného letiště.

Dalším pokračováním v práci může být zamyšlení se nad vytvořením nové matice vyhodnocení bezpečnostních rizik, kde hodnoty na vodorovné ose matice by představovaly hodnoty z tabulky *Stupeň řízení nebezpečí nebo jeho následků*. Jednotlivé úrovně v této tabulce je třeba rozdělit na takový počet úrovní, aby odpovídalo počtu hodnot dle klasifikace závažnosti bezpečnostních rizik. Je třeba vytvořit i novou matici snesitelnosti bezpečnostních rizik, která bude schopna k nově vyhodnocenému indexu rizika určit oblast snesitelnosti a doporučená kritéria.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] RISK ASSESSMENT PROCEDURE FOR CIVIL AIRPORT [online], 1-5 [cit. 2019-05-25]. DOI: http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2014.4(1).05. Dostupné z: http://www.ijtte.com/study/135/RISK_ASSESSMENT_PROCEDURE_FOR_CIVIL_AIRPORT.html

[2] BEZPEČNOST CIVILNÍHO LETECTVÍ. Ministerstvo vnitra České republiky [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: https://www.mvcr.cz/cthh/clanek/bezpecnost-civilniho-letectvi.aspx

[3] Předpisy: L13. *Letecká informační služba* [online]. Česká Republika: Řízení letového provozu, 2016 [cit. 2019-05-25].
Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-13/index.htm

[4] PORADNÍ MATERIÁL K POŽADAVKU ORO.GEN.200 SYSTÉM ŘÍZENÍ. In: Praha, 2013, Příloha 1 k Informačnímu věstníku 02/2013, CAA-FOD-01/2013.

[5] MANAGEMENT OF CHANGE. *SKYbrary* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/Management_of_Change

[6] Aviation Research and Analysis Report AR-2008-018(1) Final: Runway excursions Part 1 A worldwide review of commercial jet aircraft runway excursions. AR-2008-018(1). Australia, 2009, s. 114. ISBN 978-1-921602-25-2.

[7] Safety Assessment Methodology (SAM). EUROCONTROL [online]. [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/articles/safety-assessment-methodology-sam

[8] Kvalitativní a semikvantitativní hodnocení rizik, matice a mapa rizik. Brno. Univerzita obrany, Fakulta vojenského leadershipu, Katedra krizového řízení. Vedoucí práce Doc. Ing. Alena Oulehlová, Ph.D.

[9] LEVESON, Nancy. *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. Cambridge: Mass.: MIT Press, 2011. ISBN 978-0-262-01662-9.

[10] LEVESON, Nancy G. a John P. THOMAS. *STPA Handbook* [online]. s. 188 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: http://psas.scripts.mit.edu/home/get_file.php?name=STPA_handbook.pdf

[11] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU). In: Brusel: Úřední věstník Evropské unie, 2014, 139/2019.

[12] Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *SEMANTIC SCHOLARY* [online]. 2011 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://www.semanticscholar.org/paper/Failure-mode-and-effects-analysis-using-fuzzy-and-Liu-Liu/4a0ad321d1b4401b0828a08b5d49df4f787f4325

[13] Systém Safety Assessment based on STPA and model checking (Safety Science) – porovnání STPA a jiných technik

[14] FIALA, Petr. MODELY A METODY ROYHODOVÁNÍ. 3. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství Oeconomica, 2013. ISBN 978-80-245-1981-4.¨

[15] Náhodné procesy a modely časových řad. *Matematická biologie* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-modelovani-dynamickych-biologickych-dat--linearni-a-adaptivni-zpracovani-dat--nahodne-procesy-a-modely-casovych-rad-dekompozice--nahodne-procesy-a-modely-casovych-rad

[16] Směrnice SLS: *Přijatelné způsoby průkazu a výkladový/vysvětlující materiál k Příloze III nařízení Rady č. 3922/31*. In: Praha, 2011, CAA/S-SLS-003-0/2011.

[17] Předpisy: L8168. *Letecká informační služba* [online]. Česká Republika: Řízení letového provozu, 2016 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-8168/index.htm

[18] Boeing Annual Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. *SKYbrary* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/Boeing_Annual_Summary_of_Commercial_Jet_Airplane_Accident

[19] Reducing the Risk of Runway Excursions. *FLIGHT SAFETY FOUNDATION* [online]. , 235 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://www.iata.org/iata/RERR-toolkit/assets/Content/Contributing%20Reports/FSF_Runway_Excursions_Report.pdf

[20] A STUDY OF RUNWAY EXCURSION FROM A EUROPEAN PERSPECTIVE. *NLR Air Transport Safety Institute* [online]. 2010, (NLR-CR-2010-259), 70 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://skybrary.aero/bookshelf/books/2069.pdf?fbclid=IwAR3qMIE5iNRUCwk77eD_My6f0j0SgV4xicUeziVsvBA_YVapWM27DSzFG_U

[21] Předpisy: L14. *Letecká informační služba* [online]. Česká Republika: Řízení letového provozu, 2016 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/index.htm

[22] *Runway Safety Program pro Českou republiku [online]. Jeneč, 2016 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/aic/data/c_2016-025.pdf*

[23] Runway Incursion Avoidance [online]. FAA, 2012 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://www.faa.gov/airports/runway_safety/media/pdf/PHAK%20-%20Appendix%201%20-%20April%202012.pdf

[24] Manual on the Prevention of Runway Incursions [online]. International Civil Aviation Organization, 2007 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://www.icao.int/safety/RunwaySafety/Documents%20and%20Toolkits/ICAO_manual_prev_RI.pdf

[25] BURIÁN, Petr. IDENTIFIKACE POHYBŮ NA LETIŠTNÍ PLOŠE [online]. Brno, 2008 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=9505. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav.

[26] CFME – Continuous friction measuring equipment. *MOVENTOR* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: http://moventor.com/about-us/cfme-continuous-friction-measuring-equipment/

[27] Stop příčky. *Transcon Electronic System* [online]. Praha [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://www.transcon.cz/cz/produkty-a-sluzby/system-ams/software/item/stop-pricky

[28] *A-SMGCS.* Praha, 2006. Projekt systémy zabezpečení a letového provozu. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Katedra letecké dopravy. Vedoucí práce David Přibyl.

[29] Aviation Safety Network (ASN) [online]. Argentina, 2019 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://aviation-safety.net/

[30] HRADECKY, Simon. THE AVIATION HERALD. The Aviation Herald: Crashes, Accidents, Incidents [online]. 2015 [cit. 2019-05-25] Dostupné z: http://avherald.com/h?list=&opt=6144

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

PŘÍLOHY

Příloha A

Datum	Typ letadla	Letiště	RWY [m]	Fáze letu	POČASÍ	POSADKA	LETADLO	RWY	Poškození	Oběti
16.1.2017	747-400	Bishek, Kyrgyzstan	4204	Přistání	x	x			Zničeno	4/4 (35)
28.1.2017	737-400	Leticia, Colmbia	2010	Vzlet			x		Značný	0
8.3.2017	MD-83	Detroit, USA	3659	Přistání			x		Značný	0
31.5.2017	737-300	Manokwari, Indonesia	2000	Přistání	x				Značný	0
28.4.2016	ERJ 190	Cuenca, Ecuador	1900	Vzlet		x		x	Zničeno	0
6.6.2016	MD-11	Seoul, South Korea	3750	Přistání		x			Značný	0
5.8.2016	737-400	Bergamo, Italy	2934	Přistání		x			Zničeno	2
6.11.2015	737-900ER	Yogyakarta, Indonesia	2200	Přistání			x		Značný	0
21.12.2015	ERJ195	Kupang, Indonesia	2500	Přistání		x			Značný	0
24.12.2015	A310	Mbuji-Mayi, Congo	2000	Přistání	x				Značný	0/5 (8)
8.5.2014	737-400	Kabul, Afganistan	3500	Přistání		x			Zničeno	3
29.3.2013	A321	Lyon, France	2670	Přistání	x				Značný	0
24.3.2013	A320	Varna, Bulgaria	2517	Přistání	x	x			Značný	2
2.6.2012	727-200	Accra, Ghana	3403	Přistání	x			x	Zničeno	0/4 (12)
16.10.2012	CRJ7	Lorient, France	2230	Přistání	x	x		x	Značný	0
30.7.2011	737-800	Georgetown, Guyana	2270	Přistání		x			Zničeno	0
16.9.2011	EMB 190	Quito, Ecuador	4100	Přistání		x			Zničeno	0
22.5.2010	737-800	Mangalore, India	2450	Přistání		x			Zničeno	158 / 166
2.11.2010	737-400	Pontianak, Indonesia	2500	Přistání			x		Značný	0
9.2.2009	A321	Paris, France	2700	Přistání	x	x		x	Značný	0
16.2.2009	737-400	In Aménas, Algeria	3000	Vzlet	x				Značný	2
28.11.2009	MD-11	Shangai, China	3400	Přistání		x			Značný	3
22.12.2009	737-800	Kingston, Jamaica	2716	Přistání	x				Zničeno	14
3.1.2008	737-400	Deauville, France	2550	Přistání		x			Značný	0
16.5.2008	727-200	Pohnpei, Micronesia	1829	Přistání			x		Značný	0
10.6.2008	A310	Khartoum, Sudan	2980	Přistání		x		x	Zničeno	30/214