

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta dopravní

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Oldřich Štumbauer

Ústav letecké dopravy K621

Vedoucí diplomové práce: Ing. Andrej Lališ Ph.D., Ing. Peter Vittek Ph.D.

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Praha 2017



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Oldřich Štumbauer

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Návrh metodologie vyhodnocení ukazatele
výkonnosti v bezpečnosti pro oblast ATM**

Název tématu (anglicky): Safety Performance Evaluation Methodology in the
Domain of ATM

Zásady pro vypracování

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

- Představení indikátorů bezpečnosti a jejich význam v letecké dopravě
- Analýza současných postupů pro vyhodnocení výkonnosti v bezpečnosti poskytovatele letových navigačních služeb
- Analýza možných nástrojů pro výpočet ukazatele výkonnosti v bezpečnosti leteckých organizací
- Návrh metodologie vyhodnocení ukazatele výkonnosti v bezpečnosti poskytovatele letových navigačních služeb
- Srovnání navržené metodologie se současnými postupy

- 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: SAATY, Thomas L. Decision making with dependence and feedback: the analytic network process : the organization and prioritization of complexity.
MINISTERSTVO DOPRAVY ČR Předpis L13
EUROCONTROL Improving European ATM Safety through SMART Safety Indicators,

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Andrej Lališ
Ing. Peter Vittek, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce:

30. června 2016

(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:

30. května 2017

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

doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....
Bc. Oldřich Štumbauer
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....30. června 2016

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi pomáhali při vzniku této práce. Těm, kteří mi pomohli se získáním zdrojů a od kterých sem mi dostalo rady formou konzultací. Jmenovitě vedoucím mé práce: Ing. Andreji Lališovi Ph.D. a Ing. Peterovi Vittekovi Ph.D. z Ústavu letecké dopravy. Poděkování také patří mým přátelům a zejména mé rodině, která mě podporovala v průběhu celého mého studia.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl 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 č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorských zákonů).

Praha, 25.5.2017

.....
Bc. Oldřich Štumbauer

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Návrh metodologie vyhodnocení ukazatele výkonnosti v bezpečnosti pro oblast ATM

Bc. Oldřich Štumbauer

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

Praha, 2017

Abstrakt

Vývoj bezpečnosti řízení letového provozu se v posledních letech soustředí na využívání bezpečnostních výkonnostních indikátorů. Cílem diplomové práce je navržení metody hodnocení systému s indikátory bezpečnosti a porovnání s dnes využívanou metodou hodnocení výkonnosti bezpečnosti pro řízení letového provozu. V navržené metodě využíváme metody kvantitativního párového srovnání kritérií, metody Analytic hierarchy process a myšlenky Heinrichovi pyramidy. Využitím nově navržené metody získáváme přesnější váhové hodnocení jednotlivých indikátorů i přesnější výsledky celého hodnocení bezpečnostního systému.

Klíčová slova

aerospace performance factor, analytic hierarchy process, bezpečnost, klíčové ukazatele výkonnosti, rozhodovací modely, řízení letového provozu

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Safety Performance Evaluation Methodology in the Domain of ATM

Bc. Oldřich Štumbauer

CTU in Prague, Faculty of Transportation Science

Prague, 2017

Abstract

In a recent years is development of air traffic management safety focused on using safety key performance indicators. The goal of the master thesis is to propose method of evaluation for safety indicators system and compare it with currently used method. In new designed method we use quantitative pair comparison of criteria, analytics hierarchy process and idea of Heinrich's pyramid. New method give us accurater weighting of indicators and also accurater results of system's safety performance.

Keywords:

aerospace performance factor, air traffic management, analytic hierarchy process, decision making, key performance indicators, safety

Obsah

1	Úvod	14
2	KPI - Klíčové ukazatele výkonnosti	15
2.1	SKPI - Klíčové ukazatele bezpečnosti	15
3	Události v letovém provozu a jejich závažnost	17
3.1	Závažnost událostí	18
3.2	Události	21
3.2.1	Kolize - za letu, na zemi, kolize s terénem	22
3.2.2	Událost ve vzduchu	22
3.2.3	Událost na zemi	23
3.2.4	Výpadek ATM systémů	24
4	Váhové ohodnocení	26
4.1	Metody váhových ohodnocení	26
4.1.1	Metoda pořadí	26
4.1.2	Bodovací metoda	27
4.1.3	Metoda párového srovnání kritérií	27
4.1.4	Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií	28
4.2	Příklad výpočtu vah kritérií	31
4.3	Normování vah	32
5	Analytic hierarchy process - AHP	33
5.1	Implementace AHP	34
5.1.1	Definování problému	34
5.1.2	Vytvoření hierarchické struktury	34
5.1.3	Párové srovnání	35

5.1.4	Normování prvků	35
5.1.5	Kombinace odhadnutých vah	35
5.2	Příklad využití AHP	36
5.3	Výhody a nevýhody AHP	38
6	The Aerospace Performance Factor (APF)	39
6.1	Metodologie APF	40
7	Vazby v systému	42
7.1	Započtení vlivu do váhy prvku	43
8	Metodologie navrženého hodnocení a určení vah prvků v systému	45
8.1	Výběr KPI	45
8.2	Výběr metody hodnocení	45
8.3	Vytvoření dotazníku	46
8.4	Vyhodnocení dotazníků	47
8.5	Tvorba vazeb v systému	52
8.6	Aplikace AHP	52
8.7	Vliv závažnosti události na jejím hodnocení	55
9	Aplikace metody APF a navržené metody na reálná data	58
9.1	Aplikace APF	58
9.2	Aplikace navržené metody	59
10	Vyhodnocení	72
10.1	Dotazník	72
10.2	Výběr metody ohodnocení prvků systému	72
10.3	Započtení vlivu indikátoru a závažnosti událostí	75
10.4	Vyhodnocení celkové bezpečnosti systému	75
11	Závěr	78
	Literatura	81
12	Příloha	84
12.1	Data o počtech událostí dle indikátoru a závažnosti	84

Seznam obrázků

2.1	Schéma systému měření KPI [13]	16
3.1	Rozdělení závažnosti	21
4.1	Schéma hierarchické struktury s následně normovanou váhou	32
5.1	Příklad 3 stupňové hierarchické struktury AHP systému [5]	35
5.2	Diagram výběru bytu metoda AHP	36
6.1	Hierarchické schéma událostí používané v APF [1]	40
6.2	Hierarchické schéma událostí používané v APF [1]	41
7.1	Heinrichova pyramida [14]	43
7.2	Ukázka vazeb v systému	44
7.3	Ukázka změny váhového hodnocení vzhledem k vazbám v systému. Číselné ohodnocení je pouze ilustrační.	44
8.1	Saatyho matice a kontrola konzistence hodnocení.	46
8.2	Váhové hodnocení alternativ <i>metodou kvantitativního párového srovnání kritérií.</i>	50
8.3	Váhové hodnocení alternativ metodologií APF <i>metodou párového srovnání kritérií.</i>	51
8.4	Kovariační matice vlivů v systému	53
8.5	Váha vlivu (bez normalizace)	54
8.6	Schéma AHP systému (počet alternativ je jen znázorněn)	54
9.1	Hodnota APF pro indikátor <i>Narušení RWY letadlem</i>	60
9.2	Schéma stupňů výpočtu	61
9.3	Grafické vyjádření jednotlivých stupňů navžené metody pro indikátor <i>Narušení RWY letadlem</i>	63
9.4	Vývoj bezpečnosti systému - srovnání	64

9.5	Vývoj bezpečnosti systému dle metody APF - zobrazení složek hodnocení	65
9.6	Vývoj bezpečnosti systému dle I. stupně navržené metody - zobrazení složek hodnocení	66
9.7	Vývoj bezpečnosti systému dle II. stupně navržené metody - zobrazení složek hod- nocení	67
9.8	Vývoj bezpečnosti systému dle III. stupně navržené metody - zobrazení složek hod- nocení	68

Seznam tabulek

8.1	Klasy (funkční bloky) událostí	47
8.2	Klasy C_1 Kolize	47
8.3	Klasy C_2 Událost ve vzduchu	47
8.4	Klasy C_3 Událost na zemi	48
8.5	Klasy C_4 Porucha ATM systémů	48
8.6	Klasy Hodnocení klasifikace závažnosti	48
8.7	Hodnocení funkčních bloků (klastřů) nově navrženou metodou - využití metody kvantitativního párového srovnání kritérií 4.1.4	49
8.8	Hodnocení funkčních bloků (klastřů) metodou párového srovnání kritérií 4.1.3 užívanou v APF	49
8.9	Poměr důležitosti kritérií.	55
8.10	Vektory vah alternativ	56
8.11	Finální vektory alternativ - 7 možných poměrů vah kritérií viz. tabulka 8.9.	57
8.12	Váhy závažnosti událostí	57
9.1	Data Narušení RWY letadlem	69
9.3	Výsledky APF pro indikátor Narušení RWY letadlem	70
9.4	Výsledky navržené metody pro indikátor Narušení RWY letadlem	71
10.1	Porovnání metod hodnocení	73
10.2	Změna pořadí důležitosti alternativ vzhledem k navržené metodě	74
10.3	Tabulka změny důležitosti alternativ při zahrnutí vah vlivu	76

Seznam příloh

- 1 Schéma hierarchického systému indikátorů

Seznam použitých zkratk

APF	Airspace Performance Factor
ADREP	Accident/Incident Data Reporting system
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
ATC	Air Traffic Control
ATFM	Air traffic flow management
ATM	Air Traffic Management
ATO	Air Traffic Organization
ATS	Air Traffic Services
CFIT	Controlled Flight Into Terrain
ECCARS	The European Co-ordination Centre for Aviation Incident Reporting System
ESARR	European Safety Regulatory Requirement
EU	European Union
FAA	United States Federal Aviation Administration
HMI	Human machine interface
ICAO	International Civil Aviation Organization
KPI	Key performance indicators
LN	Accident
NCFIT	Near Controlled Flight Into Terrain
RWY	Runway
SAFREP	Safety Data Reporting and Data Flow Task Force
SKPI	Safety key performance indicators
SMS	Safety Management System
TWY	Taxiway
USN	United States Navy

Kapitola 1

Úvod

Diplomová práce se zabývá možnostmi zpracování bezpečnostních dat v rámci systému pracujícím s klíčovými ukazateli výkonnosti (KPI). Je zaměřena na letecký průmysl, speciálně na události v rámci řízení letového provozu. Metodu navrženou v této práci, nebo její části, je ale možno aplikovat na další odvětví, a to nejen v rámci hodnocení výkonnosti bezpečnosti.

Bezpečnost letecké dopravy se neustále zvyšuje. Základním nástrojem pro zvyšování bezpečnosti je vyšetření každé letecké nehody a zavedení nápravných prostředků, které podobné nehodě v budoucnu zabrání. Dohled regulátorů, technický pokrok v konstrukci a neustálé zlepšování postupů a zvyšování bezpečnosti pomohlo počet leteckých nehod snížit na minimum.

Další prostor pro zvýšení bezpečnosti se nabízí v systémové oblasti. Trendem je odhalení problému dříve, než dojde k fatální letecké nehodě. Analýzami systému, definováním jednotlivých prvků a jejich vazbami mezi sebou můžeme odhalit vnitřní problém, který by v budoucnu mohl vést k větším a větším problémům a vyústit ztrátou na životech nebo škodě na majetku.

Klíčem těchto analýz jsou události v leteckém provozu, které na první pohled nevypadají závažně. Jejich pravou důležitost ale lze odhalit analýzou jejich četností a výsledného možného dopadu.

Využíváme při tom metody vícekriteriálního rozhodování Analytic hierarchy process (AHP) a párových srovnání prvků v systému. Cílem této práce je navržení metody hodnocení a prioritizace bezpečnostních událostí. Metoda bude následně porovnána se současnou metodou Aerospace performance factor (APF), která je využívána organizací EUROCONTROL. V práci využívám data z reálného provozu, aby výsledek měl co největší vypovídající hodnotu.

Kapitola 2

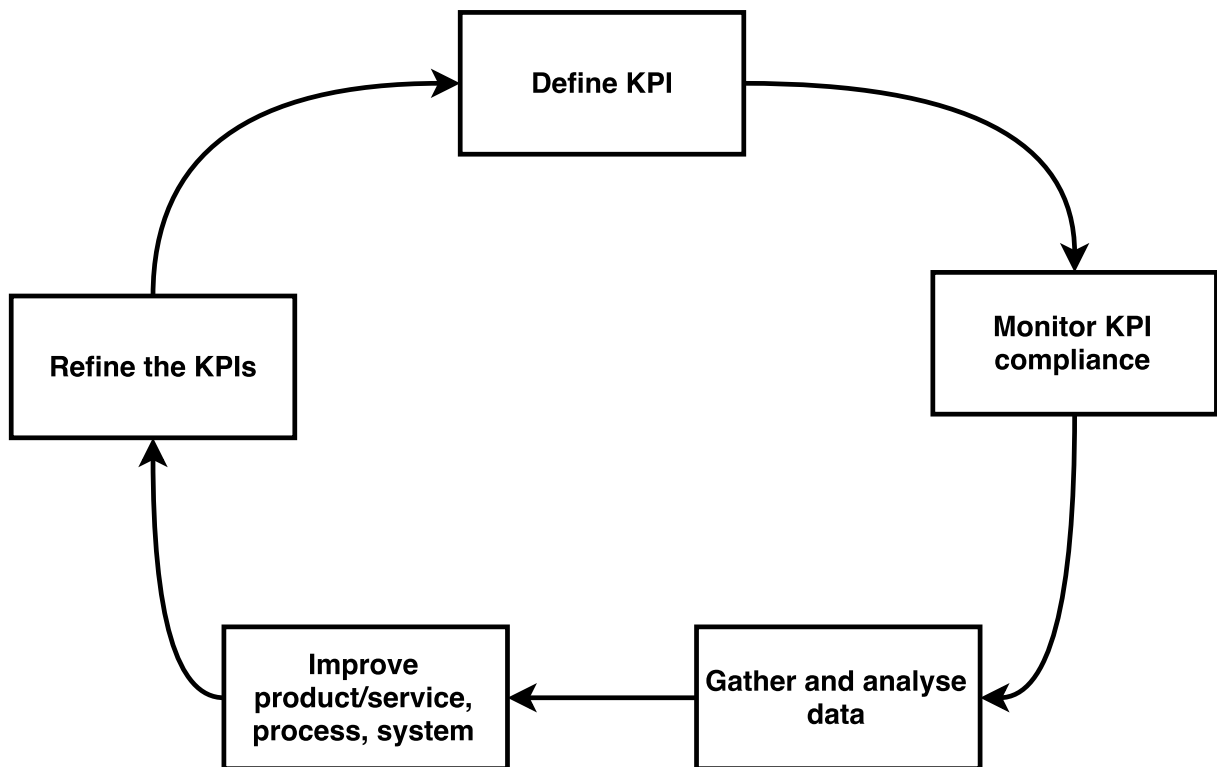
KPI - Klíčové ukazatele výkonnosti

Klíčové ukazatele výkonnosti (Key performance indicators - KPI) jsou indikátory výkonnosti systému, procesů v něm nebo v daném úseku tohoto systému. Jednotlivým událostem v systému přiřazujeme indikátory s číselným ohodnocením. Každý indikátor má svou váhu a my můžeme sledovat trend jakým se tento indikátor a daná část systému vyvíjí. V případě, že trend je pro nás nepříznivý, do systému zasáhneme a následným pozorováním dotčených indikátorů hodnotíme, zda zásah do systému byl dostatečný.

Pro systém výkonnostních ukazatelů je nejdůležitější sběr dostatečného množství relevantních dat po co nejdelší časové období. Delší časové období a větší množství dat pomáhají k přesnější analýze systému. Vyhodnocením ukazatelů najdeme problémovou oblast systému, na kterou je vhodné se zaměřit. Při vyhodnocení můžeme zjistit, že některé ukazatele nám neposkytují požadované informace. Lze je tedy modifikovat. Pokud to nelze, je možné je úplně zrušit a nahradit jinými. Pokud informace není dostatečná, je možné přidat další indikátory. Dále pokračujeme ve sběru dat a při následném vyhodnocení celý proces opakujeme. Jde o kontinuální proces, jehož výsledky se projeví až po delší době. [13]. Tento proces je znázorněn na obrázku 2.1

2.1 SKPI - Klíčové ukazatele bezpečnosti

Výkonnost systému vzhledem k bezpečnosti měříme a vyjadřujeme pomocí *Ukazatelů bezpečnosti systému – SKPI*, fungujícím na stejném principu jako KPI. Sledují procesy a události v systému mající vliv na úroveň bezpečnosti. Výsledkem je ucelená informace o bezpečnosti v jednotlivých částech systému, tak i bezpečnostní úroveň celého systému.



Obrázek 2.1: Schéma systému měření KPI [13]

SKPI se využívají v nejrůznějších odvětvích. Jedná se o taková odvětví, kdy narušení bezpečnosti může skončit velkými finančními nebo lidskými ztrátami. Mezi tato odvětví rozhodně patří letectví. V letectví je bezpečnost jedním z nejdůležitějších požadavků. Problém často může vést k velkým ztrátám na životech nebo, v lepším případě, velkým finančním škodám na majetku. Letecká neštěstí jsou také zajímavým tématem pro laickou veřejnost, a proto jsou letecké nehody a incidenty pod drobnohledem novinářů.

Vytvoření SKPI je dalším pokračováním mechanismů zvyšujících bezpečnost v letectví, které se již od počátku letectví vyvíjejí a kontinuálně zvyšují bezpečnost v celém odvětví.

Kapitola 3

Události v letovém provozu a jejich závažnost

Organizace ICAO shromažďuje informace o leteckých událostech, které se staly na území členských států. Tyto informace jsou důležité pro zvýšení bezpečnosti a prevenci. Systém, který ICAO ke shromažďování dat vytvořilo se nazývá *Accident/Incident Data Reporting system* (ADREP). Systém přijímá, ukládá a poskytuje informace členským státům ICAO. [18] Pro zjednodušení práce s daty mají hlášení o událostech jednotnou formu dle ICAO Doc. 9176.

Na systému ADREP je založena jednotná softwarová platforma koordinačního centra pro EU *The European Co-ordination Centre for Aviation Incident Reporting System* (ECCAIRS). Státy podléhající EUROCONTROLu a státy přidružené zasílají hlášení ve formátu daném *European Safety Regulatory Requirement* (ESARR) [8]. Ten zajišťuje jednotný systém hlášení a o systému hodnocení v rámci smluvních států EUROCONTROLu. Klasifikace událostí souvisejících s ATM jsou uvedeny v dokumentu ESARR 2. Formát ESARR odpovídá danému ICAO ADREP/ECCAIRS formátu. Ze systému ADREP/ECCAIRS mohou osoby mající do něj přístup čerpat data a je také umožněno využití analytických nástrojů, které jsou v tomto systému implementovány. V rámci hlášení všechny státy aplikují stejné hodnocení a kategorizaci dat pro zlepšení jejich následné využitelnosti [12]. Hodnocení se upravuje na základě poznatků od smluvních států. Události uvažované v této práci a jejich klasifikace odpovídají standardu ESSAR 2. Výběr událostí je dán dostupnými daty. Při hodnocení události je využívána i míra závažnosti události.

3.1 Závažnost událostí

Závažnost události klasifikuje událost v závislosti na jejím vlivu na bezpečný provoz letadla. Systém hodnocení závažnosti ATM událostí je rozdělen do šesti kategorií, které níže uvádíme spolu s jejich definicemi.

Letecká nehoda Accident

"Událost spojená s provozem letadla, která se, v případě pilotovaného letadla, stala mezi dobou, kdy jakákoliv osoba nastoupila do letadla s úmyslem vykonat let a dobou, kdy všechny takové osoby letadlo opustily, nebo která se, v případě bezpilotního letadla, stala mezi dobou, kdy letadlo je připraveno k pohybu pro účely letu a dobou, kdy zastaví na konci tohoto letu a hlavní pohonná soustava je vypnuta a při které:" [7] [8]

- "některá osoba byla smrtelně nebo těžce zraněna následkem: přítomnosti v letadle, nebo přímého kontaktu s kteroukoli částí letadla, včetně částí, které se od letadla oddělily, nebo přímým působením proudu plynů (vytvořených letadlem), s výjimkou případů, kdy ke zranění došlo přirozeným způsobem, nebo způsobila-li si je osoba sama nebo bylo způsobeno druhou osobou, nebo jestliže šlo o černého pasažera ukrývajícího se mimo prostory normálně používané pro cestující a posádku;" [7] [8]
- "letadlo bylo zničeno, nebo poškozeno tak, že poškození nepříznivě ovlivnilo pevnost konstrukce, výkon nebo letové charakteristiky letadla a vyžádá si větší opravu nebo výměnu postižených částí, s výjimkou poruchy nebo poškození motoru, jestliže toto poškození je omezeno pouze na jeden motor (včetně jeho příslušenství nebo motorových krytů); vrtulí (rotorových listů), okrajových částí křídel, antén, snímačů, lopatek, pneumatik, brzd, podvozku, aerodynamických krytů, palubní desky, krytů přistávacího zařízení, čelních skel, potahu letadla (jako jsou malé vrypy nebo proražení) nebo nevýznamná poškození listů hlavního rotoru, listů ocasního rotoru, přistávacího zařízení a těch poškození, která jsou zapříčiněna krupobitím nebo střetem s ptákem (včetně poškození krytu radarové antény na letadle)" [7] [8]
- "letadlo je nezávěsné, nebo je na zcela nepřístupném místě" [7] [8]

Vážný incident Serious incident

"Vážný incident je incident, jehož okolnosti naznačují vysokou pravděpodobnost letecké nehody, jenž je spojený s provozem letadla a který 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, nebo který se, v případě bezpilotního letadla, stal mezi dobou, kdy letadlo je připraveno k pohybu pro účely letu a dobou, kdy zastaví na konci tohoto letu a hlavní pohonná soustava je vypnuta. Rozdíl mezi leteckou nehodou a vážným incidentem je pouze v následních.[7] [8]

Zde uvádíme příklad událostí, které spadají pod stupeň závažnosti Vážný incident. Výčet není kompletní, složí pouze k obecné představě závažnosti této třídy:[8] [7]

- nebezpečná sblížení vyžadující úhybný manévr k zabránění srážce nebo nebezpečné situaci, nebo situaci, kdy by byl úhybný manévr vhodný;
- srážky, které nejsou klasifikované jako LN;
- zabránění téměř jistému řízenému letu do terénu;
- přerušovaný vzlet na uzavřené nebo obsazené dráze, na pojezdové nebo nepřidělené dráze;
- vzlet z uzavřené nebo obsazené dráhy, z pojezdové nebo nepřidělené dráhy;
- přistání nebo pokusy o přistání na uzavřenou nebo obsazenou dráhu, na pojezdovou nebo nepřidělenou dráhu;
- hrubá chyba v technice pilotáže ve snaze dosáhnout předpokládaných (vypočítaných) výkonů během vzletu nebo počátečního stoupání;
- požár a/nebo dým v pilotním prostoru, prostoru pro cestující, v nákladových prostorech nebo požár motoru, i když byl tento požár uhašen hasícími prostředky;
- událost, při které posádka musí nouzově použít kyslík;
- porušení konstrukce letadla nebo destrukce motoru včetně celkových selhání turbínového motoru, při nichž dojde k protržení jeho krytu, které nejsou klasifikovány jako LN;
- vícenásobné chybné funkce jednoho nebo více letadlových systémů, které vážně ohrožují let;
- zdravotní neschopnost člena(ů) posádky za letu;
- stavy množství zásoby paliva nebo jeho dodávky, vyžadující hlášení nouzové situace pilotem, jako je nedostatek paliva, vyčerpání paliva, přerušování dodávky paliva do motoru nebo neschopnost využít veškeré použitelné palivo na palubě;
- narušení dráhy hodnocené stupněm závažnosti A. Informace o klasifikaci závažnosti jsou obsaženy v Manual on the Prevention of Runway Incursions [22];

- incidenty při vzletu a přistání, jako vyjetí do stran nebo za dráhu, přistání v předpolí;
- selhání systémů, nebezpečné meteorologické jevy, let za hranicemi provozních omezení a jiné události, které způsobily nebo mohly způsobit těžkosti při řízení letadla;
- selhání více než jednoho systému tam, kde je vyžadováno zálohování, pro vedení letadla a navigaci;
- neúmyslné nebo v případě nouzového opatření záměrné uvolnění zavěšeného nákladu nebo jiného nákladu, který je přepravován vně letadla."

Incident Incident

"Událost jiná než letecká nehoda, spojená s provozem letadla, která ovlivňuje nebo by mohla ovlivnit bezpečnost provozu. Jedná se o chybnou činnost osob nebo nesprávnou činnost leteckých a pozemních zařízení v leteckém provozu, jeho řízení a zabezpečování, jejíž důsledky však zpravidla nevyžadují předčasné ukončení letu nebo provádění nestandardních (nouzových) postupů. Incidenty v letovém provozu se rozdělují podle příčin na:[7] [8]

- letové,
- technické,
- v řízení letového provozu
- v zabezpečovací technice
- jiné."

Mezi příčiny incidentů se zahrnují i nepředvídané přírodní jevy (výboje statické elektřiny, střety s ptáky apod.), pokud neohrožily bezpečnost letu do té míry, že byly hodnoceny jako vážný incident nebo letecká nehoda.[7]

Incidenty lze dále rozdělit na:

- **Významný incident Major Incident** "Incident spojený s provozem letadla, při kterém bylo letadlo ohroženo poté, kdy téměř došlo ke srážce letadla se zemí nebo s překážkou. Bezpečnost provozu byla ohrožena bez vlivu ATC." [8]
- **Podstatný incident Significant Incident** "Incident, jehož okolnosti ukazují na to, že mohlo dojít k letecké nehodě, vážnému incidentu nebo významnému incidentu. Bezpečnost provozu byla ohrožena nebo bylo v okolí jiné letadlo." [8]

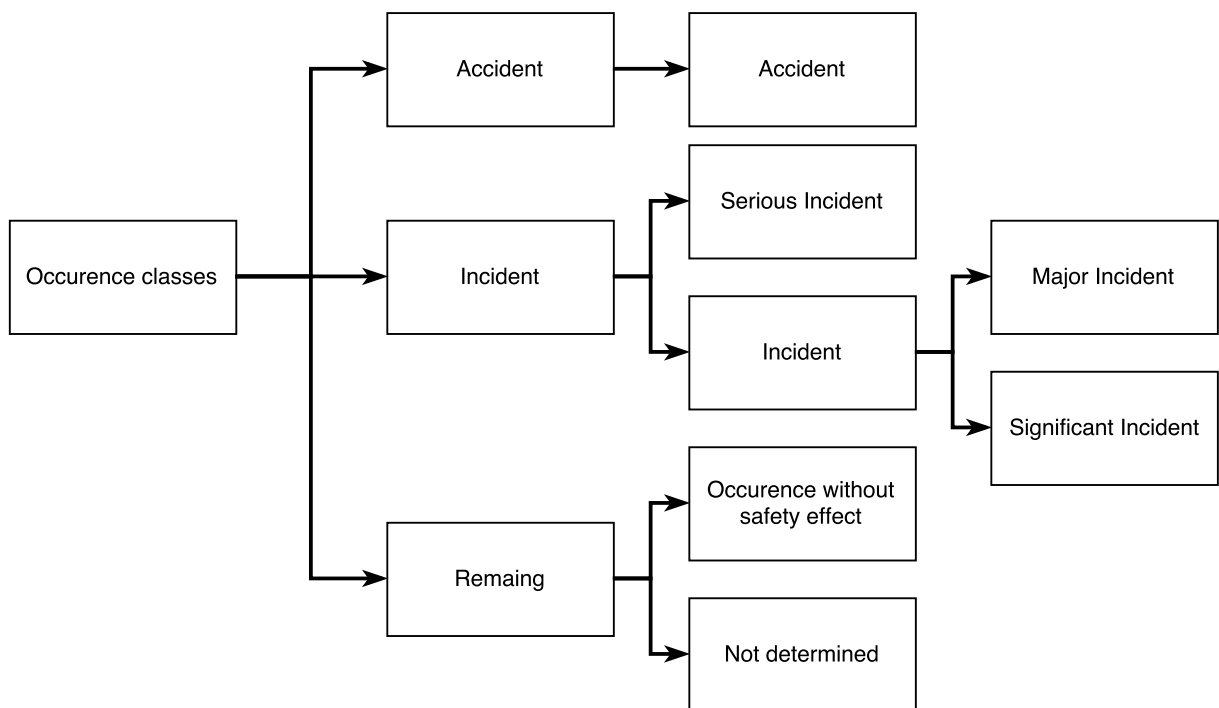
Událost bez vlivu na bezpečnost Occurence without safety effect

"Událost, která by mohla souviset s ohrožením bezpečnosti, ale která nesplňuje požadavky na ohlášení. Událost vyhodnocená jako incident, která byla po přezkoumání přehodnocena a její závažnost degradována." [8]

Není stanoveno Not determined

"Závažnost události nebyla stanovena." [8]

Pro potřeby této práce rozdělíme události pouze na: letecké nehody, incidenty a ostatní události viz. obrázek 3.1. Podrobnější dělení by bylo příliš komplexní a neúměrně by zvýšilo rozsah této práce. Cílem této práce je ilustrovat principy a funkce a zvolené rozdělení je pro potřeby této práce dostatečné.



Obrázek 3.1: Rozdělení závažnosti

3.2 Události

Výběr událostí, používaných jako indikátory proběhl s ohledem na jejich dostupnost a vypovídající hodnotu. Dalším parametrem výběru bylo, abychom z celého systému měli od každého druhu významných událostí dostatečný reprezentační vzorek. Indikátory tedy tvoří různé události od kolizí, přes události na RWY až po problémy související s ATM jako výpadky systémů nebo narušení

bezpečnosti protiprávním činem. [6]. Posledním důležitým parametrem bylo, aby bylo možné získat dotatečné množství dat. To se až na výjimky podařilo splnit (relevantní data se nepodařilo zajistit u indikátorů *Narušení RWY vozidlem* a *Neschopnost poskytovat služby ATFM*). V následující části vyjmenováváme indikátory používané v této práci. Uvádíme číselný ECCAIRS identifikátor, české název, anglický název a definici.

3.2.1 Kolize - za letu, na zemi, kolize s terénem

2050100

Srážka letadla s jiným letadlem ve vzduchu (Airborne Collision with Aircraft)

Událost, při které se letadlo za letu dostane do přímého kontaktu s jiným letadlem nebo létajícím objektem.

2050200

Řízený let do terénu (Terrain/Obstacle Conflict (CFIT))

Nehoda, při které letadlo pod kontrolou posádky narazí do země a nebo do vofy bez toho, aby si část posádky předem uvědomovala hrozící nehodu.

2050103

Srážka mezi dvěma letadly pohybujícími se po zemi (Collision between two aircraft both moving on the ground)

Kolize mezi dvěma letadly pohybujícími se po zemi.

2050408

Srážka letadla se zaparkovaným letadlem (Aircraft collision with parked aircraft)

Kolize letadla se zaparkovaným letadlem

3.2.2 Událost ve vzduchu

2180100

Nedostatečný rozestup letadel ve vzduchu, kdy téměř došlo ke srážce (Near collisions - loss of separation between aircraft)

Událost, kdy dojde mezi letadly k porušení předepsaných minimálních rozestupů.

2180201

Situace, kdy téměř došlo k řízení letu do terénu (Near Collision with Level)

Terrain NCFIT)

CFIT se podařilo zabránit náhodou nebo provedením úhybného manévru.

2020500

Odchýlení letadla od povolení ATC (Deviation from an air traffic control clearance)

Událost, při které letoun nepostupuje dle podmínek stanovených ATC nebo jiným příslušným orgánem.

2020700

Odchýlení letadla od příslušných platných předpisů uspořádání letového provozu (Deviation from ATM Regulation)

Událost, při které letoun nevykonává let v souladu s příslušnými platnými předpisy ATM.

2020400

Narušení vzdušného prostoru (Controlled/restricted airspace infringement)

Vniknutí do řízené / zakázané části vzdušného prostoru bez předcházejícího povolení příslušných orgánů.

2020702

Odchýlení od příslušných předpisů stanovené výbavy a provozu letadla vzhledem k ATM (Deviations from ATM mandatory carriage of aircraft equipment)

Vykonání letu bez potřebných povolení, při kterých letadlo nemá na palube předepsané vybavení nebo situace, kdy člen posádky nemá licenci k používání toho vybavení.

3.2.3 Událost na zemi

2200101

Narušení RWY letadlem (Runway incursion by an aircraft)

Neschválená přítomnost letadla na RWY

2200102

Narušení RWY vozidlem (Runway incursion by a vehicle/equipment)

Neschválená přítomnost vozidla / zařízení na RWY

2200103

Narušení RWY osobou (Runway incursion by a person)

Neschválená přítomnost osoby na RWY

2070100

Vyjetí letadla z RWY do strany (Runway excursion to the side)

Vyjetí letadla přes okraj RWY

2270100

Ovlivnění letadla laserem (Interference by LASER)

Oslnění laserem

3.2.4 Výpadek ATM systémů

4050101

Neschopnost poskytovat služby ATS (Inability to provide ATS services)

Událost, při které pozemní prvky ATS systému nejsou schopné provozu nebo jsou nedostatečné pro zabezpečení bezpečného provozu a zabezpečení letecké navigační služby.

4050102

Neschopnost poskytovat služby ASM (Inability to provide AirSpace Management services)

Událost, při které pozemní prvky ASM systému nejsou schopné provozu nebo jsou nedostatečné pro zabezpečení bezpečného provozu a zabezpečení letecké navigační služby.

4050103

Neschopnost poskytovat služby ATFM (Inability to provide Air Traffic Flow Management services)

Událost, při které pozemní prvky ATFM systému nejsou schopné provozu nebo jsou nedostatečné pro zabezpečení bezpečného provozu a zabezpečení letecké navigační služby.

4050200

Výpadek služby komunikace ATM (Air Traffic Management/Communication failure of communication)

Situace, při které došlo ke ztrátě, částečné ztrátě nebo znehodnocení spojení s pozemním systémem ATM tak, že to zabránilo plnění požadavku na nepřetržité spojení.

4050300

Výpadek pozemního systému služby dohledu (Failure ATM Surveillance Equipment)

Situace, při které došlo ke ztrátě, částečné ztrátě nebo znehodnocení přehledového pozemního systému ATM tak, že to zabránilo plnění požadavku na dozorové služby řízení letového provozu.

4050400

Výpadek služby zpracování dat (Failure of data processing)

Situace, při které došlo ke ztrátě, částečné ztrátě nebo znehodnocení zpracování dat pozemního systému ATM tak, že to zabránilo plnění požadavku na výmenu dat v rámci ATS a nebo mezi ATS a letadlem.

4050600

Výpadek pozemního systému služby navigace (Failure ATM Navigational Equipment)

Situace, při které došlo ke ztrátě, částečné ztrátě nebo znehodnocení navigačního zařízení pozemního systému ATM, tak, že to zabránilo plnění požadavku na poskytování navigačních informací letadlu.

4060000

Výpadek bezpečnosti systému ATM/mimořádná událost s vlivem na bezpečnost (Air Traffic Management emergency/security situation)

Situace, při které došlo ke ztrátě, částečné ztrátě nebo narušení ATM služeb v důsledku nepředvídaného vnějšího nebezpečí, protiprávního činu nebo mimořádné události (oheň, bombový útok, sabotáž na ATM zařízení).

4050500

Výpadek služby pomocných informací (Failure ATM HMI and Support Systems)

Situace, při které došlo ke ztrátě, částečné ztrátě nebo narušení ATM služeb v důsledku poruchy HMI systémů a dalších podpůrných systémů.

Kapitola 4

Váhové ohodnocení

4.1 Metody váhových ohodnocení

Nejdůležitější částí při analýze bezpečnostní výkonnosti systému je rozhodovací proces důležitosti hodnotících kritérií a alternativ. Hodnocením získáme váhy jednotlivých prvků a klastrů, ve kterých jsou tyto prvky sdruženy. Čím je prvek významnější, tím je jeho váha větší. Díky ohodnocení určíme číselný význam (důležitost) prvků v systému a můžeme je porovnat mezi sebou samými nebo určit důležitost závislosti jednoho prvku na druhém. Toto hodnocení musí být konzistentní napříč celým systémem, který hodnotíme. Při hodnocení se opíráme zejména o faktické parametry, ale zahrnujeme i dodatečnou subjektivní informaci, která je dána zkušenostmi a intuicí rozhodovatele. [2]

Váhu prvků v systému vyjadřujeme pomocí vektoru vah:

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_k), \quad \sum_{i=1}^k v_i = 1, \quad v_i \geq 0 \quad (4.1)$$

Čím větší je důležitost prvku, tím větší je i jeho váha. Pro získání hodnot vah můžeme využít některou z metod k tomu určených. Tyto metody představíme v této kapitole. Pomocí těchto metod můžeme snadněji určit váhy prvků na základě souboru informací, které získáme od hodnotitele.

4.1.1 Metoda pořadí

První metodou je *metoda pořadí* [2]. Jedná se o stanovení pořadí prvků podle jejich důležitosti od nejdůležitější po tu nejméně důležitou tj. podle jejich ordinální informace. Nejdůležitějšímu prvku je přiřazeno číslo k (vyjadřující zároveň i počet prvků). Každý další prvek dostane číslo $k - 1, k -$

2, ..., 1. Nejméně důležitý prvek dostane číslo 1. Váha i -tého kritéria je vypočtena pomocí vzorce:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} \quad (4.2)$$

kde b_i = váha i -tého kritéria a v_i = váha i -tého kritéria

4.1.2 Bodovací metoda

Bodovací metoda již předpokládá, že rozhodovatel má dostatek znalostí/zkušeností na to, aby byl schopen kvantitativně ohodnotit důležitost jednotlivých prvků. Při této metodě je dána hodnotící stupnice (např. 0 - 100) a rozhodovatel ohodnotí prvek číslem v daném rozsahu. Čím vyšší číslo, tím vyšší hodnota na stupnici. Pokud rozhodovatel uzná, že dva prvky mají stejnou důležitost, je možné tyto dva prvky ohodnotit stejným číslem. Zároveň není povinností používat k hodnocení pouze celá čísla. Kvantitativní hodnocení umožní lépe ohodnotit prvky v systému ale zároveň je výrazně náročnější v případě velké hodnotící stupnice. Výsledný výpočet váhy má stejný postup a vzorec jako *metoda pořadí*. [2]

4.1.3 Metoda párového srovnání kritérií

Další možností je *metoda váhového srovnání kritérií*. Rozhodujeme, které ze dvou kritérií (prvků) má větší důležitost. Při této metodě srovnáváme po párech postupně všechny prvky mezi sebou tj., každý s každým. Počet srovnání je tedy:

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2} \quad (4.3)$$

Při zpracovávání této metody můžeme využít takzvaného Fullerova trojúhelníku. Jednotlivé prvky očíslováme $i = 1, 2, 3, \dots, k$ a seřadíme je do dvojřádků. První řádek je složen jen z opakující se

aktuální hodnoty i , druhý z hodnot $i + 1, i + 2, \dots k$. Tento trojúhelník znázorníme schématem 4.4:

$$\begin{array}{cccc}
 1 & 1 & 1 & \dots 1 \\
 2 & 3 & 4 & \dots k \\
 & & & \\
 & 2 & 2 & \dots 2 \\
 & 3 & 4 & \dots k \\
 & & & \dots \\
 & & & \\
 & k - 2 & k - 2 & \\
 & k - 1 & k & \\
 & & & \\
 & & & k - 1 \\
 & & & k
 \end{array} \tag{4.4}$$

Následně porovnáváme jednotlivé prvky mezi lichým a sudým řádkem a vyznačíme ty, které jsou pro nás důležitější. Podle počtu celkového součtu preferencí každého prvku následně můžeme vyhodnotit váhu důležitosti jednotlivých prvků.

$$v_i = \frac{n_i}{N}, \quad i = 1, 2, \dots, k. \tag{4.5}$$

Tato metoda je pro rozhodovatele jednoduchá co se týče vyžadované informace. Lze v ní i připustit situaci, že některá kritéria mají stejnou důležitost nebo naopak jsou absolutně nesrovnatelná. Přesnost hodnocení stoupá s množstvím hodnocených kritérií a počtem hodnotitelů, kdy pro výsledek je průměrem hodnocení všech hodnotitelů. Metoda párového srovnání kritérií byla využita v rámci metodologie hodnocení APF o kterém mluvíme v kapitole 6. [1] [3]

4.1.4 Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií

V této metodě, podobně jako v metodě párového srovnávání kritérií, porovnáváme dvojice prvků. Při tomto srovnávání využíváme stupnici 1, 2, ..., 9 a její převrácené hodnoty. Pro jednotlivé hodnoty stupnice používáme následné verbální vyjádření: [2, 4, 5]:

- 1 – rovnocenná kritéria i a j
- 3 – slabě preferováno kritérium i před j
- 5 – silně preferováno kritérium i před j
- 7 – velmi silně preferováno kritérium i před j

9 – extrémně preferováno kritérium i před j

a

1 – rovnocenná kritéria i a j

1/3 – slabě preferováno kritérium j před i

1/5 – silně preferováno kritérium j před i

1/7 – velmi silně preferováno kritérium j před i

1/9 – extrémně preferováno kritérium j před i

V případě nutnosti jemnějšího rozlišení je možno zvolit i mezistupňové hodnoty 2,4,6 a 8 respektive jejich převrácené hodnoty. Výsledné váhy jsou interpretovány jako podíly vah i -tého a j -tého prvku. Výslednou matici srovnávaných prvků nazýváme Saatyho matice.

Pro prvky v Saatyho matici platí následující vztahy:

$$s_{ij} = \frac{v_i}{v_j} \quad (4.6)$$

$$s_{ji} = 1 \quad (4.7)$$

$$s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}} \quad (4.8)$$

kde

$$i, j = 1, 2, \dots, k$$

Pro následný výpočet váhy použijeme následující vzorce, přičemž v_i vyjadřuje výslednou váhu daného kritéria. [2]

$$S_i = \prod_{j=1}^k s_{ij} \quad (4.9)$$

$$R_i = (S_i)^{1/k} \quad (4.10)$$

$$v_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^k R_i} \quad (4.11)$$

Aby výpočet byl kompletní, musíme určit konzistenci matice. Konzistence matice ukazuje, zda si hodnocení rozhodovatelů neprotiřečí. Ve chvíli, kdy je Prvek 1 2x důležitější než Prvek 2 a Prvek 3 4x důležitější než Prvek 1, tak Prvek 3 je 8x důležitější než Prvek 2. Tato situace je však ideální a ve skutečnosti dochází k menším výchyilkám. Ty však nesmí být velké aby nedošlo ke znehodnocení hodnocení.

Prvky matice nejsou ve většině případů dokonale konzistentní. Vypočtením konzistence matice zjistíme, zda při hodnocení nedošlo k protichůdnému hodnocení mezi dvěma prvky, které by celé hodnocení znehodnotilo.

Konzistenci matice dle Saatyho vypočteme pomocí vztahu 4.12 [4]:

$$I_s = \frac{\lambda_{max} - k}{k - 1} \quad (4.12)$$

kde: λ_{max} je nejvyšší vlastní číslo a k je počet kritérií.

U plně konzistentních matic je hodnota konzistence rovna 0. Této hodnoty dosáhneme vždy při hodnocení 2 kritérií. V případě hodnocení více než dvou kritérií dosáhneme hodnoty konzistence 0 jen vyjíměčně. Aby konzistence matice byla dostatečná, musí být hodnota I_s pro k :

$$I_s < 0,1 \text{ pro } k = 3$$

$$I_s < 0,2 \text{ pro } k = 4, \dots, 7$$

$$I_s < 0,3 \text{ pro } k > 7$$

4.2 Příklad výpočtu vah kritérií

Hodnotíme prvky 1, 2 a 3. Nejprve použijeme hodnocení *Metoda váhového srovnání kritérií* pomocí Fullerova trojúhelníku (preferovaný prvek je označen červenou barvou):

1 1
 2 3

2
 3

Kritérium K_j	Počet preferencí	Výsledná váha
K_1	2	0,66
K_2	1	0,33
K_3	0	0,00

Stejně prvky nyní ohodnotíme pomocí *Metody kvantitativního párového srovnání kritérií* pomocí Saatyho matice.

	K_1	K_2	K_3	v_i
K_1	1	3	5	0,64
K_2	1/3	1	3	0,26
K_3	1/5	1/3	1	0,10

Konzistence matice je $I_s = 0,0193$, splňuje tedy podmínku konzistence $I_s < 0,1$ pro $k = 3$.

Při porovnání použití dvou výše uvedených metod vidíme, že ohodnocení vah se liší. U nejdůležitějšího kritéria je změna minimální ale s klesající důležitostí jsou rozdíly větší a větší. Při použití *metody párového srovnání kritérií* poslední z nich K_3 úplně chybí. Rozdíl v náročnosti těchto dvou metod hodnocení není tak výrazný a vzhledem ke kvalitě výsledné informace je výhodnější využít *Metodu kvantitativního párového srovnání kritérií*.

4.3 Normování vah

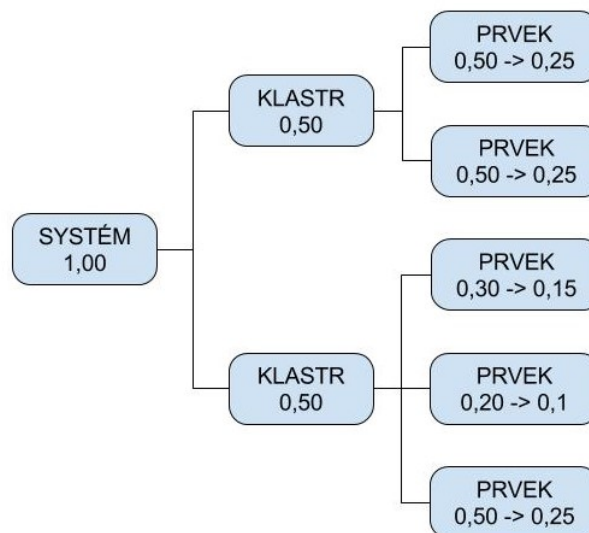
Pro systém s jednou úrovní, kde všechny prvky jsou mezi sebou v této úrovni porovnávány, jsou zjištěné váhy těmi výslednými. V případě rozvětveného systému požadujeme aby bylo možné srovnávat 2 součásti, bez ohledu na to, v jaké části systému se nacházejí. Jejich váhové hodnocení si tedy musí navzájem odpovídat. Je nutné všechny váhy normovat. Pro celkové váhové hodnocení ve fázi po jejich ohodnocení musí pro jednotlivé úrovně hierarchického modelu, a tedy i pro celý hierarchický model platit [16] [19]:

$$\sum_{i=1}^k v_i = 1 \quad (4.13)$$

Normovanou váhu prvku získáme součinem váhy dotyčného prvku získané ohodnocením a váhy nadřazeného prvku (klastru).

$$v_n = v_p \cdot v_k \quad (4.14)$$

Kde v_n je normovaná váha prvku, v_p je původní váha prvku z váhového ohodnocení a v_k je váha nadřazeného prvku - klastru. Výsledek je znázorněn na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Schéma hierarchické struktury s následně normovanou váhou

Kapitola 5

Analytic hierarchy process - AHP

Analytický hierarchický proces – AHP je založen na zkušenostech vývojáře profesora T.L.Saatyho během výzkumu pro US Arms Control and Disarmament Agency. AHP bylo vyvinuto v 70. letech jako snadno pochopitelná, snadno implementovatelná metoda pro tvorbu složitých rozhodnutí. Jedná se o účinný nástroj pro stanovení priorit a určení nejlepšího možného rozhodnutí. Díky jednoduchosti, efektivitě a přenositelnosti se AHP využívá v nejrůznějších odvětvích jako v obchodu, ekonomii, průmyslu, vládě, stavebnictví a v dalších. Výsledné rozhodnutí je, spíše než nalezení jediného možného nejsprávnějšího řešení, nalezení řešení nejlépe vyhovujícího našemu cíli a našemu vnímání celého problému. Výsledné řešení nám nabízí možnost porovnání s dalšími možnými řešeními a metoda tedy analyzuje i další alternativní řešení. [15] [20]

Rozhodování probíhá na základě velkého množství kritérií a prvků celého rozhodovacího systému. Běžně se snažíme získat co nejvíce informací o problému, abychom měli co největší povědomí o situaci a dostatečné podklady pro své rozhodnutí. Větší množství informací vede k lepšímu rozhodnutí. Ukazuje se, že při velkém množství dat a informací o problému hrozí zahlcení, braní ohledů na irelevantní informace, které na první pohled vypadají důležitě a odvrácení pozornosti od původního cíle. Ukáže se, že moc informací je stejný problém jako málo informací. Celá záležitost se následně může zkomplikovat subjektivními a objektivními aspekty rozhodnutí. [5] [9]

Jednoduchost AHP spočívá v přehledném strukturování celého systému kritérií a prvků, jejich hierarchickému propojení, porovnání a jednoduchosti měření prvků v systému. Metodologie AHP taktéž obsahuje vlastní vnitřní kontrolu konzistence při hodnocení jednotlivých prvků a kritérií. Ohodnocování probíhá pomocí *Metody kvantitativního párového hodnocení* uvedeného v části 4.1.4

5.1 Implementace AHP

Při nasazování AHP je nutné dodržet určitou strukturu po sobě jdoucích kroků [9]:

1. Definování problému
2. Vytvoření hierarchické struktury
3. Párové srovnání
4. Normování prvků
5. Kombinace odhadnutých vah

Tyto kroky dále rozvedu.

5.1.1 Definování problému

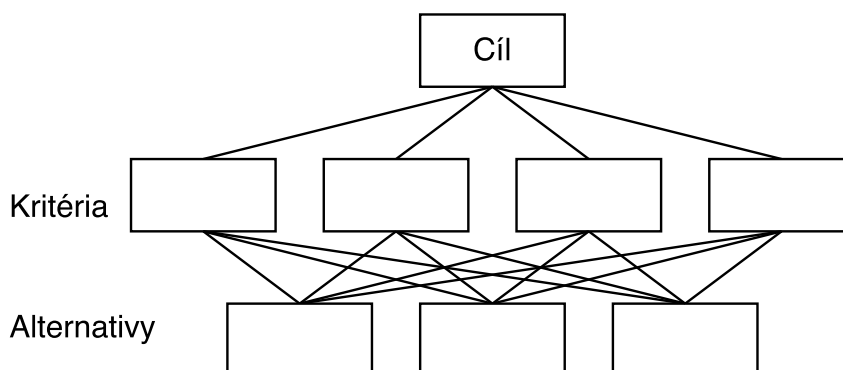
První nejpodstatnější věcí je určení opravdového rozhodovacího problému. Jenutné definovat cíle analýzy, určení kritérií, pomocí kterých budeme hodnotit a určení možných alternativ a prvků v systému. Tento krok nám ušetří velké množství zdrojů, které by byly vynaloženy při nesprávné specifikaci našeho systémů a postupů v něm. Při jasném určení cíle, kterého chceme dosáhnout bereme v potaz pouze prvky systému, které jsou relevantní. Podobně, pokud víme, že pro určité kritérium nebudeme mít dostatek dat, je zbytečné ho do systému uvažovat.

5.1.2 Vytvoření hierarchické struktury

Hierarchickou strukturou systému rozumíme uspořádání, kde každý prvek, s výjimkou prvku vrcholového, je podřízený jinému prvku. Hierarchický systém je podobný pyramidě nebo stromu. V běžném životě se s hierarchickou strukturou běžně setkáváme na úrovni řízení společnosti, kde na vrcholu je ředitel, pod ním jednotliví ředitelé odborů a pod každého ředitele spadají vedoucí oddělení, kteří mají další podřízené. Celý systém se tak dělí na subsystémy a jejich jednotlivé prvky. Vedoucí těchto „subsystémů“ se tak mohou zabývat pouze prací svého subsystému a na spolupráci s vedoucími dalších subsystémů. Nedojde tak k jejich zahlcení. [10]

Díky vytvoření hierarchické struktury můžeme v rozhodovacím systému dělit svou pozornost na každý jednotlivý prvek a zároveň se neztratíme ve velkém množství informací. Typická hierarchická struktura při užití AHP metody má jeden vrcholový prvek *Cíl*, střední úroveň modelu tvoří *Kritéria* a nejspodnější vrstva systému jsou *Alternativy*. [5] Všechny výše uvedené prvky, kromě Cíle, se mohou

dělit, shlukovat do jednotlivých podskupin sdružující prvky o podobných vlastnostech tzv. Klastřů. Znárodnění struktury AHP systému vidíme na obr. 5.1. Každý z prvků znázorněných na obrázku může mít své další podskupiny složené z dalších prvků.



Obrázek 5.1: Příklad 3 stupňové hierarchické struktury AHP systému [5]

5.1.3 Párové srovnání

Pro každou úroveň hierarchie (v rámci celého systému i v rámci jednotlivých podsystémů) provádíme párové srovnání. Používanou metodou je *Metoda kvantitativního párového srovnání*. Postup výpočtu párových srovnávání je uveden v kapitole 4.1.4. Pro rozhodnutí o vahách prvků využíváme dotazníky. Nejčastěji je hodnocení číselné. Pokud využíváme slovní hodnocení, je nutná jeho následná transformace do numerické podoby. Hodnocení zpřesníme větším množstvím rozhodovatelů a následným průměrem jejich hodnocení.

5.1.4 Normování prvků

Postup normování vah je uveden v kapitole 4.3. Normování probíhá v rámci jedné úrovně hierarchického modelu.

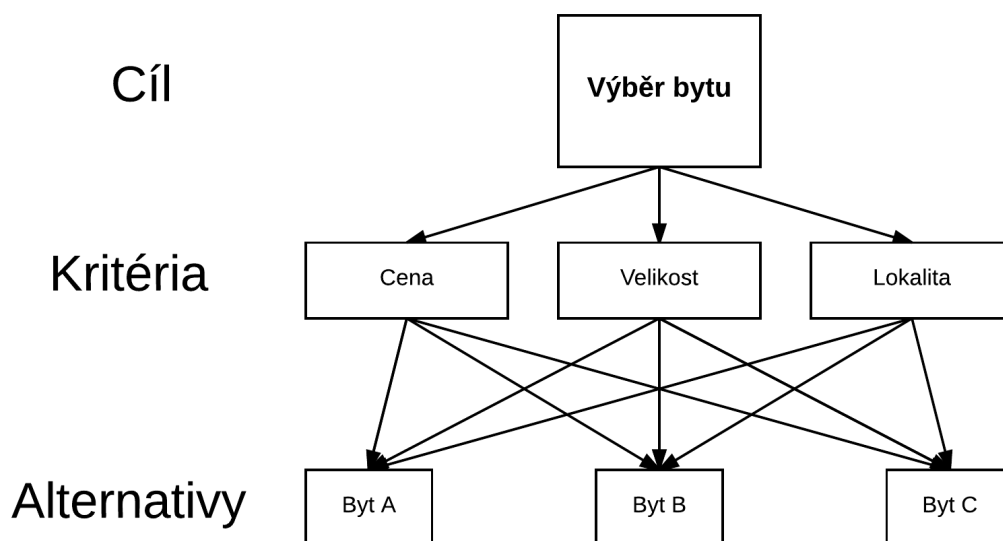
5.1.5 Kombinace odhadnutých vah

Po dosažení ohodnocení všech prvků systému (*Kritérií*, *Alternativ*), tyto prvky kombinujeme pro získání odhadu agregovaných vah. Všechny alternativy mají následně určeny agregované váhy. Vybereme alternativu s největší vahou. Dle našich požadavků (určených váhami *Kritérií* a hodnocením rozhodovatelů) je to ta nejuvhodnější alternativa. Alternativy s nižší vahou mohou být následně využity jako alternativy nejuvhodnějšího řešení.

5.2 Příklad využití AHP

Pro lepší vysvětlení metody AHP ukážeme jednotlivé kroky na praktickém příkladu. Jako rozhodovací problém budeme uvažovat výběr nového bytu. Uvažujeme 3 možné alternativy výběru: *Byt A*, *Byt B* a *Byt C*. Posuzujeme je podle kritérií *Cena*, *Velikost* a *Lokalita*.

Kritéria a alternativy seřadíme do hierarchického systému. V tomto případě nemáme žádné podskupiny nebo navázané prvky a proto bude model mít 3 úrovně.



Obrázek 5.2: Diagram výběru bytu metoda AHP

Z prvků vytvoříme matice párových srovnání, abychom získali jejich váhové ohodnocení. Používáme *Metodu kvantitativního párového srovnání* viz. kapitola. 4.1.4

V první matici porovnáváme důležitost jednotlivých kritérií. Výsledné váhy v_i označují jak důležité pro nás dané kritérium je. Pro názornost je matice 5.1 popsána a jsou v ní uvedeny mezivýpočty a výsledná váha.

	<i>Cena</i> – $K1$	<i>Lokalita</i> – $K2$	<i>Velikost</i> – $K3$	S_i	R_i	v_i
<i>Cena</i> – $K1$	1	4	3	12	2,289	0,630
<i>Lokalita</i> – $K2$	1/4	1	2	0,5	0,794	0,218
<i>Velikost</i> – $K3$	1/3	1/2	1	0,167	0,550	0,151

(5.1)

Hodnota konzistence matice pro 3 hodnocené prvky kritérií musí být nižší než 0,1. Tuto podmínku s hodnotou $I_s = 0,055$ splňujeme. Výsledný váhový vektor kritérií je tedy $v_k = [0,630 \ 0,218 \ 0,151]^T$.

Následně porovnááme jednotlivé alternativy vzhledem k danému kritériu.

$$K_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 3 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

$$K_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 3 \\ 3 & 1 & 7 \\ 1/3 & 1/7 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

$$K_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.4)$$

Vektory vah alternativ jsou $K_1 = [0,224 \ 0,560 \ 0,213]^T$, $K_2 = [0,242 \ 0,667 \ 0,092]^T$ a $K_3 = [0,138 \ 0,733 \ 0,129]^T$. Celková matice vah alternativ je pak:

$$K = [K_1 \ K_2 \ K_3] = \begin{pmatrix} 0,224 & 0,242 & 0,138 \\ 0,560 & 0,667 & 0,733 \\ 0,213 & 0,092 & 0,129 \end{pmatrix} \quad (5.5)$$

Výsledné váhy po kombinaci vektoru vah kritérií a matice vah alternativ získáme vztahem:

$$v = K \cdot v_k \quad (5.6)$$

Finální vektor vah je pak $v = [0,215 \ 0,609 \ 0,174]$. Ukazuje nám, že nejvýhodnější variantou pro nás je druhá možnost a tedy *Byt B*. Druhou nejvýhodnější alternativou je *Byt A*, který je jen o málo lepší, než *Byt C*.

5.3 Výhody a nevýhody AHP

Výhody použití metody AHP

- Použití párového srovnání zjednodušuje váhové ohodnocení. Kvantitativní hodnocení zvyšuje přesnost a slovní vyjádření numerického ohodnocení zjednodušuje výsledné rozhodnutí.
- Hierarchická struktura a maticové vyjádření je velice přehledné.
- Metoda od rozhodovatelů nevyžaduje žádné speciální znalosti.

Nevýhody použití metody AHP

- Hierarchické uspořádání systému a využití slovního hodnocení je zatíženo subjektivitou rozhodovatele.
- V případě, že konzistence po vyplnění dotazníku není dostatečná je nutné hodnocení opět měnit a upravit.
- Nutnost opakovaného hodnocení jednoho prvku.
- Celkový počet porovnání velice rychle narůstá s množstvím *Kritérií* a *Alternativ*.

Kapitola 6

The Aerospace Performance Factor (APF)

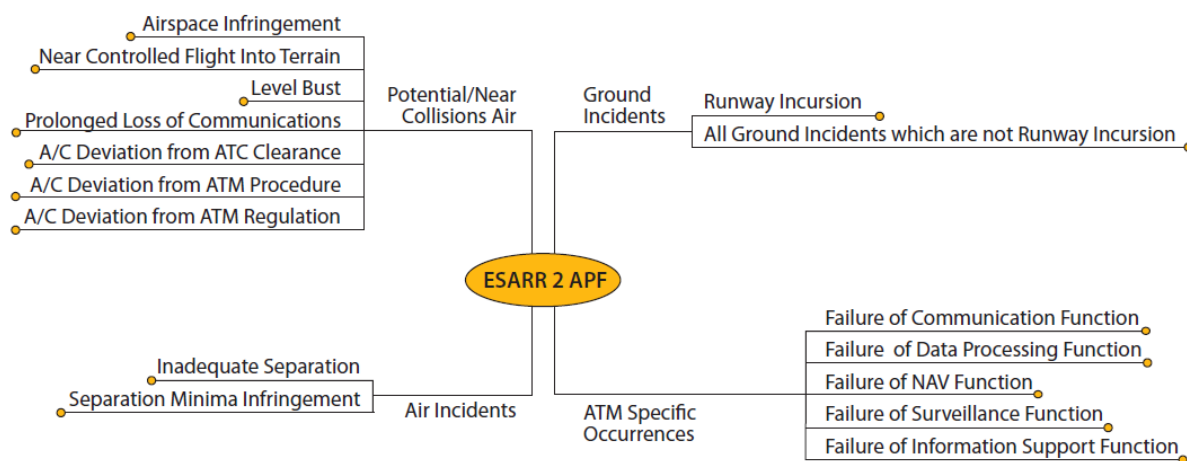
Organizace působící v letectví hledali komplexní nástroj pro řízení míry rizika zahrnující velké množství faktorů z různých zdrojů. Safety Data Reporting and Data Flow (SAFREP) Task Force dostali za úkol vyvinout tento systém, založený na zpracování dat z reaktivních ATM indikátorů. Standardní data z nehod nebyly dostačující z důvodu malého počtu událostí tohoto typu. Proto byly zahrnuty i incidenty a další události, při kterých došlo k narušení bezpečnosti. Ty indikují bezpečnostní problém, aniž by došlo k letecké nehodě. [17]

Aerospace Performance Factor funguje na principu agregace různých dat od různých zdrojů s jedním jasným výstupem. Vyvinut byl ve spolupráci United States Federal Aviation Administration (FAA), Air Traffic Organization (ATO) a United States Navy (USN). Cílem je změřeni a grafické znázornění bezpečnosti v systému. Následně je možné po delší časový úsek sledovat trendy, uvádět zlepšení, sledovat jak se projeví na celém systému a tak celý systém zlepšit.

Základem celého systému je velké množství relevantních dat za dlouhý časový úsek a od co největšího množství zdrojů. Data závisí na úrovni hlášení států a využívá se tradičních dat z hlášených událostí. Jedná o 30 států, ze kterých se pravidelně získávají informace o událostech zahrnutých do systému APF. Data jednotlivých ukazatelů mají vliv na celý systém. Problémem je přesné určení vlivu jedné události na celý systém z pohledu bezpečnosti a způsob jak tyto události kvantifikovat. [1]

6.1 Metodologie APF

Metodologie APF využívá některé principy AHP. [21] Hodnocení událostí probíhá na základě jejich závažnosti, které jsou v hlášení označovány A – D nebo *Závažnost není určena*. Při využití podrobnějších dat lze do hodnocení zahrnout, zda na vzniku události měly podíl ATS služby. Jednotlivé události jsou seřazeny do hierarchické struktury obsahující 4 podskupiny, viz obr. 6.1



Obrázek 6.1: Hierarchické schéma událostí používané v APF [1]

Pro určení vah jednotlivých událostí používáme Metodu párového srovnání kritérií viz. 4.1.3. Celkem událostí hodnotilo 10 rozhodovatelů z řad odborníků SAFREP. Váhy byly zprůměrovány následně normovány. Pokud máme výslednou váhu závažnosti události je nutnost získat množství, kolikrát tato událost za daný časový úsek nastala a jaký byl provoz (počet letů, letové hodiny, ...). [21]

$$APF = \frac{n_i \cdot v_i}{n} \quad (6.1)$$

kde n_i je počet výskytu dané události,

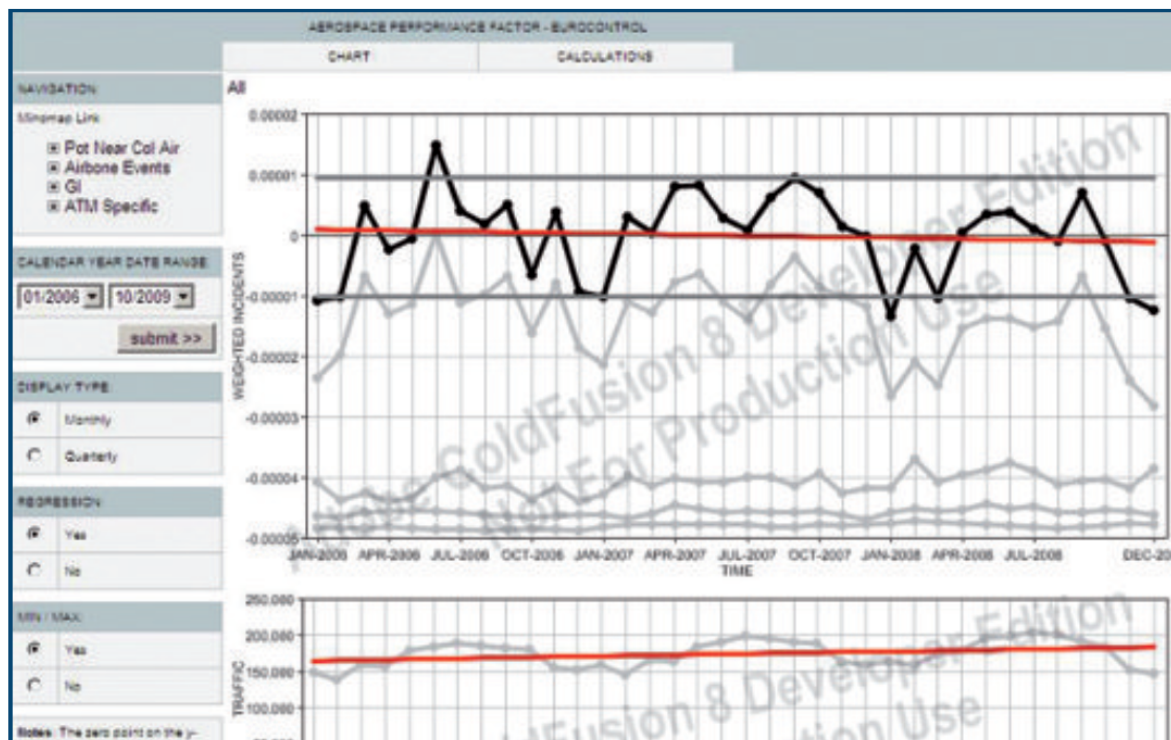
v_i je váha události,

n je celkový provoz.

Počet výskytu dané události a celkový provoz vztažený na dané časové období. [11]

Získané číslo je hodnota APF pro daný čas a danou událost. Součtem APF jednotlivých událostí, získáme hodnotu APF pro celý systém, kterým je po většinou jeden stát. Je tak známa výkonnost

bezpečnosti celého systému, ale také výkonnost jednotlivých částí systému nebo jen jednoho z prvků systému. Přiřazení hodnot APF k časovým údajům (záleží na kvalitě dat a jejich množství, zda se bude jednat o dny měsíce nebo roky) nám nabízí porovnání výkonnosti v čase viz. obr. 6.2.



Obrázek 6.2: Hierarchické schéma událostí používané v APF [1]

Výsledné hodnoty nebo průběh APF se nesmí srovnávat s jinými indikátory nebo postupy. APF musí být bráno jako jedinečný indikátor a porovnání by mělo probíhat pouze v rámci jednoho APF systému (porovnání subsystémů, prvků a času). Vzhledem ke svému charakteru není možné naměřené hodnoty vztahovat na jiné systémy nebo jinak zjištěné skutečnosti. APF by neměl být jediným používaným indikátorem výkonnosti systému ale pouze jako jeden z většího množství bezpečnostních procesů a analýz v rámci *Safety Management Systému* (SMS).

V současnosti se pracuje na větší přesnosti dat a na zapojení více států. Plánem je využít APF pro rozhodování na evropská a na národní úrovni. Jednoduchost a přesnost APF umožňuje přenositelnost na odvětví i mimo letectví. APF je možné využít v dalších systémech, ve kterých je nutnost posouzení rizika nebo výkonu. [1]

Kapitola 7

Vazby v systému

Ne všechny systémy v reálném světě jsou striktně hierarchické. Jednotlivé prvky systému mohou mezi sebou být provázány přímými vazbami, bez ohledu na to že model je navržen jako hierarchický. Vazby existují jak v jedné úrovni modelu, tak i mezi úrovněmi.

Pokud tyto nehierarchické vazby v systému existují, řešíme problém jaký vliv na sebe dotyčné prvky mají, jak jsou mezi sebou propojené a jak se tyto vazby odrazí na hodnocení těchto prvků.

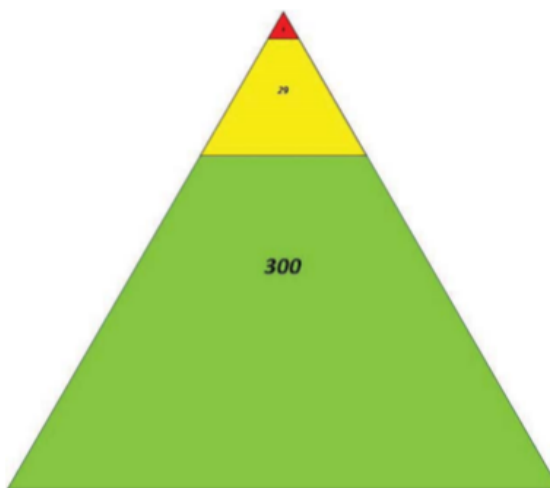
V našem případě systém obsahuje dva druhy vazeb. První vazba je v rámci rozdělení událostí do klastrů. Tyto vazby jsou striktně hierarchické a ukazují nám příslušnost prvků k danému klastru a ke společnému cíli. Od cíle a klastrů se také odráží i jejich normalizované hodnocení umožňující nám porovnání prvků mezi sebou v rámci celého systému.

Druhý typ vazeb nám ukazuje možný dopad jedné události na druhou. Nejjednodušším příkladem může být tato ukázka: Čím častěji osoba přechází silnici bez rozhlédnutí, tím je větší šance, že jeden takový přechod skončí srážkou s autem. Ve stejný čas stejnou trasou projíždí řidič, který se za jízdy pravidelně nevěnuje řízení (telefonování, ladění rádia, občerstvování, ...). Kombinace těchto dvou faktorů zvyšuje pravděpodobnost srážky dotyčného chodce. Faktory ovlivňující pravděpodobnost srážky mohou být i další (nepříměřená rychlost auta, více pruhů vozovky atd.)

Každý z výše uvedených faktorů je sám o sobě jedním z prvků systému, který může (ale nemusí) vést k vrcholnému prvku tj. dopravní nehodě.

Roku 1931 publikoval H.W.Heinrich svou práci o rozdělení nehod do skupin v závislosti na závaž-

nosti. Napříč odvětvími se poměr mezi těmito skupinami příliš neliší. Grafické znázornění tohoto problému nazýváme *Heinrichovou pyramidou* (viz obr.7.1). Originálním významem pyramidy je zobrazení počtu nehod bez zranění (zelené pole, 300) a počtu nehod s lehkým zraněním (žluté pole, 29) na jednu smrtelnou nehodu nebo nehodu s velmi těžkým zraněním (červené pole, 1). Zvyšující se počet nehod bez zranění statisticky vede ke zvýšení počtu nehod s mírným zraněním a to zase vede ke zvýšení počtu nehod s fatálním následkem.[14]

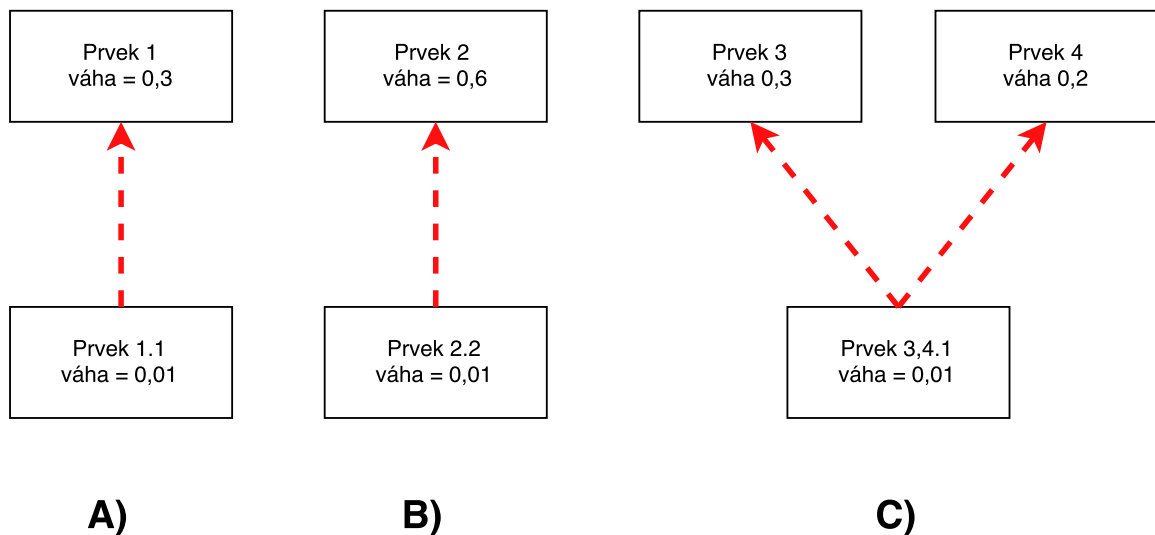


Obrázek 7.1: Heinrichova pyramida [14]

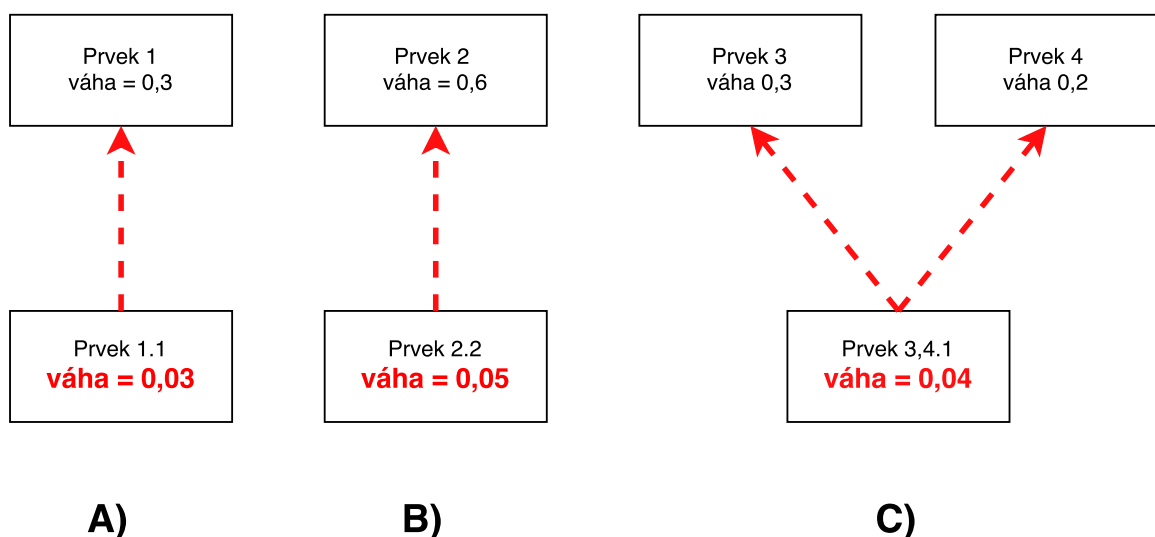
7.1 Započtení vlivu do váhy prvku

Představme si systém složený z jednotlivých prvků. Každý z prvků má své vlastní váhové ohodnocení. Důležitější prvky mají vyšší váhové ohodnocení, ty méně důležité nižší. Některé prvky jsou ohodnoceny stejnou váhou. Do tohoto systému zavedeme vazby dle možného dopadu jednoho prvku na druhý ve smyslu *Heinrichovy pyramidy*. Nastávají 3 základní možnosti vazeb viz. obr. 7.2. Možnost A) ukazuje vliv jednoho prvku na druhý. Možnost B) ukazuje vliv jednoho prvku na druhý, s vyšším váhovým ohodnocením než v případě možnosti Možnost A). Možnost C) ukazuje vliv jednoho prvku na dva různé prvky. V základním pojetí mají všechny vlivové prvky stejné váhové hodnocení. Rozdíl je pouze ve vlivu na další prvky s vyšším váhovým rozdělením. Tento vliv by se měl projevit do váhového hodnocení vlivových prvků. *Prvek 2.1* v možnosti B) by měl být ohodnocen výše, než *Prvek 1.1* v možnosti A). Taktéž hodnocení *Prvku 3,4.1* by mělo odrážet skutečnost, že má vliv na 2 prvky s vyšším váhovým ohodnocením.

Pokud zohledníme vliv jednotlivých prvků na další prvky v jejich váhovém ohodnocení ukáže se, že přes počáteční shodnost důležitosti všech 3 vlivových prvků je jejich reálná důležitost rozdílná. To je znázorněno na obrázku 7.3. Výsledná váha prvků se ale nesmí porovnávat s váhou prvků, jejíž váha nereflektuje vliv na další prvky. Tato hodnocení se musí interpretovat odděleně. V realitě by některé prvky nejspíš měli pouze částečný vliv. Vzhledem ke komplexnosti tohoto problému v této práci zjednodušíme vliv prvků na univerzální míru danou celkovým váhovým ohodnocením prvků.



Obrázek 7.2: Ukázka vazeb v systému



Obrázek 7.3: Ukázka změny váhového hodnocení vzhledem k vazbám v systému. Číselné ohodnocení je pouze ilustrační.

Kapitola 8

Metodologie navrženého hodnocení a určení vah prvků v systému

V této práci navrhuji upravenou metodu pro vyhodnocování bezpečnostní výkonnosti. Metoda (a její části) bude následně porovnávána s metodou APF.

8.1 Výběr KPI

Při výběru, jaké události zahrneme do našeho bezpečnostního systému jsme zohledňovali zejména tři aspekty. Prvním bylo rozložení událostí napříč celým spektrem možných problémů. Druhým aspektem bylo rozložení přirozené závažnosti události od těch na první pohled nejdůležitějších až po ty marginální. Třetí podmínkou byla dostupnost reálných dat pro tyto události. Z tohoto důvodu bylo z výsledného výpočtu bezpečnostního systému vyřazeno například *Narušení RWY vozidlem* a *Neschopnost poskytovat služby ATFM*, ke kterým se oproti všem předpokladům nepodařilo zajistit dostatek reálných dat.

8.2 Výběr metody hodnocení

Pro váhové ohodnocení použijeme *Metodu kvantitativního párového srovnání kritérií* vysvětlenou v části 4.1.4. Tato metoda je výrazně přesnější než *metoda párového srovnání kritérií* 4.1.3 a zároveň není přehnaně náročná. Tuto metodu volí i Saaty pro využití při metodě AHP. [5]. *Metoda párového srovnání kritérií* je využita také a to pro následné možné porovnání výše zmíněných dvou metod. Data pro *metodu párového srovnání kritérií* získáváme přímo z otázek pro *metodu kvantitativního*

párového kvantitativního párového srovnání kritérií.

8.3 Vytvoření dotazníku

O vahách prvků rozhodují rozhodovatelé. K rozhodování se využívá dotazník. Dotazník a výpočty v něm jsou provedeny v programu MS Excel s ohledem na jeho uživatelskou přívětivost pro rozhodovatele.

Dotazník má 2 možnosti zobrazení - veřejnou a neveřejnou. Veřejné zobrazení ukazuje list s hodnotícími poly, Saatyho matici hodnocení a to, zda je hodnocení konzistentní viz. obrázek 8.1 Konzistentní hodnocení je signalizováno zelenou buňkou a textem HODNOCENÍ JE KONZISTENTNÍ, nekonzistentní hodnocení je značeno červenou buňkou a textem HODNOCENÍ NENÍ KONZISTENTNÍ.

Matrice celkového hodnocení funkčních bloků:				
	Col. AIR	CFIT	GND Park	GND Mov
Col. AIR	1	3	5	7
CFIT	1/3	1	5	7
GND Park	1/5	1/5	1	3
GND Mov	1/7	1/7	1/3	1
Hodnota konzistence:		Maximální přípustná hodnota konzistence:		
0,077311247		0,2		
HODNOCENÍ JE KONZISTENTNÍ				

Obrázek 8.1: Saatyho matice a kontrola konzistence hodnocení.

Dotazník lze rozdělit na 3 hodnotící části. V první části se mezi sebou hodnotí nejprve skupiny (funkční bloky) sdružující události dle jejich charakteristik do tzv. klastrů. Jsou uvedeny v tabulce 8.1. Pro další užití je označíme jako $C_1 - C_4$.

Následně hodnotíme jednotlivé události v rámci klastrů *Kolize* v tabulce 8.2, *Událost ve vzduchu* v tabulce 8.3, *Událost na zemi* v tabulce 8.4 a *Porucha ATM systémů* v tabulce 8.5. Pro další použití všechny události označíme zkráceným označením $A_1 - A_{24}$.

V poslední části dotazníků rozhodovatelé hodnotí klasifikace událostí viz. tabulka 8.6:

Tabulka 8.1: Klastry (funkční bloky) událostí

Klastry událostí:
C_1 Kolize (za letu, na zemi, kolize s terénem)
C_2 Událost na zemi
C_3 Událost ve vzduchu
C_4 Porucha ATM systémů

Tabulka 8.2: Klastř C_1 Kolize

Kolize:
A_1 Srážka letadla s jiným letadlem ve vzduchu
A_2 Řízený let do terénu
A_3 Srážka mezi dvěma letadly pohybujícími se po zemi
A_4 Srážka letadla se zaparkovaným letadlem

V neveřejné části dotazníku se nachází výsledná váha událostí spolu s dalšími mezivýpočty sloužícími k výpočtu váhy a k výpočtu konzistence hodnocení.

Součástí dotazníku jsou také listy s vysvětlením pojmů (anglický název a definice) a list s popisem postupu jak dotazník vyplnit.

8.4 Vyhodnocení dotazníků

Celkem vyplnilo hodnocení 8 rozhodovatelů. Rovnoměrně byli zastoupeni profesionální piloti, pracovníci Řízení letového provozu s.p. a akademičtí pracovníci a studenti magisterského oboru Provoz a řízení letecké dopravy Fakulty dopravní Českého vysokého učení technického v Praze.

Váhy jednotlivých indikátorů byly normovány postupem uvedeným v kapitole 4.3. Výsledná váha

Tabulka 8.3: Klastř C_2 Událost ve vzduchu

Událost ve vzduchu
A_5 Nedostatečný rozestup letadel ve vzduchu, kdy téměř došlo ke srážce
A_6 Situace, kdy téměř došlo k řízení letu do terénu
A_7 Odchýlení letadla od povolení ATC
A_8 Odchýlení letadla od příslušných platných předpisů uspořádání letového provozu
A_9 Narušení vzdušného prostoru
A_{10} Odchýlení od příslušných předpisů stanovené výbavy a provozu letadla vzhledem k ATM

Tabulka 8.4: Klastř C_3 *Událost na zemi*

Událost na zemi
A_{11} Narušení RWY letadlem
A_{12} Narušení RWY vozidlem
A_{13} Narušení RWY osobou
A_{14} Vyjetí letadla z RWY do strany
A_{15} Oslnění posádky letadla laserem

Tabulka 8.5: Klastř C_4 *Porucha ATM systémů*

Porucha ATM systémů
A_{16} Neschopnost poskytovat služby ATS
A_{17} Neschopnost poskytovat služby ASM
A_{18} Neschopnost poskytovat služby ATFM
A_{19} Výpadek služby komunikace ATM
A_{20} Výpadek pozemního systému služby dohledu
A_{21} Výpadek služby zpracování dat
A_{22} Výpadek pozemního systému služby navigace
A_{23} Výpadek bezpečnosti systému ATM/mimořádná událost s vlivem na bezpečnost
A_{24} Výpadek služby pomocných informací

Tabulka 8.6: Klastř *Hodnocení klasifikace závažnosti*

Hodnocení klasifikace závažnosti
Letecká nehoda
Letecký incident
Ostatní

prvku byla dána aritmetickým průměrem normovaných vah všech rozhodovatelů. Z dotazníků získáváme také váhové ohodnocení dle *metody párového srovnání kritérií*. Tato metoda je využívána v metodě APF, se kterou budeme naši novou metodu porovnávat. Způsob zpracování dat je pro obě metody srovnání stejný.

V první části rozhodovatelé hodnotili funkční bloky - klastř. Výsledky s využitím nově navržené *metody kvantitativního párového srovnání kritérií* 4.1.4 jsou uvedeny v tabulce 8.7. Váhy funkčních bloků zjištěné v APF využívanou *metodou párového srovnání kritérií* 4.1.3 jsou uvedeny v tabulce 8.8. Výsledky v obou zmíněných tabulkách jsou normovány, aby celkový součet byl roven 1. Hodnocení klastřů se následně využije při normalizaci vah alternativ.

Tabulka 8.7: Hodnocení funkčních bloků (klastřů) nově navrženou metodou - využití *metody kvantitativního párového srovnání kritérií* 4.1.4

Rozhodovatel	C₁ Kolize	C₂ Událost na zemi	C₃ Událost ve vzduchu	C₄ Porucha ATM systémů
1	0,674933	0,11191	0,178197	0,03496
2	0,563397	0,08588	0,315839	0,034884
3	0,601728	0,120346	0,208445	0,069482
4	0,651188	0,045347	0,21249	0,090975
5	0,59237	0,086445	0,214345	0,10684
6	0,666391	0,031733	0,191382	0,110494
7	0,582818	0,092515	0,239616	0,085051
8	0,649592	0,094796	0,212392	0,04322
Výsledek	0,622802	0,083621	0,221588	0,071988

Tabulka 8.8: Hodnocení funkčních bloků (klastřů) *metodou párového srovnání kritérií* 4.1.3 užívanou v APF

Rozhodovatel	C₁ Kolize	C₂ Událost na zemi	C₃ Událost ve vzduchu	C₄ Porucha ATM systémů
1	0,4	0,2	0,3	0,1
2	0,4	0,2	0,3	0,1
3	0,4	0,2	0,3	0,1
4	0,4	0,1	0,3	0,2
5	0,363636	0,181818	0,272727	0,181818182
6	0,4	0,1	0,3	0,2
7	0,363636	0,181818	0,272727	0,181818182
8	0,4	0,2	0,3	0,1
Výsledek	0,390909	0,170455	0,293182	0,145454545

Stejným způsobem jsou hodnoceny alternativy. V tabulce 8.2 jsou uvedeny ohodnocení všech alternativ od všech rozhodovatelů. Sloupec *Průměr* je aritmetickým průměrem jejich hodnocení. Sloupec *Výsledek* je výsledná hodnota tj. výsledek normovaný hodnotou klastřů, pod který daná alternativa patří. Tabulka 8.3 ukazuje hodnocení dle metodologie používané v APF tj. *metodou párového srovnání kritérií*.

Obrázek 8.2: Váhové hodnocení alternativ metodou kvantitativního párového srovnání kritérií.

	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměr	Výsledek
A ₁	0,4206962	0,357356749	0,506179	0,618879	0,540269	0,386501	0,401679	0,584031	0,476949	0,297045
A ₂	0,38675558	0,522534504	0,268665	0,254442	0,311924	0,386501	0,465262	0,29111	0,360899	0,224769
A ₃	0,08621301	0,037977203	0,097215	0,048867	0,099336	0,08981	0,045405	0,045792	0,068827	0,042866
A ₄	0,1063352	0,082131544	0,127942	0,077812	0,048471	0,137188	0,087654	0,079068	0,093325	0,058123
A ₅	0,38659995	0,444779543	0,387316	0,392839	0,307885	0,350262	0,229495	0,48548	0,373082	0,082671
A ₆	0,33614421	0,330221616	0,269456	0,214722	0,419831	0,400652	0,505594	0,27282	0,34368	0,076155
A ₇	0,08205883	0,037571333	0,084519	0,170425	0,095339	0,087906	0,089117	0,070346	0,08966	0,019868
A ₈	0,03944977	0,06381045	0,039469	0,084459	0,040971	0,035644	0,06179	0,070346	0,054492	0,012075
A ₉	0,12722426	0,095517708	0,178083	0,084459	0,09014	0,085388	0,042843	0,070346	0,09675	0,021439
A ₁₀	0,02852298	0,02809935	0,041157	0,053096	0,045834	0,040147	0,071162	0,030663	0,042335	0,009381
A ₁₁	0,28410577	0,533269803	0,34657	0,525531	0,286482	0,285717	0,528245	0,263834	0,381719	0,03192
A ₁₂	0,1652958	0,218044623	0,083729	0,163777	0,155831	0,131189	0,109398	0,129574	0,144605	0,012092
A ₁₃	0,0868308	0,063169315	0,034181	0,034444	0,061435	0,043658	0,038941	0,063636	0,053287	0,004456
A ₁₄	0,44088829	0,154492633	0,365033	0,069062	0,415643	0,491082	0,234235	0,510039	0,335059	0,028018
A ₁₅	0,02287934	0,031023626	0,170486	0,207186	0,080609	0,048354	0,089181	0,032918	0,08533	0,007135
A ₁₆	0,26294715	0,381050397	0,227735	0,168789	0,050545	0,382252	0,262696	0,415789	0,268975	0,019363
A ₁₇	0,01195375	0,059222249	0,029906	0,103584	0,039258	0,130787	0,02177	0,150707	0,068398	0,004924
A ₁₈	0,02556891	0,059222249	0,039256	0,061235	0,039258	0,192406	0,036478	0,150707	0,075517	0,005436
A ₁₉	0,16136695	0,128864471	0,146527	0,096209	0,149062	0,105453	0,126291	0,066509	0,122535	0,008821
A ₂₀	0,27804994	0,058034834	0,08333	0,024353	0,131933	0,040019	0,027789	0,066509	0,088752	0,006389
A ₂₁	0,06014534	0,035664349	0,045651	0,039346	0,081661	0,020363	0,114944	0,066509	0,058035	0,004178
A ₂₂	0,04413788	0,08026438	0,071658	0,148121	0,159122	0,046938	0,0753	0,027757	0,081662	0,005879
A ₂₃	0,13758296	0,151007533	0,322149	0,326395	0,304804	0,04397	0,311038	0,027757	0,203088	0,01462
A ₂₄	0,01824712	0,046669057	0,033789	0,031968	0,044355	0,037811	0,023694	0,027757	0,033036	0,002378

Obrázek 8.3: Váhové hodnocení alternativ metodologií APF metodou párového srovnání kritérií.

	1	2	3	4	5	6	7	8	Průměr	Výsledek
A ₁	0,363636364	0,3	0,363636	0,4	0,4	0,363636	0,363636	0,4	0,369318	0,14437
A ₂	0,363636364	0,4	0,272727	0,3	0,3	0,363636	0,363636	0,3	0,332955	0,130155
A ₃	0,090909091	0,1	0,090909	0,1	0,2	0,090909	0,090909	0,1	0,107955	0,0422
A ₄	0,181818182	0,2	0,272727	0,2	0,1	0,181818	0,181818	0,2	0,189773	0,074184
A ₅	0,25	0,26087	0,24	0,272727	0,208333	0,24	0,227273	0,25	0,24365	0,071434
A ₆	0,25	0,217391	0,24	0,227273	0,25	0,24	0,272727	0,208333	0,238216	0,06984
A ₇	0,166666667	0,130435	0,16	0,181818	0,166667	0,16	0,181818	0,166667	0,164259	0,048158
A ₈	0,125	0,173913	0,12	0,136364	0,125	0,12	0,136364	0,166667	0,137913	0,040434
A ₉	0,166666667	0,173913	0,16	0,136364	0,166667	0,16	0,090909	0,166667	0,152648	0,044754
A ₁₀	0,041666667	0,043478	0,08	0,045455	0,083333	0,08	0,090909	0,041667	0,063314	0,018562
A ₁₁	0,266666667	0,333333	0,3125	0,333333	0,25	0,25	0,3125	0,266667	0,290625	0,049538
A ₁₂	0,2	0,266667	0,125	0,2	0,1875	0,1875	0,1875	0,2	0,194271	0,033114
A ₁₃	0,133333333	0,133333	0,0625	0,066667	0,125	0,125	0,0625	0,133333	0,105208	0,017933
A ₁₄	0,333333333	0,2	0,3125	0,133333	0,3125	0,3125	0,25	0,333333	0,273438	0,046609
A ₁₅	0,066666667	0,066667	0,1875	0,266667	0,125	0,125	0,1875	0,066667	0,136458	0,02326
A ₁₆	0,191489362	0,195652	0,191489	0,173913	0,081633	0,183673	0,18	0,173077	0,171366	0,024926
A ₁₇	0,021276596	0,086957	0,042553	0,130435	0,061224	0,163265	0,06	0,153846	0,089945	0,013083
A ₁₈	0,063829787	0,108696	0,06383	0,086957	0,061224	0,163265	0,08	0,153846	0,097706	0,014212
A ₁₉	0,14893617	0,152174	0,148936	0,108696	0,163265	0,122449	0,14	0,115385	0,13748	0,019997
A ₂₀	0,191489362	0,086957	0,12766	0,021739	0,122449	0,081633	0,06	0,115385	0,100914	0,014678
A ₂₁	0,106382979	0,021739	0,085106	0,065217	0,102041	0,020408	0,14	0,115385	0,082035	0,011932
A ₂₂	0,085106383	0,130435	0,12766	0,152174	0,163265	0,102041	0,1	0,057692	0,114797	0,016698
A ₂₃	0,14893617	0,173913	0,170213	0,195652	0,183673	0,081633	0,18	0,057692	0,148964	0,021668
A ₂₄	0,042553191	0,043478	0,042553	0,065217	0,061224	0,081633	0,06	0,057692	0,056794	0,008261

8.5 Tvorba vazeb v systému

Prvky v systému mohou být propojeny několika možnými způsoby. Typická struktura propojení je hierarchická, kde jsou prvky seskupeny do klastrů, dle svých charakteristik. Další možností je propojení prvků dle možného řetězce událostí, kdy jedna zvyšuje šance na to, že se stane druhá, závažnější. Obě tyto vazby v tomto systému využíváme. Hierarchické rozdělení nám pomáhá ohodnotit vlastní váhy událostí pomocí rozdělení do klastrů. Propojení v závislosti na vlivu jedné události na druhou nám dle myšlenky vyjádřené v kapitole 7 pomůže zpřesnit hodnocení prvků dle skutečné závažnosti i s ohledem na další možné dopady. Tyto vazby byly vytvořeny autorem dle jeho expertní znalosti. Vazby v našem systému jsou popsány v kovariační matici 8.4.

Hodnota 1 vyjadřuje vliv horizontálního prvku na vertikální. Hodnota 0 znamená, že mezi prvky není žádná vazba. Na diagonále se nalézají hodnoty 0, jelikož v systému nejsou smyčky.

Vytvořením druhé struktury systému (vazby vlivu) je možné každému prvku systému přidělit druhé váhové ohodnocení. To je dáno součtem původních vah prvků, na který má tento prvek vliv (znázorněno na obrázku 8.5). Tato váha musí být dále normalizována viz. kapitola 4.3.

Výsledkem na konci tohoto kroku budou dva na sobě nezávislé systémy, se stejnými prvky ale rozdílnými vazbami mezi nimi. Každý prvek tedy bude mít dvě váhová ohodnocení. Původní vlastní váhu prvku a váhu vlivu prvku na další prvky v systému.

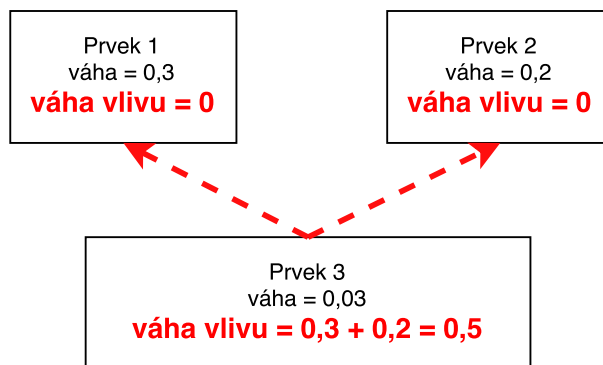
8.6 Aplikace AHP

Pomocí metody AHP hledáme váhové ohodnocení událostí v letovém provozu. Zohledňovat budeme dvě kritéria. Vlastní váhu určenou rozhodovateli v dotaznících a také váhu vlivu dané události na události další. Alternativami budeme rozumět všechny indikátory událostí, které v našem systému zohledňujeme. Systém je znázorněn na obrázku 8.6

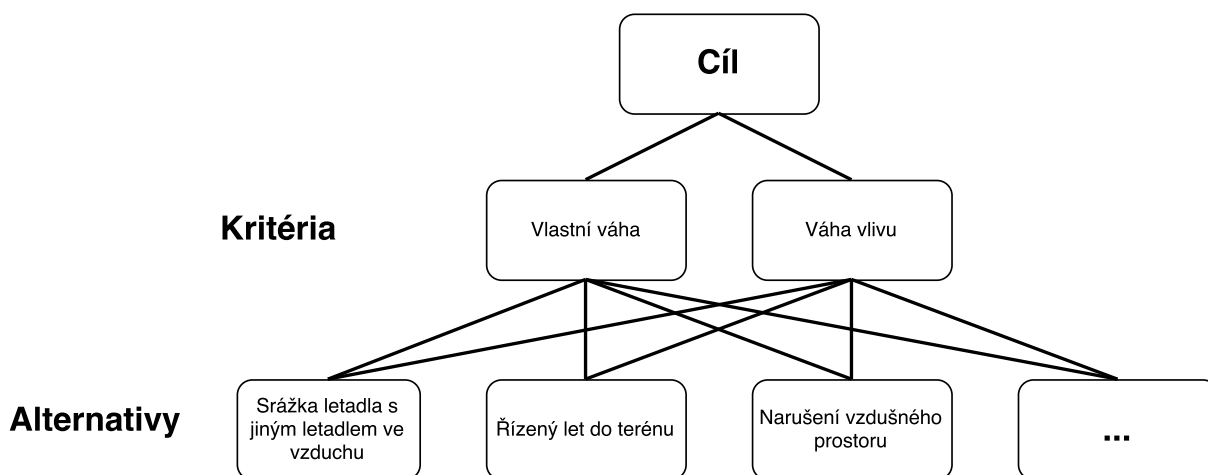
Výsledkem bude pořadí událostí společně s numerickým vyjádřením, dle důležitosti dané alternativy. Metodologie postupu AHP je blíže popsána v kapitole 5. Zde si proto popíšeme změny oproti dříve uvedenému postupu.

Obrázek 8.4: Kovariační matice vlivů v systému

Alternativy	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	
A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A7	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A8	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A9	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A10	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A14	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A15	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A16	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A18	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A19	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A20	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
A22	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
A24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0



Obrázek 8.5: Váha vlivu (bez normalizace)



Obrázek 8.6: Schéma AHP systému (počet alternativ je jen znázorněn)

Nejvýraznější změnou je způsob hodnocení důležitosti dvou vybraných kritérií. V běžném postupu při aplikaci metody AHP dochází k ohodnocení pomocí matic *metodou kvantitativního párového srovnání kritérií*. V tomto případě oproti tomu určíme procentuální důležitost jednoho kritéria ke druhému. Je možné rychle měnit poměr důležitosti kritérií mezi sebou a umožňuje nám vyzkoušet více možných kombinací důležitosti. Použité poměry důležitosti kritérií jsou uvedeny v tabulce 8.9

Další změnou je způsob ohodnocení alternativ. Každá z alternativ má 2 váhová ohodnocení, dle dvou výše zmíněných kritérií. Vektor vah tedy bude mít dva prvky. Prvním z nich je váhové ohodnocení získané *metodou kvantitativního párového srovnání kritérií*. Toto ohodnocení získáváme z dotazníků a odpovídá způsobu ohodnocení v matici 5.1. Druhé ohodnocení získáváme postupem uvedeným v části 8.5. Zde tedy nastává změna oproti běžnému postupu hodnocení při využití metody AHP.

Tabulka 8.9: Poměr důležitosti kritérií.

Varianta poměru	Vlastní váha prvku - K1	Váha vlivu - K2
1	0,95	0,05
2	0,9	0,1
3	0,85	0,15
4	0,8	0,2
5	0,7	0,3
6	0,6	0,4
7	0,5	0,5

Výsledné vektory vah alternativ, které vznikly průměrem hodnot všech rozhodovatelů a které byly normalizované dle klastrů, do kterých spadají, uvádíme v tabulce 8.10. První hodnota ve vektoru přísluší kritériu K_1 . Druhá hodnota kritériu K_2 .

V tuto chvíli již máme vektory vah *alternativ* uvedené v tabulce 8.10 i vektory vah *kritérií* v tabulce 8.9. Finální vektor vah získáme pomocí vztahu 5.6. Uvádím zde 7 možných variant poměru důležitosti mezi *kritérii* viz. tabulka 8.9 a na nich závisících finálních vektorů. Vektory jsou pro přehlednost převedeny do sloupců tabulky 8.11, kdy každý sloupec představuje jednu variantu poměru. V řádcích je uveden daný vektor a jeho možné varianty v závislosti na poměru kritérií.

8.7 Vliv závažnosti události na jejím hodnocení

Při zápisu o letecké události se kromě údajů o datu, typu a imatrikulaci letadla zapisuje i stupeň závažnosti. Definice tohoto hodnocení jsou uvedeny v části 3.1. Pro naši práci jsme hodnocení závažnosti zjednodušili pouze na *leteckou nehodu*, *letecký incident* a *ostatní události*. Toto zjednodušení je znázorněno na obrázku 3.1.

Váhové ohodnocení závažnosti získáváme z dotazníků viz. tabulka 8.12.

Do navržené metody je toto hodnocení zakombinováno jako koeficient vlastní závažnosti události. Událost, která má dané hodnocení dle indikátoru (prvku) pod který spadá, bude vynásobena koeficientem závažnosti uvedeným ve zprávě o mimořádné události. Výsledný vztah pro hodnocení je tedy:

$$NM = \frac{n_i \cdot A_x}{n} \cdot K_z \quad (8.1)$$

kde n_i je počet výskytu dané události,

A_x je váha daného indikátoru - alternativy,

n je celkový provoz,

K_z je koeficient závažnosti události.

Tabulka 8.10: Vektory vah alternativ

$A_1 = [0,297045 \ 0]$
$A_2 = [0,224769 \ 0]$
$A_3 = [0,042866 \ 0]$
$A_4 = [0,058123 \ 0]$
$A_5 = [0,082671 \ 0,041954]$
$A_6 = [0,076155 \ 0,031746]$
$A_7 = [0,019868 \ 0,119641]$
$A_8 = [0,012075 \ 0,109724]$
$A_9 = [0,021439 \ 0,096133]$
$A_{10} = [0,009381 \ 0,106921]$
$A_{11} = [0,03192 \ 0,010012]$
$A_{12} = [0,012092 \ 0,003957]$
$A_{13} = [0,004456 \ 0,003957]$
$A_{14} = [0,028018 \ 0,014264]$
$A_{15} = [0,007135 \ 0,060723]$
$A_{16} = [0,019363 \ 0,110738]$
$A_{17} = [0,004924 \ 0,005763]$
$A_{18} = [0,005436 \ 0,011676]$
$A_{19} = [0,008821 \ 0,109431]$
$A_{20} = [0,006389 \ 0,090026]$
$A_{21} = [0,004178 \ 0,00578]$
$A_{22} = [0,005879 \ 0,016519]$
$A_{23} = [0,01462 \ 0,046837]$
$A_{24} = [0,002378 \ 0,004198]$

Tabulka 8.11: Finální vektory alternativ - 7 možných poměrů vah *kritérií* viz. tabulka 8.9.

	1	2	3	4	5	6	7
$A_1 =$	0,282192	0,26734	0,252488	0,237636	0,207931	0,178227	0,148522
$A_2 =$	0,21353	0,202292	0,191053	0,21353	0,157338	0,134861	0,112384
$A_3 =$	0,040722	0,038579	0,036436	0,040722	0,030006	0,025719	0,021433
$A_4 =$	0,055217	0,052311	0,049405	0,055217	0,040686	0,034874	0,029062
$A_5 =$	0,080635	0,078599	0,076563	0,080635	0,070456	0,066384	0,062312
$A_6 =$	0,073935	0,071715	0,069494	0,073935	0,062833	0,058392	0,053951
$A_7 =$	0,024856	0,029845	0,034834	0,024856	0,0498	0,059777	0,069754
$A_8 =$	0,016957	0,02184	0,026722	0,016957	0,04137	0,051134	0,060899
$A_9 =$	0,025173	0,028908	0,032643	0,025173	0,043847	0,051316	0,058786
$A_{10} =$	0,014258	0,019135	0,024012	0,014258	0,038643	0,048397	0,058151
$A_{11} =$	0,030825	0,029729	0,028634	0,030825	0,025347	0,023157	0,020966
$A_{12} =$	0,01169	0,01128	0,01087	0,01169	0,00965	0,00884	0,00802
$A_{13} =$	0,004431	0,004406	0,004381	0,004431	0,004306	0,004256	0,004207
$A_{14} =$	0,02733	0,026643	0,025955	0,02733	0,023892	0,022516	0,021141
$A_{15} =$	0,009815	0,012494	0,015174	0,009815	0,023212	0,02857	0,033929
$A_{16} =$	0,023932	0,028501	0,033069	0,023932	0,046776	0,055913	0,065051
$A_{17} =$	0,004966	0,005008	0,00505	0,004966	0,005176	0,005259	0,005343
$A_{18} =$	0,005748	0,00606	0,006372	0,005748	0,007308	0,007932	0,008556
$A_{19} =$	0,013852	0,018882	0,023913	0,013852	0,039004	0,049065	0,059126
$A_{20} =$	0,010571	0,014753	0,018935	0,010571	0,03148	0,039844	0,048208
$A_{21} =$	0,004258	0,004338	0,004418	0,004258	0,004658	0,004819	0,004979
$A_{22} =$	0,006411	0,006943	0,007475	0,006411	0,009071	0,010135	0,011199
$A_{23} =$	0,016231	0,017842	0,019453	0,016231	0,024285	0,027507	0,030729
$A_{24} =$	0,002469	0,00256	0,002651	0,002469	0,002924	0,003106	0,003288

Tabulka 8.12: Váhy závažnosti událostí

	1	2	3	4	5	6	7	8	Výsledek
Letecká nehoda	0,4480	0,4661	0,6661	0,4051	0,6154	0,6373	0,6548	0,4371	0,5412
Incident	0,2330	0,1077	0,2571	0,1564	0,2004	0,2461	0,1752	0,1687	0,1930
Ostatní události	0,0552	0,0517	0,0546	0,0439	0,0792	0,0692	0,0774	0,0474	0,0598

Kapitola 9

Aplikace metody APF a navržené metody na reálná data

Pro znázornění navržené metody jsme pro účel této práce vybrali poměr mezi kritérii 85:15 tj. váhy alternativ uvedené v tabulce 8.11 ve sloupci 3. Důvodem výběru této varianty je dostatečné zapojení *kritéria* C_2 , které ale zároveň nezkreslí původní váhové ohodnocení dle *kritéria* C_1 . Výběr tohoto poměru je na osobě zodpovědné za analýzu. Poměr by se tedy měl volit s ohledem na systém, na který je aplikována. Není nutností dodržení zde použitého poměru 85:15.

Pro ukázkou jsme zvolili pouze jednu zemi a jeden indikátor a to A_{11} *Narušení RWY letadlem*. Na něm ukážeme postup výpočtu a výsledné porovnání. V tabulce 9.1 jsou uvedeny hodnoty použité při výpočtu.

Data sloužící k výpočtům jsou získána z ECCAIRS. Jedná se o data z jedné konkrétní země, která je anonymizována s ohledem na důvěrnost obsahu dat. Ze získaných dat byla použita informace o počtu událostí spadajících pod daný indikátor za daný časový úsek a o jejich závažnosti (Letecká nehoda, Incident nebo Ostatní události). Další informace nebyly pro potřeby této práce potřebné. Všechna data, ze kterých jsme při výpočtech vycházali jsou uvedeny v příloze.

9.1 Aplikace APF

Jako první ukážeme výsledek při použití metody APF, která je popsána v kapitole 6. Ten bude následně brán jako referenční pro srovnání s nově navrženou metodou nebo jejími částmi. Při výpočtu užíváme vztah 6.1. Počet výskytu události a provoz jsou uvedeny v tabulce 9.1 a váha indikátoru

je uvedena v tabulce 8.3.

Pro hodnotu indikátoru *Narušení RWY letadlem* z ledna 2013 dle metody APF tedy platí:

$$APF = \frac{5 \cdot 0,04953}{149513} = 1,65665E - 06 \quad (9.1)$$

Výsledné hodnoty výpočtu pro všechna data jsou uvedeny v tabulce 9.3 a znázorněny na obrázku 9.1. Uvedené výsledky jsou zaokrouhleny.

9.2 Aplikace navržené metody

Ve srovnání s metodou APF má navržená metoda 3 stupně výpočtu. Každý stupeň je nástavbou stupně předcházejícího a výpočet můžeme po každém stupni ukončit a výsledky vyhodnotit. Je jen na uživateli, jak a do jakého stupně tuto metodu využije. Toto schéma je znázorněno na obrázku 9.2.

Přesný postup aplikace metody je popsán v kapitole 8. V rovnicích tuto metodu označíme písmeny NM - Navržená Metoda s indexi 2 a 3 dle stupně realizace. I. stupeň vyjadřuje využití *metody kvantitativního párového hodnocení kritérií* viz. tabulka 8.2. II. stupeň značí zavedení druhého kritéria hodnocení s využitím metody AHP, které je uvedeno v části 8.6. III. stupeň navrženou metodu uzavírá a do hodnocení zahrnuje klasifikaci závažnosti hodnocené události viz. část . Jak již bylo řečeno, je možné po každém stupni aplikace metody vyhodnotit výsledky. Ať pro náročnost, nedostatek dat nebo ve chvíli, kdy by metoda byla již zbytečně podrobná. Vše závisí na systému na který metodu aplikujeme, na dostupných datech a na uživateli.

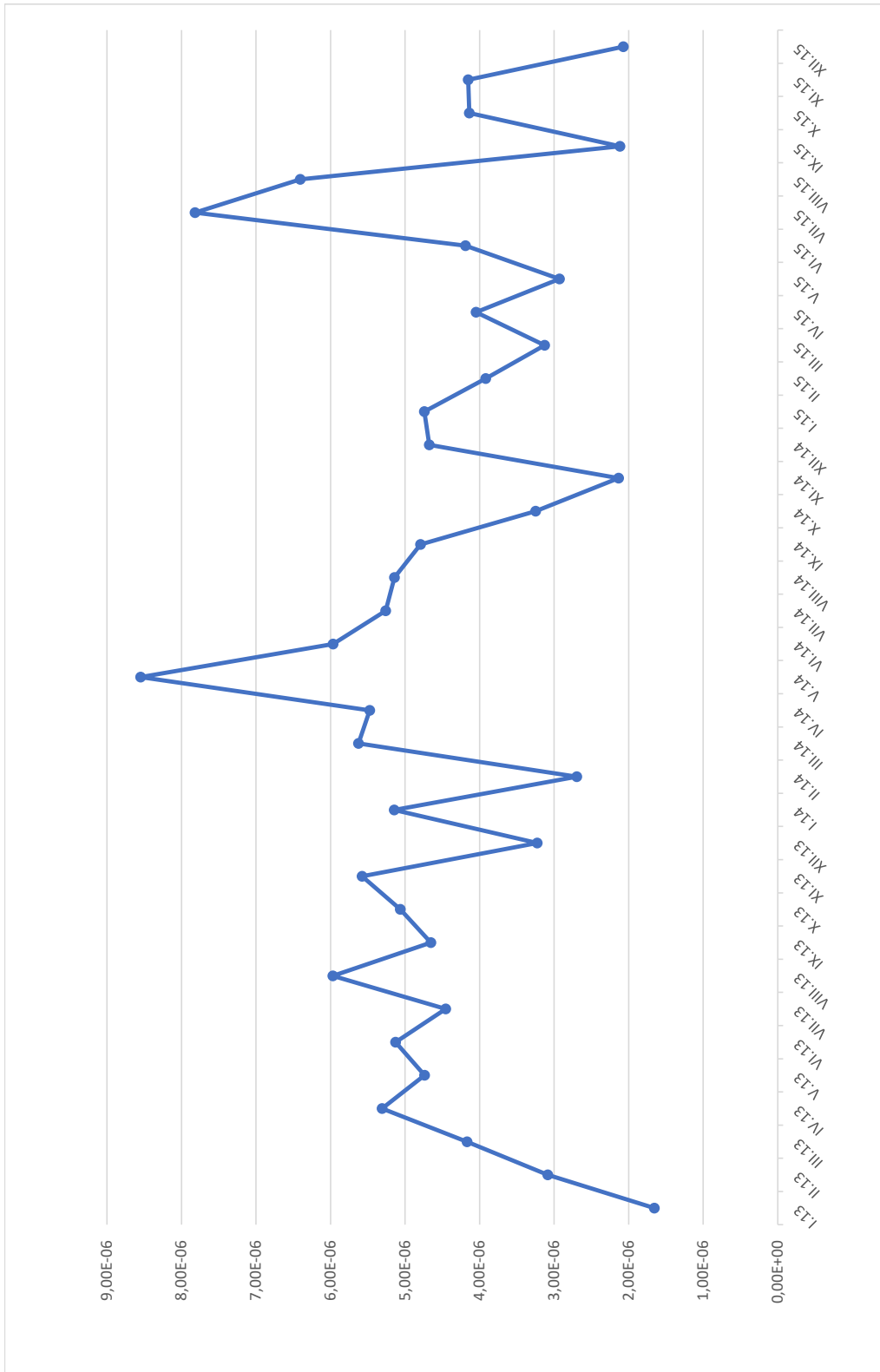
Výpočet II. stupně navržené metody je znázorněn vztahem 9.2. Je modifikací vzorce 6.1:

$$NM_2 = \frac{n_i \cdot A_x}{n} \quad (9.2)$$

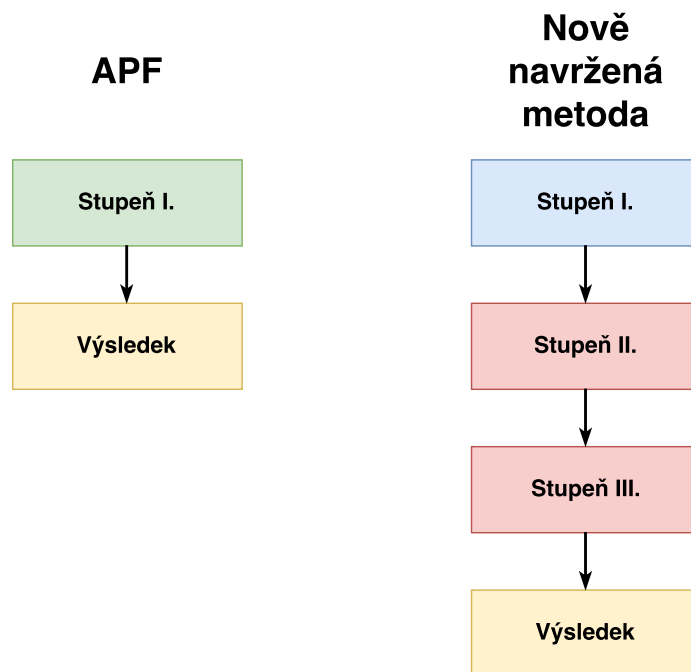
kde n_i je počet výskytu dané události,

A_x je váha daného indikátoru - alternativy,

n je celkový provoz.



Obrázek 9.1: Hodnota APF pro indikátor Narušení RWY letadlem



Obrázek 9.2: Schéma stupňů výpočtu

Výpočet 9.3 nám ukazuje způsob aplikace na reálná data. Počet výskytu události a provoz jsou uvedeny v tabulce 9.1 a váha indikátoru je uvedena v tabulce 8.3. Některé z indikátorů nejsou ve výpočtu zastoupeny z důvodu nedostatku relevantních dat.

$$NM_2 = \frac{5 \cdot 0,02863}{149513} = 9,57565E - 07 \quad (9.3)$$

Poslední částí navržené metody je III. stupeň. Spočívá ve vynásobení výsledku z II. stupně koeficientem závažnosti dle informací o události. Koeficienty jsou uvedeny v tabulce 8.12. Výsledný vztah je tedy:

$$NM_3 = \frac{n_i \cdot A_x}{n} \cdot K_z \quad (9.4)$$

kde n_i je počet výskytu dané události,
 A_x je váha daného indikátoru - alternativy,
 n je celkový provoz,
 K_{zx} je koeficient závažnosti události.

Výpočet je pak:

$$NM_3 = \frac{5 \cdot 0,02863}{149513} \cdot 0,193093355 = 4,8048E - 07 \quad (9.5)$$

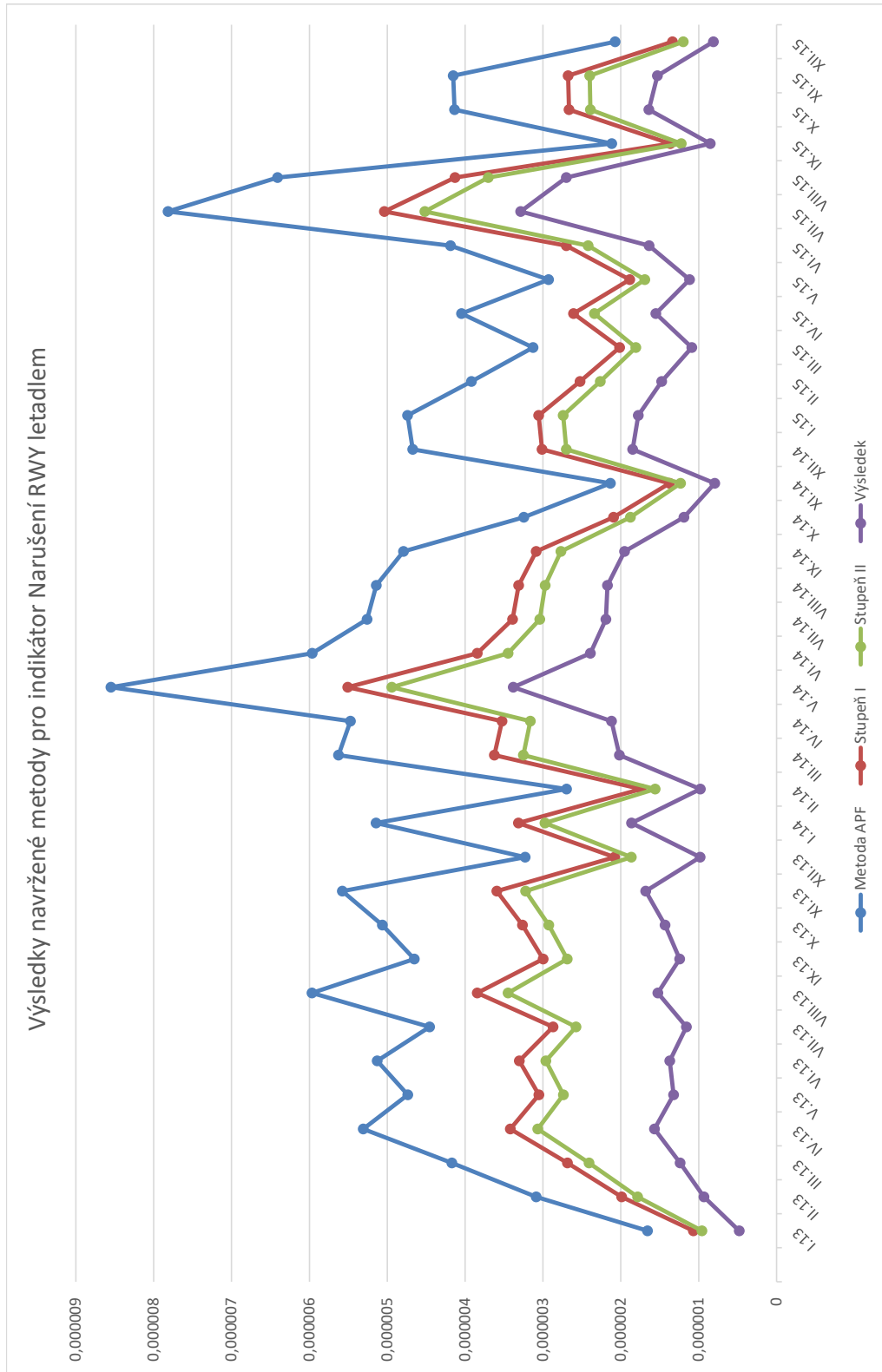
Tento výpočet je proveden pro situaci, kdy bylo v jednom měsíci zjištěno 5 událostí *narušení RWY letadlem*, které byly klasifikovány jako *Incident*. V případě, že by v tomto časovém úseku byly zjištěny i události s klasifikací *Letecká nehoda* nebo *Ostatní události* byl by výpočet pro každý z těchto klasifikací samostatný. Pro celkový výsledek by pak platilo:

$$NM_3 = \sum_{i=1}^3 NM_{3i} \quad (9.6)$$

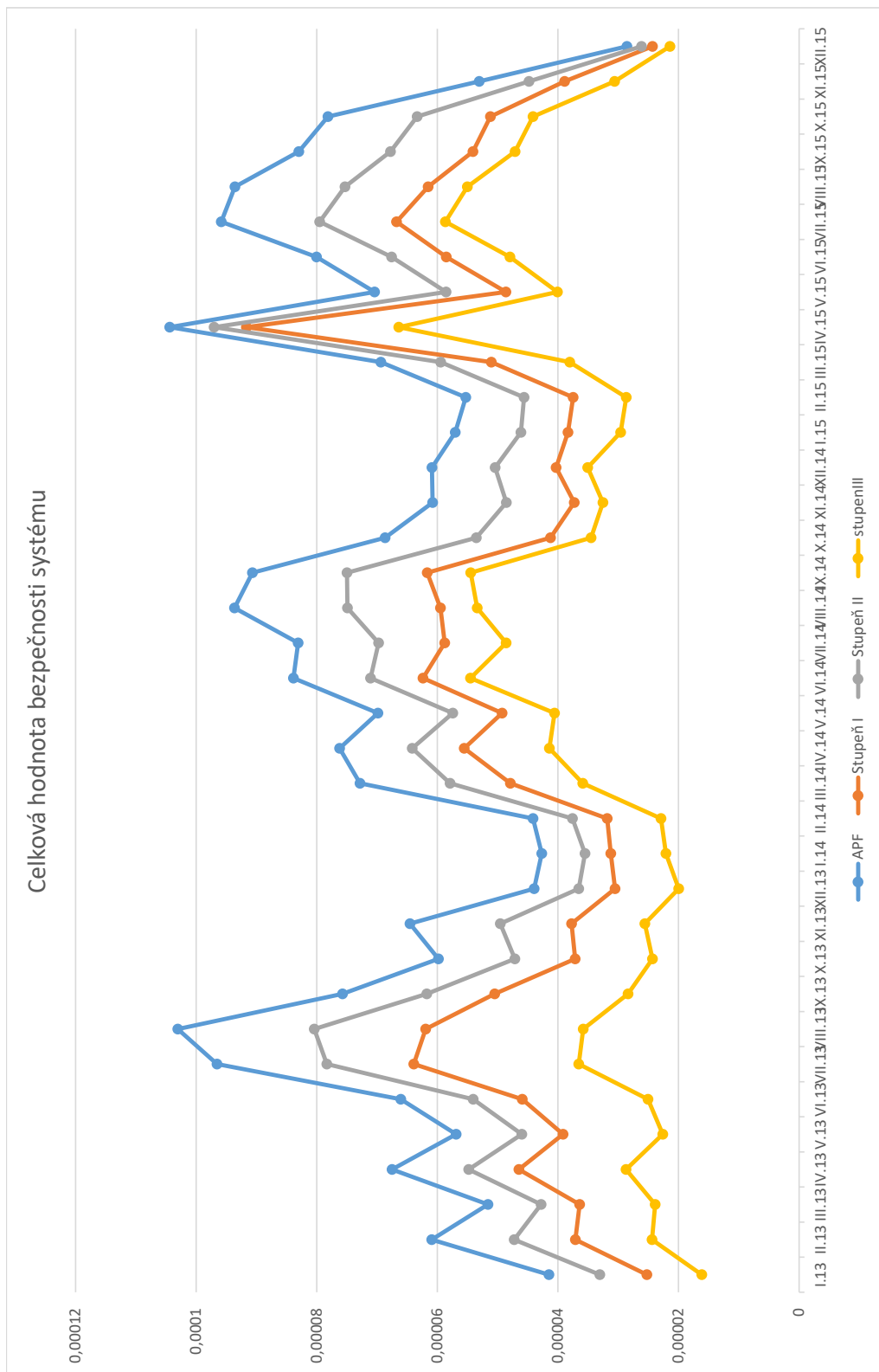
Jak se mění výsledek v závislosti na stupních výpočtu lze vidět v tabulce 9.4. Graficky jsou výsledky a rozdíly znázorněny na grafu 9.3.

Na obrázku 9.4, vidíme celkový vývoj bezpečnosti systému za časové období tří let pro 1 stát. Vidíme jak se výběr metody (nebo jejích částí) promítá do výsledného hodnocení. Přímo srovnatelné s metodou APF je pouze znázornění I. stupně.

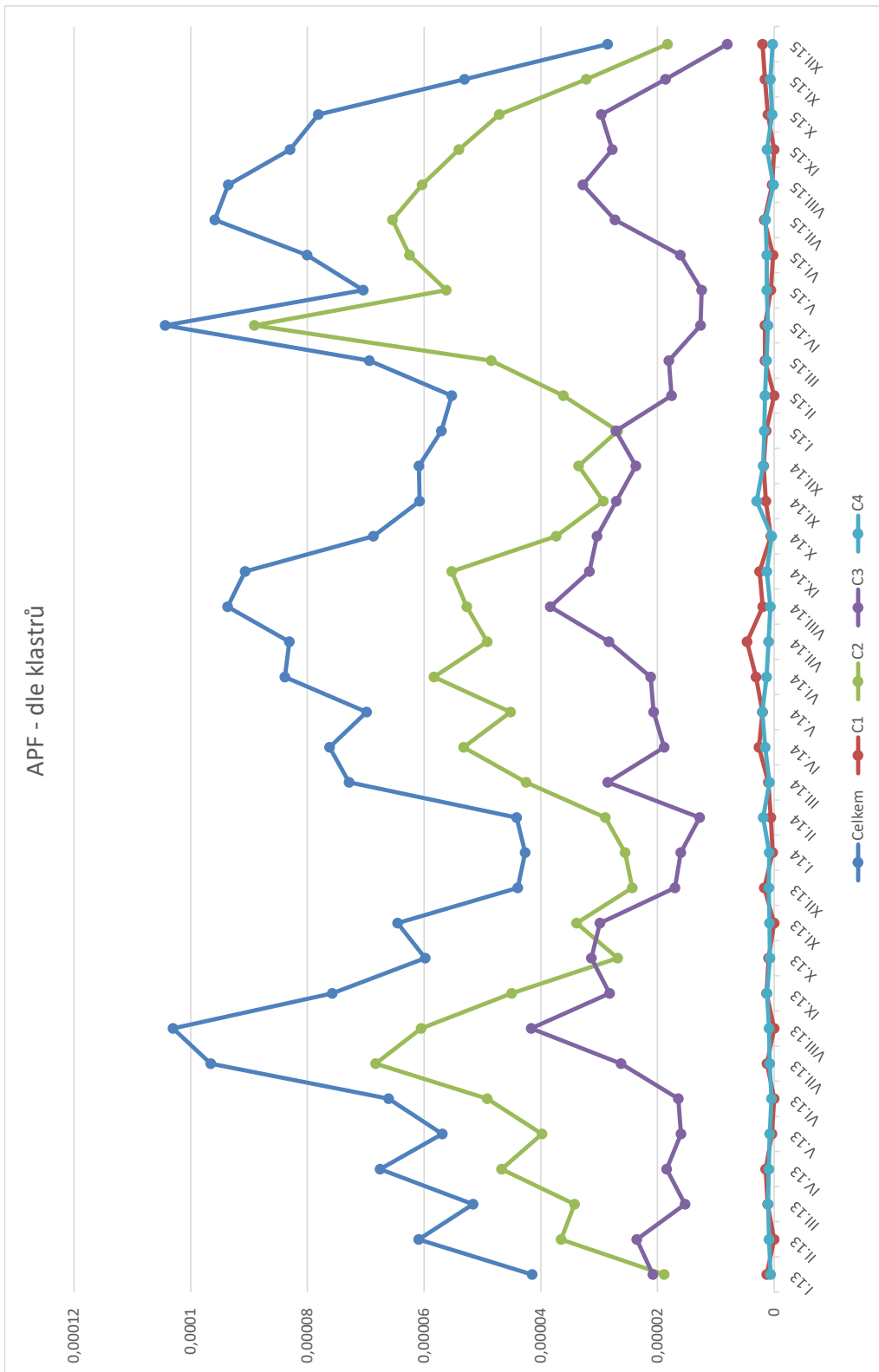
Data a výsledky z nich spočítané můžeme zobrazovat až do detailu jednotlivých indikátorů jak bylo ukázáno na obrázku 9.3. Každé celkové hodnocení systému se skládá z jednotlivých částí, z jednotlivých indikátorů. Na obrázcích 9.5, 9.6, 9.7 a 9.8 ukazují jak se jednotlivé složky hodnocení promítají do celkového hodnocení dle použité metody nebo její části. Složky hodnocení jsou pro přehlednost zobrazeny do úrovně klastrů.



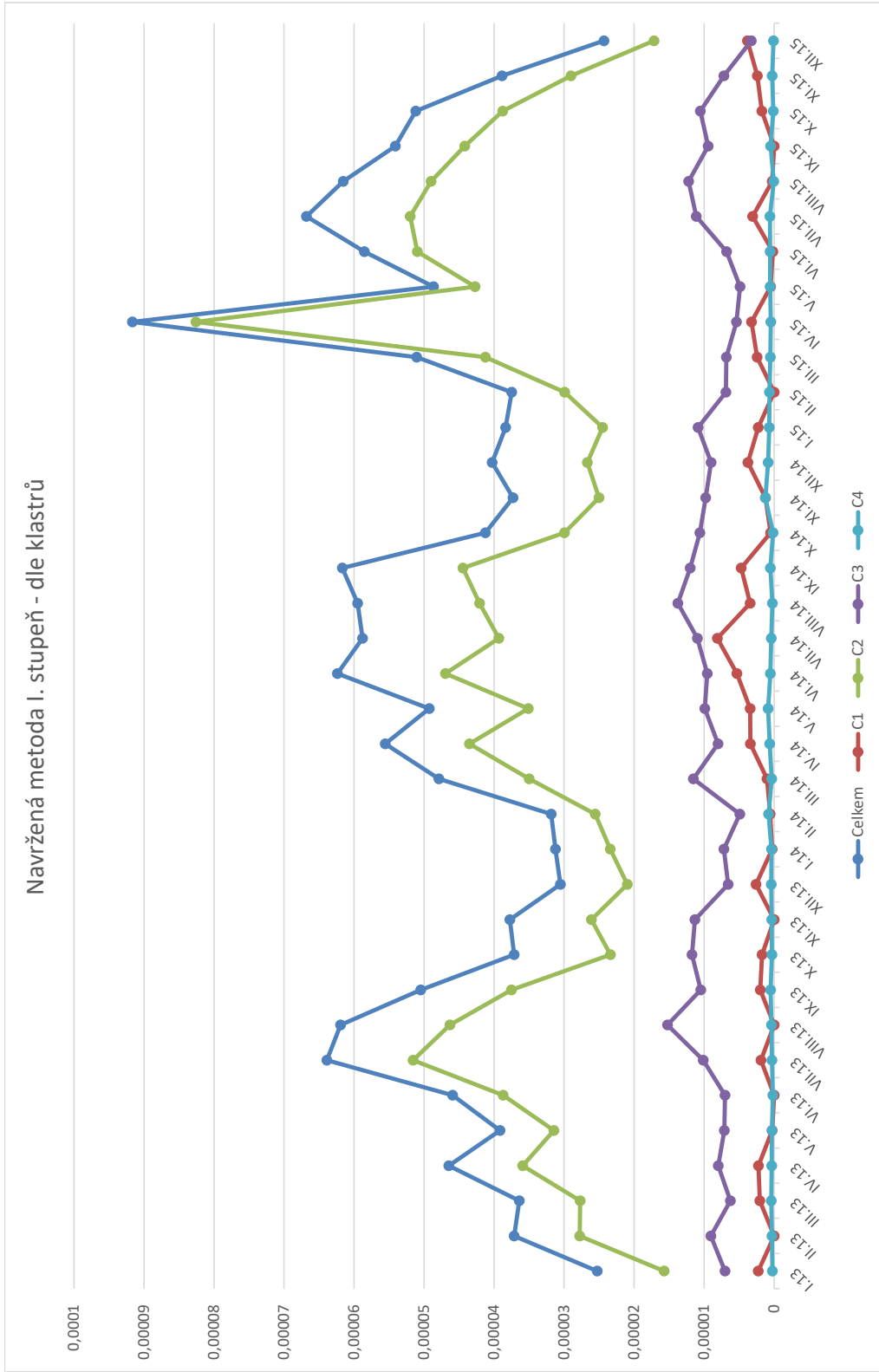
Obrázek 9.3: Grafické vyjádření jednotlivých stupňů navržené metody pro indikátor Narušení RWY letadlem



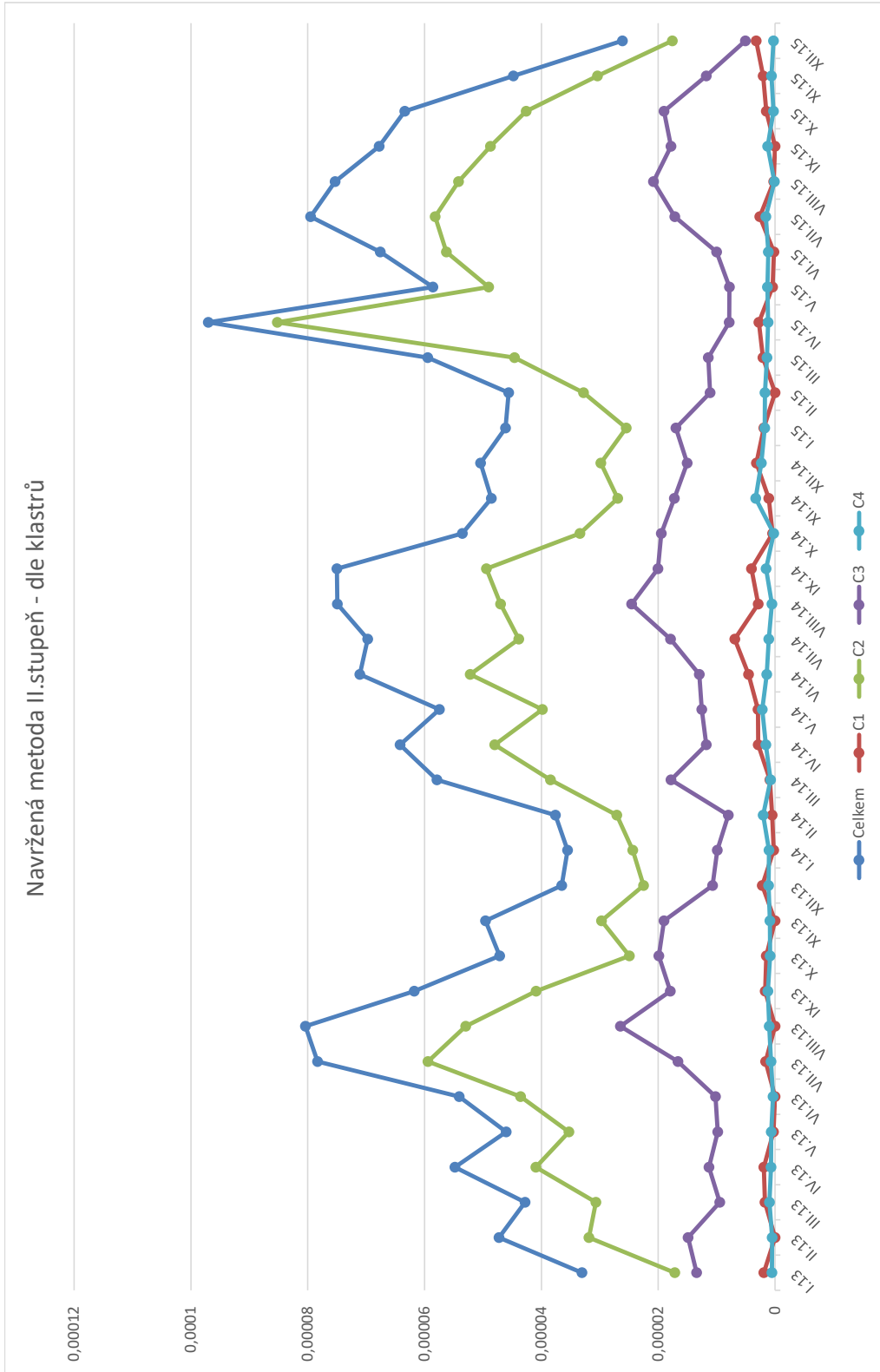
Obrázek 9.4: Vývoj bezpečnosti systému - srovnání



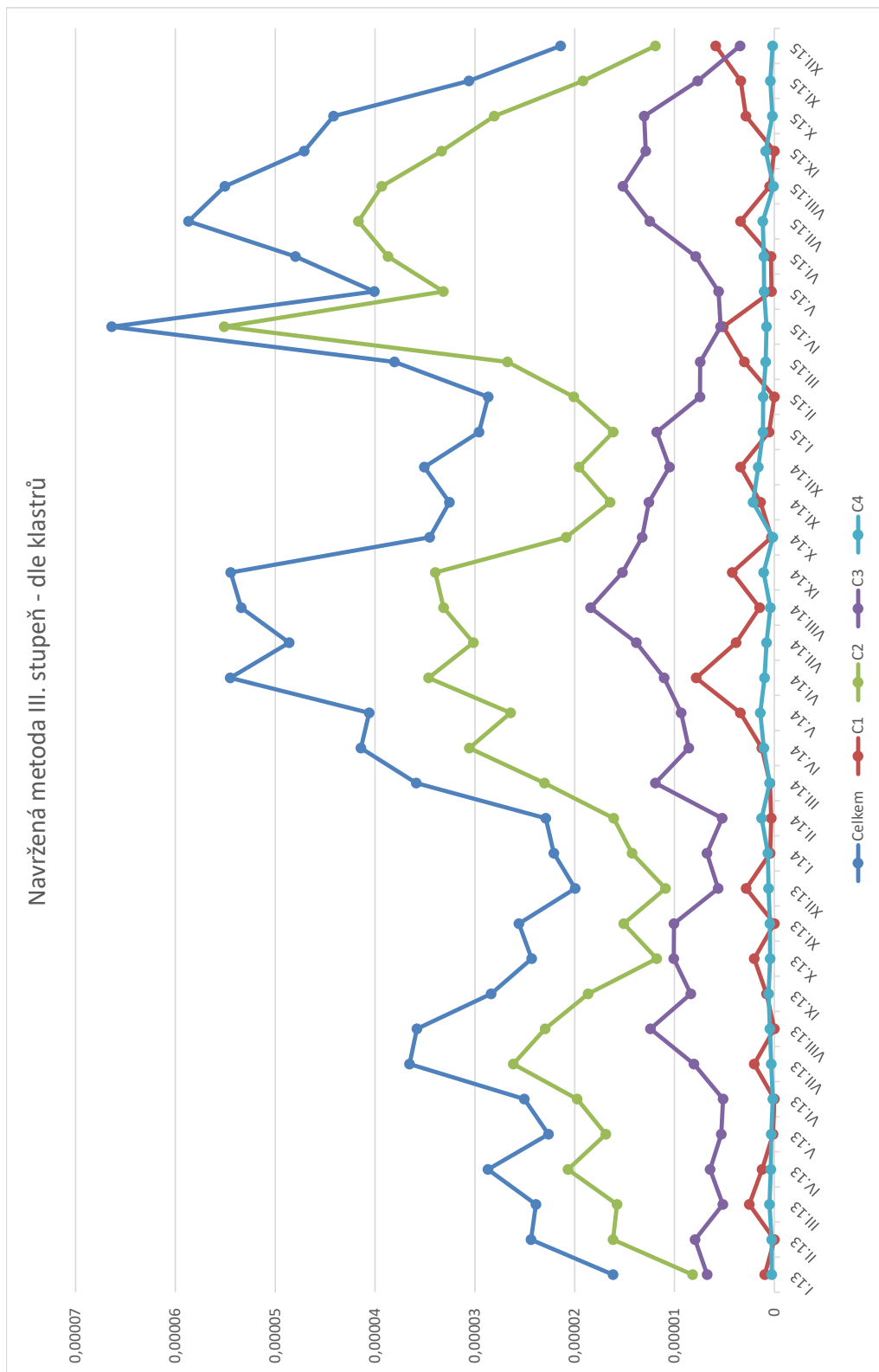
Obrázek 9.5: Vývoj bezpečnosti systému dle metody APF - zobrazení složek hodnocení



Obrázek 9.6: Vývoj bezpečnosti systému dle I. stupně navržené metody - zobrazení složek hodnocení



Obrázek 9.7: Vývoj bezpečnosti systému dle II. stupně navržené metody - zobrazení složek hodnocení



Obrázek 9.8: Vývoj bezpečnosti systému dle III. stupně navržené metody - zobrazení složek hodnocení

Tabulka 9.1: Data *Narušení RWY letadlem*

Provoz (počet pohybů)	Měsíc - Rok	Nehoda	Incident	Ostatní	Celkem
149513	I-13		5		5
144452	II-13		9		9
166346	III-13		14		14
177300	IV-13		19		19
198679	V-13		19		19
202830	VI-13		21		21
211265	VII-13		19		19
207514	VIII-13		25		25
202260	IX-13		19		19
195641	X-13		20		20
159870	XI-13		18		18
153419	XII-13		10		10
154070	I-14		16		16
146972	II-14		8		8
167307	III-14		19		19
181020	IV-14		20		20
202802	V-14		34	1	35
207600	VI-14		25		25
216597	VII-14		23		23
211947	VIII-14		22		22
206760	IX-14		20		20
198307	X-14		12	1	13
162390	XI-14		7		7
158968	XII-14		15		15
156754	I-15		15		15
151707	II-15		12		12
174238	III-15		10	1	11
183599	IV-15		15		15
202998	V-15		11	1	12
212845	VI-15		17	1	18
221805	VII-15		35		35
216454	VIII-15		28		28
210530	IX-15		9		9
203563	X-15		17		17
166940	XI-15		14		14
167233	XII-15		7		7

Tabulka 9.3: Výsledky APF pro indikátor *Narušení RWY letadlem*

Datum	Výsledek APF
I.13	1,66E-06
II.13	3,09E-06
III.13	4,17E-06
IV.13	5,31E-06
V.13	4,74E-06
VI.13	5,13E-06
VII.13	4,46E-06
VIII.13	5,97E-06
IX.13	4,65E-06
X.13	5,06E-06
XI.13	5,58E-06
XII.13	3,23E-06
I.14	5,14E-06
II.14	2,7E-06
III.14	5,63E-06
IV.14	5,47E-06
V.14	8,55E-06
VI.14	5,97E-06
VII.14	5,26E-06
VIII.14	5,14E-06
IX.14	4,79E-06
X.14	3,25E-06
XI.14	2,14E-06
XII.14	4,67E-06
I.15	4,74E-06
II.15	3,92E-06
III.15	3,13E-06
IV.15	4,05E-06
V.15	2,93E-06
VI.15	4,19E-06
VII.15	7,82E-06
VIII.15	6,41E-06
IX.15	2,12E-06
X.15	4,14E-06
XI.15	4,15E-06
XII.15	2,07E-06

Tabulka 9.4: Výsledky navržené metody pro indikátor *Narušení RWY letadlem*

Datum	Metoda APF	Stupeň I	Stupeň II	Stupeň III			Výsledek
				Acc	Inc	Rem	
I.13	1,66E-06	1,07E-06	9,58E-07	0	4,8E-07	0	4,8E-07
II.13	3,09E-06	1,99E-06	1,78E-06	0	9,32E-07	0	9,32E-07
III.13	4,17E-06	2,69E-06	2,41E-06	0	1,24E-06	0	1,24E-06
IV.13	5,31E-06	3,42E-06	3,07E-06	0	1,57E-06	0	1,57E-06
V.13	4,74E-06	3,05E-06	2,74E-06	0	1,32E-06	0	1,32E-06
VI.13	5,13E-06	3,3E-06	2,96E-06	0	1,37E-06	0	1,37E-06
VII.13	4,46E-06	2,87E-06	2,58E-06	0	1,16E-06	0	1,16E-06
VIII.13	5,97E-06	3,85E-06	3,45E-06	0	1,53E-06	0	1,53E-06
IX.13	4,65E-06	3E-06	2,69E-06	0	1,24E-06	0	1,24E-06
X.13	5,06E-06	3,26E-06	2,93E-06	0	1,43E-06	0	1,43E-06
XI.13	5,58E-06	3,59E-06	3,22E-06	0	1,68E-06	0	1,68E-06
XII.13	3,23E-06	2,08E-06	1,87E-06	0	9,82E-07	0	9,82E-07
I.14	5,14E-06	3,31E-06	2,97E-06	0	1,86E-06	0	1,86E-06
II.14	2,7E-06	1,74E-06	1,56E-06	0	9,79E-07	0	9,79E-07
III.14	5,63E-06	3,62E-06	3,25E-06	0	2,02E-06	0	2,02E-06
IV.14	5,47E-06	3,53E-06	3,16E-06	0	2,12E-06	0	2,12E-06
V.14	8,55E-06	5,51E-06	4,94E-06	0	3,35E-06	3,05531E-08	3,38E-06
VI.14	5,97E-06	3,84E-06	3,45E-06	0	2,39E-06	0	2,39E-06
VII.14	5,26E-06	3,39E-06	3,04E-06	0	2,19E-06	0	2,19E-06
VIII.14	5,14E-06	3,31E-06	2,97E-06	0	2,17E-06	0	2,17E-06
IX.14	4,79E-06	3,09E-06	2,77E-06	0	1,95E-06	0	1,95E-06
X.14	3,25E-06	2,09E-06	1,88E-06	0	1,16E-06	2,99735E-08	1,19E-06
XI.14	2,14E-06	1,38E-06	1,23E-06	0	7,93E-07	0	7,93E-07
XII.14	4,67E-06	3,01E-06	2,7E-06	0	1,85E-06	0	1,85E-06
I.15	4,74E-06	3,05E-06	2,74E-06	0	1,78E-06	0	1,78E-06
II.15	3,92E-06	2,52E-06	2,26E-06	0	1,48E-06	0	1,48E-06
III.15	3,13E-06	2,02E-06	1,81E-06	0	1,05E-06	3,27113E-08	1,09E-06
IV.15	4,05E-06	2,61E-06	2,34E-06	0	1,55E-06	0	1,55E-06
V.15	2,93E-06	1,89E-06	1,69E-06	0	1,09E-06	3,06651E-08	1,12E-06
VI.15	4,19E-06	2,7E-06	2,42E-06	0	1,61E-06	2,93194E-08	1,64E-06
VII.15	7,82E-06	5,04E-06	4,52E-06	0	3,29E-06	0	3,29E-06
VIII.15	6,41E-06	4,13E-06	3,7E-06	0	2,7E-06	0	2,7E-06
IX.15	2,12E-06	1,36E-06	1,22E-06	0	8,53E-07	0	8,53E-07
X.15	4,14E-06	2,67E-06	2,39E-06	0	1,64E-06	0	1,64E-06
XI.15	4,15E-06	2,68E-06	2,4E-06	0	1,53E-06	0	1,53E-06
XII.15	2,07E-06	1,34E-06	1,2E-06	0	8,13E-07	0	8,13E-07

Kapitola 10

Vyhodnocení

Během vyhodnocení rozebereme jednotlivé kroky metody APF a nově navržené metody a ukážeme rozdíly mezi nimi. Pro co největší přesnost porovnání používáme pro obě metody stejné události. Rozhodovatelé určují váhu události u obou metod. Tím se zabrání zkreslení pokud by se některé váhy získali z jiných zdrojů.

10.1 Dotazník

Dotazník je pro obě metody stejný. Rozhodovatelé odpovídali na stejné otázky bez ohledu na použitou metodu. Rozdílné je pouze zpracování odpovědi tak, aby byla odpověď jak dle *metody párového srovnání kritérií* tak i dle *metody kvantitativního párového srovnání kritérií*.

10.2 Výběr metody ohodnocení prvků systému

Prvním velkým rozdílem mezi metodou APF a nově navrženou metodou je metoda ohodnocení prvků systému. Metoda APF využívá *metodu párového srovnání kritérií* a nově navržená metoda využije k ohodnocení prvků *metodu kvantitativního párového srovnání kritérií*. Jak se volba metody projeví na výsledných váhových ohodnocení je možné vidět na tabulce 10.1.

V hodnocení je vidět, že zejména u *Kolizí* se zvedla priorita. Dále dochází k výraznému zvýšení u *Událostí ve vzduchu*. Změna v pořadí důležitosti je pak uvedena v tabulce 10.2. Je vidět, že u událostí s maximální nebo minimální vahou dochází pouze k minimálním změnám. Oproti tomu u událostí se střední důležitostí dochází k změnám výrazným.

Tabulka 10.1: Porovnání metod hodnocení

Alternativa	Navržená metoda	APF	Rozdíl	Relativní změna [%]
A ₁	0,297045	0,116117	0,180927	62,39
A ₂	0,224769	0,087864	0,136905	47,21
A ₃	0,042866	0,016757	0,026109	9,00
A ₄	0,058123	0,022721	0,035402	12,21
A ₅	0,082671	0,024238	0,058433	20,15
A ₆	0,076155	0,022327	0,053828	18,56
A ₇	0,019868	0,005825	0,014043	4,84
A ₈	0,012075	0,00354	0,008535	2,94
A ₉	0,021439	0,006285	0,015153	5,23
A ₁₀	0,009381	0,00275	0,006631	2,29
A ₁₁	0,03192	0,005441	0,026479	9,13
A ₁₂	0,012092	0,002061	0,010031	3,46
A ₁₃	0,004456	0,00076	0,003696	1,27
A ₁₄	0,028018	0,004776	0,023242	8,01
A ₁₅	0,007135	0,001216	0,005919	2,04
A ₁₆	0,019363	0,002816	0,016547	5,71
A ₁₇	0,004924	0,000716	0,004208	1,45
A ₁₈	0,005436	0,000791	0,004646	1,60
A ₁₉	0,008821	0,001283	0,007538	2,60
A ₂₀	0,006389	0,000929	0,00546	1,88
A ₂₁	0,004178	0,000608	0,00357	1,23
A ₂₂	0,005879	0,000855	0,005024	1,73
A ₂₃	0,01462	0,002127	0,012493	4,31
A ₂₄	0,002378	0,000346	0,002032	0,70

Tabulka 10.2: Změna pořadí důležitosti alternativ vzhledem k navržené metodě

Alternativa	APF	Alternativa	Navržená metoda	Změna v pořadí oproti APF
A ₁	0,116117	A ₁	0,297045	0
A ₂	0,087864	A ₂	0,224769	0
A ₅	0,024238	A ₅	0,082671	0
A ₄	0,022721	A ₆	0,076155	+1
A ₆	0,022327	A ₄	0,058123	-1
A ₃	0,016757	A ₃	0,042866	0
A ₉	0,006285	A ₁₁	0,03192	+2
A ₇	0,005825	A ₁₄	0,028018	+2
A ₁₁	0,005441	A ₉	0,021439	-2
A ₁₄	0,004776	A ₇	0,019868	-2
A ₈	0,00354	A ₁₆	0,019363	+1
A ₁₆	0,002816	A ₂₃	0,01462	-2
A ₁₀	0,00275	A ₁₂	0,012092	+2
A ₂₃	0,002127	A ₈	0,012075	-3
A ₁₂	0,002061	A ₁₀	0,009381	+2
A ₁₉	0,001283	A ₁₉	0,008821	0
A ₁₅	0,001216	A ₁₅	0,007135	0
A ₂₀	0,000929	A ₂₀	0,006389	0
A ₂₂	0,000855	A ₂₂	0,005879	0
A ₁₈	0,000791	A ₁₈	0,005436	0
A ₁₃	0,00076	A ₁₇	0,004924	+1
A ₁₇	0,000716	A ₁₃	0,004456	-1
A ₂₁	0,000608	A ₂₁	0,004178	0
A ₂₄	0,000346	A ₂₄	0,002378	0

10.3 Započtení vlivu indikátoru a závažnosti událostí

Zde končí přesné porovnání nově navržené metody a metody APF. Při metodě APF by nyní přišla na řadu aplikace na reálná data tj. na počet událostí a celkovou velikost provozu. Navržený systém ale doplňuje hodnocení systému o hodnocení vlivu jedné události na druhou (II. stupeň). Jelikož je to již výrazný odklon od metody APF nebudeme v této práci dále srovnávat číselná hodnocení ale již pouze prioritizaci jednotlivých událostí. Porovnání nám ukáže, jak výrazně se změnila důležitost událostí, pokud vezmeme v úvahu i jejich vliv na další události. Pro další ukázkou v rámci této práce vybereme jednu ze 7 možných variant (viz. tabulka 8.9) vah vlivu jedné události na druhou. Pro znázornění navržené metody jsme pro účel této práce vybrali poměr mezi kritérii 85:15. Tento výběr je zdůvodněn v kapitole 9. Změnu pořadí důležitosti alternativ nám ukazuje tabulka 10.3

Při využití III. stupně dochází pouze k úpravě celkového výsledku v závislosti na naměřených datech. Není tedy potřeba porovnávat pořadí alternativ. Soustředíme se tedy spíše na změny mezi navrženými metodami nebo jednotlivými stupni nově navržené metody. Předně je nutno uvést, že bez ohledu na průběh výsledných hodnot by naším cílem vždy měla být co největší přesnost. V jednotlivých stupních navržené metody dochází ke zpřesnění výsledků. Váhy indikátorů a vazby mezi nimi jsou určeny tak správně, jak to umožňovaly zkušenosti osob podílejících se na této práci. Při praktickém užití se váhová ohodnocení nebo vazby mohou lišit ale nic to nemění na faktu, že se celková přesnost, užitím navržené metody, zvyšuje.

10.4 Vyhodnocení celkové bezpečnosti systému

Při porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti systému metodou APF a nově navrženou metodou vidíme zvýšení důležitosti indikátorů s fatálními následky (klastř C_1 Kolize). Ty se podstatně více promítají do hodnocení. Je to způsobeno možností vyjádření důležitosti těchto indikátorů při váhových ohodnoceních a také zvýšením váhy událostí, které jsou hodnoceny jako letecká nehoda a letecký incident, kam ve většině případů tyto události spadají. Proto i přes relativně nízký počet těchto událostí se projeví na výsledném hodnocení bezpečnosti celého systému.

Koeficienty pro ohodnocení závažnosti nám také pomáhají přiblížit indikátory, které jsou na první pohled méně důležité, ale které se z větší části skládají ze závažnějších událostí k těm, které nejsou tak často hodnoceny zvýšenou závažností. Grafické vyjádření na obrázku 9.8 nám také ukazuje,

Tabulka 10.3: Tabulka změny důležitosti alternativ při zahrnutí vah vlivu

APF	Navržená metoda	Změna pořadí
A ₁	A ₁	0
A ₂	A ₂	0
A ₅	A ₅	0
A ₄	A ₆	+1
A ₆	A ₄	-1
A ₃	A ₃	0
A ₉	A ₇	+1
A ₇	A ₁₆	+5
A ₁₁	A ₉	-2
A ₁₄	A ₁₁	-1
A ₈	A ₈	0
A ₁₆	A ₁₄	-2
A ₁₀	A ₁₀	0
A ₂₃	A ₁₉	+2
A ₁₂	A ₂₃	-1
A ₁₉	A ₂₀	2
A ₁₅	A ₁₅	0
A ₂₀	A ₁₂	-3
A ₂₂	A ₂₂	0
A ₁₈	A ₁₈	0
A ₁₃	A ₁₇	+1
A ₁₇	A ₂₁	+1
A ₂₁	A ₁₃	-2
A ₂₄	A ₂₄	0

jak se zvýší důležitost některých méně důležitých indikátorů ve chvíli, kdy nastane velké množství událostí patřících pod tento indikátor. Z původně jednotvárného hodnocení napříč všemi indikátory s nižším váhovým hodnocením (například klastr C_4 *Porucha ATM systémů*) nyní můžeme jednodušeji vytipovat indikátory, které si zaslouží náš zvýšený zájem.

V hodnocení vidíme, že velký podíl na celkové bezpečnosti mají indikátory z klastru C_2 *Událost ve vzduchu*. Jejich výsledný podíl ve většině případů převyšuje ostatní klastry. Je to způsobeno jejich vysokým váhovým ohodnocením (vše co se stane ve vzduchu je nebezpečnější než to co se stane na zemi) a zároveň poměrně velkou četností. Při pohledu na křivku vyjadřující podíl klastru C_3 *Událost na zemi* vidíme její vyhlazenější průběh. Přesto, že indikátory pod které spadají události na zemi, jsou důležité, není jich tak velké množství ve srovnání s událostmi ve vzduchu.

Můžeme konstatovat, že při užití nově navržené metody dochází ke zmenšení rozdílů mezi jednotlivými indikátory a zároveň ke zvýraznění jinak zapadajících indikátorů. To nám umožňuje najít prioritní oblasti problému. Ve chvíli, kdy se dvě oblasti jeví obdobně důležité je možné zvolit ten s nižšími potřebnými prostředky. Máme jistotu, že tyto prostředky budou využity účelně a zvýší nám bezpečnost celého systému. V této jistotě nám pomáhá zvýšení přesnosti celého hodnocení.

Kapitola 11

Závěr

V této práci jsme se zabývali navržením nové metody pro hodnocení bezpečnosti systému a tuto metodu jsme následně porovnával se současně používanou metodou APF. Metod a cest vedoucích ke zvýšení bezpečnosti je samozřejmě více. Zde ukazujeme jednu z možností, a to úpravu a nastavení metody v současné době používané. Metoda byla navrhována s ohledem na možné využití i v jiných odvětvích, než je letecký průmysl. Je přenositelná na další systémy s vysokou mírou potřebné bezpečnosti, které pracují s vyhodnocováním KPI. Při úpravě je možné metodu využít i na jiné než bezpečnostní systémy.

Ukazuje se, že je důležitá analýza systému jako jednoho fungujícího celku. Ve chvíli, kdy bezpečnost bereme jako komplexní problém se všemi možnými vztahy a důsledky jsme schopni v tomto systému najít vazby, které by v případě striktně děleného systému nebylo možné objevit. Tyto vazby a vnitřní propojení mohou ukázat nové možnosti, jak k celému problému přistoupit.

Navrženou metodu jsme s metodou APF porovnávali v jednotlivých fázích. Srovnávali jsme váhová ohodnocení indikátorů bez ohledu na naměřená reálná data a následně proběhlo srovnání i po aplikaci na reálná data. Srovnání probíhalo i v rámci jednotlivých stupňů aplikace navržené metody. Ta je schopna fungovat i ve chvíli, kdy se uživatel rozhodne nevyužít všechny možnosti (stupně) navržené metody. Je možná implementace „po částech“ tj. metoda funguje už při zavedení I. stupně (který odpovídá metodě APF se změnou v metodě hodnocení váhy indikátorů), na něj je možné přidat nastavení – II. stupeň, který zavádí ohodnocení vazeb mezi indikátory. V případě, že chceme pokračovat a dokončit kompletní aplikaci navržené metody zavedeme III. stupeň, a to koeficienty závažnosti naměřené události.

Již při použití I. stupně navržené metody docházíme ke zpřesnění výsledků v řádu jednotek až desítek procent (nejvyšší naměřená změna je 62%). Rozdílem mezi metodou APF a navrženou metodou je pouze změna metodiky pro váhové hodnocení. Nejedná se tedy o výrazný zásah do systému, a přesto dosahujeme významného zvýšení přesnosti. Už využitím I. stupně nové metody získáme při velmi malé náročnosti výrazné zvýšení přesnosti. Zde je poslední možné přímé srovnání s metodou APF. Ostatní části jsou již metodě APF výrazně vzdáleny.

II. stupeň do hodnocení přináší vliv nehierarchických vazeb v systému. Je tedy možné váhově zohlednit vlivy jednotlivých událostí na další události. Je prokázáno, že velké nehody jsou způsobeny řetězcem méně důležitých událostí, které ve většině případů skončí dobře. Pokud se na ně soustředíme i ve chvíli, kdy nezpůsobí významné bezpečnostní ohrožení můžeme toto ohrožení v budoucnu zachytit dostatečně v předstihu. Tato změna se nejvíce projevuje na událostech, které jsou poměrně důležité a zároveň časté, přestože ve většině případů nedochází k fatálním následkům.

Při aplikaci reálných dat na systém se dostáváme ke III. stupni, a to zohlednění závažnosti naměřené události. Tento stupeň nám ještě více zpřesní konečný výsledek. Události, které mají stejné zařazení se mohou lišit v jejich závažnosti. To zohledníme koeficientem. Výsledkem je pak součet všech událostí s různým koeficientem.

Navržená metoda zvyšuje důležitost těch nejzávažnějších událostí, ty se tak i při malém počtu výrazněji projevují. Dochází ale také ke zvýraznění indikátorů, které sice nemají tak vysoké váhové ohodnocení, ale které mají vliv na důležitější indikátory a kterých je velké množství. Můžeme tedy ve skupině méně důležitých indikátorů lépe najít ty, kterým bychom se měli věnovat přednostně. Tím, že dochází k zvýšení důležitosti na první pohled méně důležitých událostí, máme vytipované další oblasti, kde zlepšit bezpečnost systému. Na nás je pak to, abychom co nejvýhodněji investovali dostupné prostředky. Díky zvýšení přesnosti máme vyšší jistotu, že je využijeme účelně.

V rámci zobrazení výsledků modelu můžeme jít do nejmenších detailů. Vše závisí na uživateli a na podrobnosti dostupných dat. Metoda se dá poměrně jednoduše modifikovat a přidávat do ní další indikátory nebo měnit hodnocení již zavedených indikátorů. Metoda v současnosti bere ohled na dvě kritéria. Není ale výraznějším problémem tuto metodu modifikovat a zavést další kritérium například finanční náročnost nebo jakékoliv relevantní kritérium, ke kterému máme dostatek dat. Relevantní data jsou pro tuto práci zásadní. Čím větší je jejich množství, tím lépe. Zvyšuje se pak ale náročnost

jejich zpracování. V této práci jsme zvolili množství dat, které je dostatečné pro potřeby práce a zároveň, které je stále možné zpracovat v dostupných podmínkách. V práci také dochází ke zjednodušením, které dostatečně ilustrují použité metody a principy, ale které sníží rozsah a komplexitu práce.

Trendem v technologiích je zpracovávání většího a většího počtu dat. Čím více dostupných dat máme, tím přesnější jsou používané metody, modely a my můžeme přesněji reagovat. V letectví, vše začalo vyšetřováním leteckých nehod. Nyní zpracováváme data mimořádných událostí s více podrobnostmi. V oblasti shromažďování dat bychom měli směřovat k zaznamenávání i běžných provozních dat, bez ohledu na to, zda mimořádná událost nastala. To nám pomůže odhalit možnou příčinu mimořádné události ještě předtím, než může nastat. Tato data se dále dají využít pro zvýšení efektivity celého procesu.

Bezpečnost v leteckém odvětví se zvyšuje i dalšími způsoby například zaváděním filosofie Just Culture, nařízeními státu a dalšími prostředky. Jedná se o kontinuální proces, u kterého chceme dosáhnout dokonalosti. Té ale dosáhnout ani nemůžeme, a proto se k ní snažíme alespoň přiblížit s ohledem na naše možnosti. Analýza bezpečnosti systému je jedním ale z daleka ne jediným způsobem.

Literatura

- [1] EUROCONTROL *The Aerospace Performance Factor (APF), Developing the EUROCONTROL ESARR 2 APF*, 2009
- [2] FIALA, Petr. *Modely a metody rozhodování*. 3., přeprac. vyd. V Praze: Oeconomica, 2013, 292 s. ISBN 978-80-245-1981-4.
- [3] LICU Antonio, SMITH Steven D., LINTNER Thomas M., CIOPENEA Radu, STEWART Simon, MAJUMDAR Arnab, DUPUY Marie-Dominique *The measurement of system-wide safety performance in aviation: Three case studies in the development of the aerospace performance factor (APF)*, 2009
- [4] CAPUTO Antonio C., PELAGAGGE Pacifico M., SALINI Paolo *AHP-based methodology for selecting safety devices of industrial machinery*, Safety Science, Volume 53, March 2013
- [5] SAATY, Thomas L. *Decision making with dependence and feedback: the analytic network process : the organization and prioritization of complexity*. 1st ed. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 1996, xiv, 370 p. ISBN 0962031798.
- [6] Joint Research Centre of the European Commission, ECCAIRS 4, Data Definition Standard - Events
- [7] Ministerstvo dopravy České Republiky, Předpis L13
- [8] Joint Research Centre of the European Commission, ECCAIRS 4.2.8, Data Definition Standard - Occurrence classes
- [9] SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Science. 2008, 2008(1), 83-98.
- [10] ROHÁČOVÁ, Ivana a MARKOVÁ, Zuzana. Analýza metody AHP a jej potenciálne využitie v logistike. Acta Montanistica Slovaca. 2009, 14(1), 103-112.

- [11] LINTNER, Thomas Michael, SMITH, Steven D. a SMURTHWAITE Scott. THE AEROSPACE PERFORMANCE FACTOR: UTILIZATION OF THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS TO DEVELOP A BALANCED PERFORMANCE AND SAFETY INDICATOR OF THE NATIONAL AIRSPACE SYSTEM FOR THE FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: Paper for the 2009 ISAHP. 2009, 2009.
- [12] ESARR 2: REPORTING AND ASSESSMENT OF SAFETY OCCURRENCES IN ATM. Brussels: EUROCONTROL, 2009.
- [13] EUROCONTROL KPI Deployment Guide, 2001
- [14] COLLINS, Robert L. Heinrich and Beyond. Process Safety Progress. 2010, 30(1), 2-5. DOI: 10.1002/prs.10422.
- [15] SAATY, Thomas L. DECISION MAKING: THE ANALYTIC HIERARCHY AND NETWORK PROCESSES (AHP/ANP). JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE AND SYSTEMS ENGINEERING. 2004, 13(1), 1-35. ISSN 1004-3756/04/1301/1.
- [16] PODVEZKO, Valentinas. APPLICATION OF AHP TECHNIQUE. Journal of Business Economics and Management. 2009, 10(2), 181–189.
- [17] EUROCONTROL Improving European ATM Safety through SMART Safety Indicators: 3rd SAFREP TF Report to Provisional Council European ATM Safety Performance Indicators. In: . 2009.
- [18] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Safety management manual (SMM). 3rd edition. Montreal, Quebec: International Civil Aviation Organization, 2013. ISBN 9789292492144.
- [19] WU, Zhijun a Wen PAN. Application of gray evaluation model based on AHP in ATM system. Journal of Electronics (China). 2008, 25(3), 428-432. DOI: 10.1007/s11767-007-0139-4. ISSN 0217-9822. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11767-007-0139-4>
- [20] DAĞDEVİREN, Metin a İhsan YÜKSEL. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. Information Sciences. 2008, 178(6), 1717-1733. DOI: 10.1016/j.ins.2007.10.016. ISSN 00200255.
- [21] DI GRAVIO, Giulio, Maurizio MANCINI, Riccardo PATRIARCA a Francesco COSTANTINO. Overall safety performance of the air traffic management system: Indica-

tors and analysis. *Journal of Air Transport Management*. 2015, 44-45, 65-69. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2015.02.005. ISSN 09696997.

[22] Manual on the prevention of runway incursions. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2007. ISBN 92-9194-874-8.

Kapitola 12

Příloha

12.1 Data o počtech událostí dle indikátoru a závažnosti

2020500	Odchýlení letadla od povolení ATC			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		6	0	6
II.13		5	0	5
III.13		0	0	0
IV.13		4	0	4
V.13		3	0	3
VI.13		9	0	9
VII.13		13	0	13
VIII.13		11	0	11
IX.13		6	0	6
X.13		8	0	8
XI.13		3	1	4
XII.13		5	2	7
I.14		6	1	7
II.14		7	0	7
III.14		6	1	7
IV.14		8	1	9
V.14		9	1	10
VI.14		7	1	8
VII.14		9	0	9
VIII.14		6	0	6
IX.14		3	2	5

X.14		8	1	9
XI.14		3	0	3
XII.14		2	1	3
I.15		4	0	4
II.15		8	0	8
III.15		14	4	18
IV.15		12	0	12
V.15		11	0	11
VI.15		10	0	10
VII.15		8	0	8
VIII.15		2	0	2
IX.15		7	0	7
X.15		14	0	14
XI.15		2	0	2
XII.15		0	0	0
2020700	Odchýlení letadla od příslušných platných předpisů uspořádání letového provozu			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13		1		1
IV.13		1		1
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13				0
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0
VII.14				0
VIII.14				0

IX.14				0
X.14				0
XI.14				0
XII.14				0
I.15				0
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15				0
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
2050100	Srážka letadla s jiným letadlem ve vzduchu			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13				0
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13				0
I.14	0	0	0	0
II.14	0	0	0	0
III.14	0	0	0	0
IV.14	0	1	0	1
V.14	1	0	0	1
VI.14	0	0	0	0
VII.14	2	2	0	4
VIII.14	0	1	0	1

IX.14	2	0	0	2
X.14	0	0	0	0
XI.14	0	0	0	0
XII.14	0	0	0	0
I.15				0
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15				0
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
2050103	Srážka mezi dvěma letadly pohybujícími se po zemi			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		1		1
II.13				0
III.13	1			1
IV.13		1		1
V.13				0
VI.13				0
VII.13	1			1
VIII.13				0
IX.13		1		1
X.13	1			1
XI.13				0
XII.13	1			1
I.14	1	0	0	1
II.14	0	2	0	2
III.14	0	3	1	4
IV.14	0	6	0	6
V.14	0	1	0	1
VI.14	1	3	1	5
VII.14	1	4	0	5
VIII.14	0	3	0	3

IX.14	1	1	0	2
X.14	0	1	0	1
XI.14	0	2	0	2
XII.14	0	0	0	0
I.15				0
II.15				0
III.15		3		3
IV.15				0
V.15		1		1
VI.15	1			1
VII.15		2		2
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15		1		1
XII.15		1		1
2050200	Řízený let do terénu			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		1		1
II.13				0
III.13	1			1
IV.13		1		1
V.13				0
VI.13				0
VII.13	1			1
VIII.13				0
IX.13		1		1
X.13	1			1
XI.13				0
XII.13	1			1
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14	1			1
VI.14	3			3
VII.14		1		1
VIII.14		1		1

IX.14	1			1
X.14				0
XI.14				0
XII.14	1		1	2
I.15			1	1
II.15				0
III.15	1			1
IV.15	2			2
V.15				0
VI.15				0
VII.15	1	1		2
VIII.15				0
IX.15				0
X.15	1			1
XI.15	1			1
XII.15	2			2
2050408	Srážka letadla se zaparkovaným letadlem			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13	1			1
V.13		1		1
VI.13				0
VII.13	1			1
VIII.13				0
IX.13		1		1
X.13				0
XI.13				0
XII.13			1	1
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14		1		1
V.14		1		1
VI.14				0
VII.14	1			1
VIII.14				0

IX.14				0
X.14		1		1
XI.14	2			2
XII.14				0
I.15		1		1
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15		1		1
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15	1			1
IX.15				0
X.15	1			1
XI.15	1			1
XII.15				0
2070100	Vyjetí letadla z RWY do strany			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13	0	1	0	1
II.13	1	7	0	8
III.13	2	0	0	2
IV.13	5	2	0	7
V.13	5	4	0	9
VI.13	4	0	0	4
VII.13	6	3	0	9
VIII.13	7	0	0	7
IX.13	1	2	1	4
X.13	3	3	0	6
XI.13	1	2	0	3
XII.13	0	3	0	3
I.14	3	3	0	6
II.14	1	0	0	1
III.14	5	6	0	11
IV.14	4	1	0	5
V.14	4	6	0	10
VI.14	13	3	0	16
VII.14	6	2	0	8
VIII.14	3	1	0	4

IX.14	7	3	0	10
X.14	2	0	1	3
XI.14	8	1	0	9
XII.14	1	1	0	2
I.15	4	7	0	11
II.15	1	1	0	2
III.15	1	2	0	3
IV.15	1	1	0	2
V.15	1	0	0	1
VI.15	6	1	0	7
VII.15	0	2	0	2
VIII.15	0	0	0	0
IX.15	3	0	0	3
X.15	0	1	0	1
XI.15	1	0	0	1
XII.15	0	1	0	1
2180100	Nedostatečný odstup letadel ve vzduchu, kdy téměř došlo ke srážce			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		21	0	21
II.13		31	0	31
III.13		39	0	39
IV.13		50	0	50
V.13		51	0	51
VI.13		64	0	64
VII.13		83	0	83
VIII.13		75	0	75
IX.13		67	0	67
X.13		43	0	43
XI.13		32	0	32
XII.13		29	1	30
I.14		36		36
II.14		36		36
III.14		50	1	51
IV.14		68		68
V.14		57		57
VI.14		81	1	82
VII.14		69	2	71
VIII.14		73	1	74

IX.14		77		77
X.14		48	2	50
XI.14		36	1	37
XII.14		35		35
I.15		38		38
II.15		39	1	40
III.15		66		66
IV.15		151	1	152
V.15		66	1	67
VI.15		93		93
VII.15		95		95
VIII.15		90		90
IX.15		80		80
X.15		69		69
XI.15		47		47
XII.15		29		29
2180201	Situace, kdy téměř došlo k řízení letu do terénu			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13				0
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13		1		1
XII.13				0
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0
VII.14				0
VIII.14				0

IX.14				0
X.14				0
XI.14				0
XII.14				0
I.15				0
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15				0
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
2200101	Narušení RWY letadlem			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		5		5
II.13		9		9
III.13		14		14
IV.13		19		19
V.13		19		19
VI.13		21		21
VII.13		19		19
VIII.13		25		25
IX.13		19		19
X.13		20		20
XI.13		18		18
XII.13		10		10
I.14		16		16
II.14		8		8
III.14		19		19
IV.14		20		20
V.14		34	1	35
VI.14		25		25
VII.14		23		23
VIII.14		22		22

IX.14		20		20
X.14		12	1	13
XI.14		7		7
XII.14		15		15
I.15		15		15
II.15		12		12
III.15		10	1	11
IV.15		15		15
V.15		11	1	12
VI.15		17	1	18
VII.15		35		35
VIII.15		28		28
IX.15		9		9
X.15		17		17
XI.15		14		14
XII.15		7		7
2020400	Narušení vzdušného prostoru			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		23		23
II.13		62	1	63
III.13		64		64
IV.13		100		100
V.13		92		92
VI.13		111		111
VII.13		176		176
VIII.13		149		149
IX.13		90		90
X.13		40		40
XI.13		63	1	64
XII.13		26	2	28
I.14		20	3	23
II.14		28	2	30
III.14		70		70
IV.14		88	9	97
V.14		97	6	103
VI.14		122	9	131
VII.14		110	5	115
VIII.14		119	6	125

IX.14		122	5	127
X.14		71	5	76
XI.14		40	4	44
XII.14		55	5	60
I.15		29		29
II.15		48	2	50
III.15		62	2	64
IV.15		108	2	110
V.15		135	1	136
VI.15		138		138
VII.15		164		164
VIII.15		146		146
IX.15		119		119
X.15		89		89
XI.15		43		43
XII.15		22		22
2020702	Odchýlení od příslušných předpisů stanovené výbavy a provozu letadla vzhledem k ATM			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13				0
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13				0
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0
VII.14				0

VIII.14				0
IX.14				0
X.14				0
XI.14				0
XII.14				0
I.15				0
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15				0
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
2200103	Narušení RWY osobou			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13		3		3
IV.13		4		4
V.13		1		1
VI.13		2		2
VII.13		0		0
VIII.13		3		3
IX.13		1		1
X.13		1		1
XI.13		0		0
XII.13		1		1
I.14				0
II.14		2		2
III.14		2		2
IV.14				0
V.14		2		2
VI.14	1	1		2
VII.14		1		1

VIII.14		1		1
IX.14		1		1
X.14				0
XI.14				0
XII.14				0
I.15		1		1
II.15				0
III.15		1		1
IV.15		1		1
V.15		1		1
VI.15			1	1
VII.15		1		1
VIII.15		3		3
IX.15		1		1
X.15				0
XI.15		1		1
XII.15				0
2270100	Vyjetí letadla z RWY do stran			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		121		121
II.13		111		111
III.13		73		73
IV.13		83		83
V.13		77		77
VI.13		89		89
VII.13		180		180
VIII.13		302		302
IX.13		196		196
X.13		208		208
XI.13		161		161
XII.13		84		84
I.14		60		60
II.14		60		60
III.14		141		141
IV.14		94		94
V.14		84		84
VI.14		102		102
VII.14		198		198

VIII.14		294		294
IX.14		217	1	218
X.14		225		225
XI.14		156		156
XII.14		126		126
I.15		128		128
II.15		85		85
III.15		105		105
IV.15		63		63
V.15		80		80
VI.15		94		94
VII.15		181		181
VIII.15		243		243
IX.15		225		225
X.15		221		221
XI.15		101		101
XII.15		41		41
2270100	Ovlivnění letadla laserem			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		121		121
II.13		111		111
III.13		73		73
IV.13		83		83
V.13		77		77
VI.13		89		89
VII.13		180		180
VIII.13		302		302
IX.13		196		196
X.13		208		208
XI.13		161		161
XII.13		84		84
I.14		60		60
II.14		60		60
III.14		141		141
IV.14		94		94
V.14		84		84
VI.14		102		102
VII.14		198		198

VIII.14		294		294
IX.14		217	1	218
X.14		225		225
XI.14		156		156
XII.14		126		126
I.15		128		128
II.15		85		85
III.15		105		105
IV.15		63		63
V.15		80		80
VI.15		94		94
VII.15		181		181
VIII.15		243		243
IX.15		225		225
X.15		221		221
XI.15		101		101
XII.15		41		41
4050101	Neschopnost poskytovat služby ATS			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13				0
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13				0
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0
VII.14				0

VIII.14				0
IX.14				0
X.14				0
XI.14				0
XII.14		1		1
I.15				0
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15				0
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
4050102	Neschopnost poskytovat služby ASM			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13		1		1
IV.13				0
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13				0
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0
VII.14				0

VIII.14				0
IX.14				0
X.14				0
XI.14				0
XII.14				0
I.15				0
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15				0
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
4050200	Výpadek služby komunikace ATM			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		2		2
II.13		0		0
III.13		4		4
IV.13		2		2
V.13		2		2
VI.13		1		1
VII.13		2		2
VIII.13		5		5
IX.13		8		8
X.13		2		2
XI.13		3		3
XII.13		3		3
I.14		2		2
II.14		2		2
III.14		3		3
IV.14		1		1
V.14		5	1	6
VI.14		3		3
VII.14		4		4

VIII.14		3		3
IX.14		2		2
X.14		1		1
XI.14		3		3
XII.14		4		4
I.15		1		1
II.15		8		8
III.15		6		6
IV.15		8		8
V.15		8		8
VI.15		5		5
VII.15		10		10
VIII.15		0		0
IX.15		7		7
X.15		1		1
XI.15		3		3
XII.15		0		0
4050300	Výpadek pozemního systému služby dozoru			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		1		1
II.13		2		2
III.13		2		2
IV.13		2		2
V.13		3		3
VI.13		1		1
VII.13		4		4
VIII.13		4		4
IX.13		2		2
X.13		6		6
XI.13		3		3
XII.13		5		5
I.14		6		6
II.14		12		12
III.14		2		2
IV.14		12		12
V.14		13	1	14
VI.14		11		11
VII.14		7		7

VIII.14		1		1
IX.14		14		14
X.14		0		0
XI.14		23		23
XII.14		13		13
I.15		12		12
II.15		3		3
III.15		4		4
IV.15		1		1
V.15		2		2
VI.15		3		3
VII.15		5		5
VIII.15		1		1
IX.15		4		4
X.15		1		1
XI.15		1		1
XII.15		2		2
4050400	Výpadek služby zpracování dat			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13		3		3
II.13		8		8
III.13		4		4
IV.13		7		7
V.13		5		5
VI.13		5		5
VII.13		5		5
VIII.13		2		2
IX.13		5		5
X.13		1		1
XI.13		2		2
XII.13		0		0
I.14		0		0
II.14		5		5
III.14		4		4
IV.14		7		7
V.14		7		7
VI.14		4		4
VII.14		1		1

VIII.14		5		5
IX.14		1		1
X.14		5		5
XI.14		6		6
XII.14				0
I.15		5		5
II.15		3		3
III.15		4		4
IV.15		2		2
V.15		3		3
VI.15		7		7
VII.15		4		4
VIII.15		1		1
IX.15		4		4
X.15		3		3
XI.15		3		3
XII.15		1		1
4050500	Výpadek služby pomocných informací			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13		1		1
V.13		1		1
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13		1		1
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0
VII.14		1		1

VIII.14				0
IX.14				0
X.14				0
XI.14		2		2
XII.14				0
I.15		1		1
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15		1		1
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15		1		1
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
4050600	Výpadek pozemního systému služby navigace			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13				0
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13				0
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0
VII.14				0

VIII.14				0
IX.14				0
X.14				0
XI.14				0
XII.14				0
I.15				0
II.15				0
III.15				0
IV.15				0
V.15				0
VI.15				0
VII.15				0
VIII.15				0
IX.15				0
X.15				0
XI.15				0
XII.15				0
4060000	Výpadek bezpečnosti systému ATM/mimořádná událost s vlivem na bezpečnost			
Datum	Letecká nehoda	Incident	Ostatní události	Celkem
I.13				0
II.13				0
III.13				0
IV.13				0
V.13				0
VI.13				0
VII.13				0
VIII.13				0
IX.13				0
X.13				0
XI.13				0
XII.13				0
I.14				0
II.14				0
III.14				0
IV.14				0
V.14				0
VI.14				0

VII.14			0
VIII.14			0
IX.14			0
X.14			0
XI.14			0
XII.14			0
I.15			0
II.15			0
III.15			0
IV.15			0
V.15	1		1
VI.15	2		2
VII.15			0
VIII.15			0
IX.15			0
X.15			0
XI.15			0
XII.15			0