

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Oldřich Štumbauer

Současný stav implementace indikátorů bezpečnosti do provozu ŘLP

Ústav letecké dopravy K621

Vedoucí diplomové práce: Ing. Peter Vittek

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Letecká doprava



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Oldřich Štumbauer

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Současný stav implementace indikátorů
bezpečnosti do provozu ŘLP**

Název tématu (anglicky): Current Situation in Safety Indicators Implementation
to ANS

Zásady pro vypracování

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

- Úvod
- Představení indikátorů bezpečnosti jako nástroje pro řízení bezpečnosti založené na reálných datech z provozu a organizačních datech
- Průběh identifikace indikátorů bezpečnosti pro řízení letového provozu a kroky pro jejich implementaci
- Shodnocení současné situace a návrhy pro zlepšení využívání indikátorů v praxi
- Shrnutí
- Závěr

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Øien, K., Utne, I. B. and Herrera, I. A. "Building Safety indicators: Part 1
Øien, K., Utne, I. B. and Herrera, I. A. "Building Safety indicators: Part 2
Progress in Astronautics and Aeronautics: Air Transportation Systems Engineering

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Peter Vittek**

Datum zadání bakalářské práce: **20. září 2013**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **24. srpna 2015**
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. Daniel Hanus, CSc.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Oldřich Štumbauer
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. prosince 2014

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 vedoucímu mé práce: Ing. Peterovi Vittekovi a Ing. Andreji Lališovi z Ústavu letecké dopravy. Poděkování také patří mým přátelům a rodině, kteří mě podporovali nejen při psaní této práce ale i v průběhu celého mého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou 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).

Zliv, 10.8.2015

.....

Oldřich Štumbauer

Oldřich Štumbauer

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

Praha, 2015

Abstrakt

Vývoj bezpečnosti řízení letového provozu se v posledních letech soustředí na využívání bezpečnostních výkonnostních indikátorů. Způsob jejich zpracování a vyhodnocování se u různých organizací liší. Tato práce se zabývá indikátory pro řízení letového provozu a možnostmi použití analytických metod nebo některých jejich forem pro vyhodnocení nasbíraných dat a jejich nejvýhodnější využití. Dále porovnává užití hierarchické a síťové struktury pro zobrazení modelu systému a vazeb mezi jednotlivými prvky v těchto systémech.

Klíčová slova

KPI, SKPI, AHP, ANP, bezpečnost, ATM, modely rozhodování, proaktivní indikátory, reaktivní indikátory

Oldřich Štumbauer

CTU in Prague, Faculty of Transportation Science

Prague, 2015

Abstrakt

Development of Air traffic control has recently focused on using safety key performance indicators. Method of processing and evaluation is different in various organisations. The issue of this study is using analytical methods, or their parts, to evaluate collected indicator data, and to find the most optimal usage for them. The study also compares hierarchical and network model structure for displaying connections between each element of this system.

Klíčová slova

KPI, SKPI, AHP, ANP, safety, ATM, decision making, leading indicators, lagging indicators

Obsah

1 Úvod	11
2 Klíčové výkonnostní indikátory	12
2.1 Vytvoření a aplikace bezpečnostních indikátorů	12
2.2 Reaktivní indikátory	13
2.2.1 Letecká nehoda - Accident	14
2.2.2 Skoro nehoda	15
2.2.3 Letecký incident – (Incident)	15
2.3 Proaktivní indikátory	18
2.3.1 Aplikace RAT - Risk Analysis Tool	19
2.3.2 Efektivita bezpečnostního managementu EoSM – Effectiness od Safety Ma- nagement)	20
2.3.3 Spravedlivé posuzování – Just Culture	21
3 Váhové ohodnocení	23
3.1 Metoda váhového srovnání kritérií	23
3.2 Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií	24
3.3 Příklad výpočtu vah kritérií	26
4 Modely rozhodování	27
4.1 Analytic Hierarchy Process – AHP	28
4.2 Aerospace performance factor – APF	29
4.3 Analytic Network Process - ANP	31
5 Praktická část	34
5.1 Výběr indikátorů	34
5.2 Sestrojení hierarchické struktury	35
5.2.1 Váhové ohodnocení indikátorů	36
5.3 Implementace nehierarchických vazeb do systému	37
6 Vyhodnocení	41
7 Závěr	43
Literatura	44

Seznam obrázků

2.1	Ukázka vývoje indikátoru znázorněná smyčkou. [8]	13
2.2	Příklad klasifikační tabulky pro metodu RAT. [3]	20
4.1	Příklad hierarchické struktury systému AHP [16]	28
4.2	Příklad hierarchické struktury systému, normalizovaná váha uvedena v závorce . . .	29
4.3	Hierarchická struktura APF EUROCONTROL [1]	30
4.4	EUROCONTROL APF [11]	31
4.5	Síťová struktura systému ANP [16]	32
5.1	Hierarchická struktura systému reaktivních indikátorů	36
5.2	Hierarchická struktura systému proaktivních indikátorů	36
5.3	Síťová struktura systému reaktivních indikátorů	39
5.4	Síťová struktura systému proaktivních indikátorů	39

Seznam tabulek

3.1	Příklad hodnocení kritérií	26
5.1	Váhové ohodnocení: Proaktivní indikátory	37
5.2	Váhové ohodnocení klastrů reaktivních indikátorů	37
5.3	Váhové ohodnocení: Srážky ve vzduchu	37
5.4	Váhové ohodnocení: Pozemní incidenty	38
5.5	Váhové ohodnocení: Potenciální / skoro vzdušné kolize	38
5.6	Váhové ohodnocení: Ztráta kontroly	38
5.7	Váhové ohodnocení: ATM specifické události	38
5.8	Váhové ohodnocení indikátorů	40
6.1	Podíl vlivu na celkové váze indikátoru a vliv na pořadí důležitost u reaktivních indikátorů	42
6.2	Podíl vlivu na celkové váze indikátoru a vliv na pořadí důležitost u proaktivních indikátorů	42

Seznam použitých zkratek

ANS	Letová navigační služba
ASM	Uspořádání vzdušného prostoru
ATC	Řídící letového provozu
ATMF	Uspořádání toku letového provozu
ATM	Uspořádání letového provozu
ATS	Letové provozní služby
IFR	Let podle přístrojů
KPI	Klíčové výkonnostní indikátory
NSA	Vnitrostátní dozorový orgán
RWY	Vzletová a přistávací dráha
SKPI	Bezpečnostní klíčové výkonnostní indikátory
VFR	Let za viditelnosti

Kapitola 1

Úvod

Bezpečnost letecké dopravy prošla od dob bratří Wrightů dlouhým vývojem. Díky normám, certifikacím a regulaci výroby se technologické chyby při výrobě snížily na minimum a předepsáním povinných prohlídek se zachytí naprostá většina závad vznikajících při běžném provozu. Tímto postupem společně s technologickým pokrokem se při dodržování předpisů snížila možnost selhání techniky na minimum. Každá letecká nehoda, ať už se jedná o dopravní letadlo na letu mezi kontinenty nebo malé sportovní letu při letu po okolí, je podrobena vyšetřování a po zjištění problému vedoucího k nehodě jsou aplikovány nařízení a postupy, aby se podobnému typu nehody dalo předejít. Díky těmto postupům se počet leteckých nehod snížil na minimum, a proto se musíme zaměřit na systém jako celek a odhalit jednotlivé události v rámci celého systému, které mohou k nehodám vést. Snížení počtu těchto událostí následně povede ke snížení pravděpodobnosti, že nastane fatální letecká nehoda.

Jedním ze způsobů je zaměření se na více druhů incidentů, které sice nejsou fatální, ale čím více jich nastane, tím větší je pravděpodobnost, že se některý fatální může stát nebo může pomoci k situaci, že fatální nehoda nastane.

Úkolem této práce je nastínit možné způsoby přiřazení číselných hodnot těmto událostem. Díky tomu jsme dále schopni pracovat s mírou rizika, každé jednotlivé události a zároveň vidět její vliv mezi všemi ostatními událostmi se kterými je propojena do celkové bezpečnostní úrovně celého systému. Porovnáme možnosti, jakými můžeme události mezi sebou propojit a jakými analytickými postupy je můžeme zpracovat. Účelem není výpočet závazných hodnot vazeb mezi jednotlivými indikátory jako spíše porovnání a ukázka možností, jakými se můžeme dále ubírat.

Kapitola 2

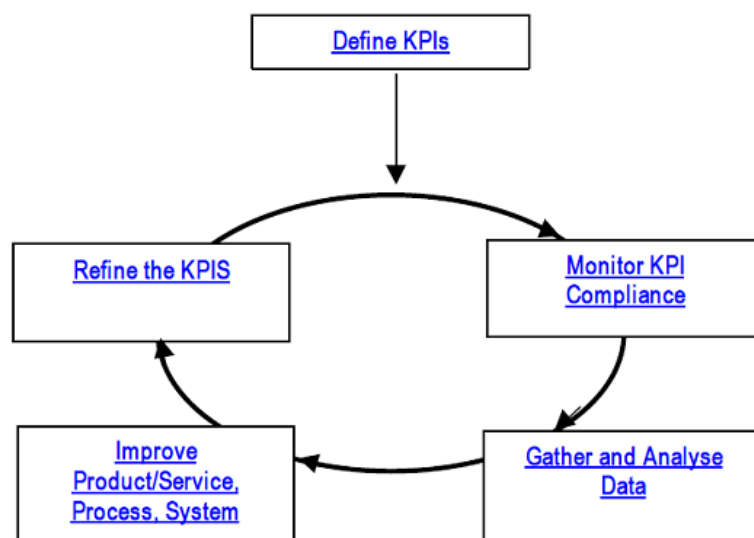
Klíčové výkonnostní indikátory

Klíčové bezpečnostní indikátory - SKPI (Safety Key Performance Indicators) jsou nástrojem pro analýzu systému. Vycházejí z KPI (Key Performance Indicator), což jsou ukazatele výkonosti používané pro dosažení požadované výkonnosti (kvalita, efektivnost, kvantita. . .) v jednotlivých úrovních řízení organizací. Jednotlivým částem systému se přiřazují jednotlivé indikátory včetně jejich číselného ohodnocení z pohledu vlivu na systém jako celek. Pomocí tohoto ohodnocení vidíme váhu každého indikátoru a můžeme sledovat trend jakým se vyvíjí. Jedná se o způsob lokalizování bezpečnostního rizika vyhodnocení, zda je již nutno na něj reagovat. Po zásahu proti tomuto riziku znovu ověříme analyzujeme indikátory. Dle jejich hodnoty zjistíme, zda zásah do systému byl adekvátní a zda byl proveden na vhodné části systému.[8]

Indikátory nám tedy umožňují odhalení určitého problému, vyhodnocení a lokalizaci problému a následnou zpětnou kontrolu zda kroky které jsme podnikli pro odstranění problému, byly účinné. Díky tomu můžeme správně směřovat čas, energii a finance. Tyto indikátory se mohou týkat různých částí systému. V této práci se soustředíme na ty, které mají vliv na bezpečnost.

2.1 Vytvoření a aplikace bezpečnostních indikátorů

Prvním krokem je definování indikátorů. Definujeme si požadavky a cíle systému a k nim vedoucí procesy a aktivity. Najdeme problémová místa v systému a určíme indikátor, který nám bude situaci v této části systému reflektovat (např. četnost výskytu tohoto problému). Následně začneme sbírat data a analyzovat je. Analýzou zjistíme, na kterou část systému se zaměřit aby došlo k celkovému zlepšení. Z analýzy také vidíme, zda všechny indikátory jsou definovány přesně podle našich potřeb. Následně upřesníme požadavky na konkrétní indikátor nebo změníme cíle, kterých po něm chceme dosáhnout. Indikátory, které nemají požadovaný efekt a není výhodné je měnit, smažeme a naopak tam, kde nám chybí informace o stavu systému, indikátor přidáme. Následně opět pokračujeme ve sběru dat a celý koloběh se opakuje. Jen pokud půjde o nikdy nekončící proces, dosáhneme s jejich pomocí žádoucích výsledků. Ty se začnou projevovat až za delší dobu. Stejně jako bude stále probíhat sběr dat, jejich vyhodnocování a zpracování, tak se stále budou vyvíjet a zlepšovat



Obrázek 2.1: Ukázka vývoje indikátoru znázorněná smyčkou. [8]

Cíle, kterých chceme dosáhnout, a tedy i indikátory k nim vedoucí, by měli mít tzv. SMART vlastnosti. [12]

- **S–Specific** jasně definované. Nemělo by nastat možnost dvojí interpretace.
- **M–Measurable** musíme je být schopni změřit.
- **A — Achievable** cíl, o který pomocí indikátoru usilujeme musí být dosažitelný z faktického nebo finančního hlediska.
- **R – Relevant** musí být relevantní k dosažení cíle.
- **T – Timely** musí být pravidelně aktualizovány a schopny vyjádřit trend.

2.2 Reaktivní indikátory

Poskytovatelé letových navigačních služeb (ANSP Air Navigation Service Provider, pro Českou republiku Řízení letového provozu) jsou povinni sbírat a reportovat určitá minimální data o událostech, které mají vliv na bezpečnost. Tato data můžeme rozdělit dle různých kritérií: podle závažnosti, podle zúčastněných, podle určitého společného jmenovatele atp. Podle závažnosti události je můžeme rozdělit na 4 skupiny. [4] Toto rozdělení je důležité pro následné číselné ohodnocení jednotlivých indikátorů, jelikož právě podle jejich potenciálu na snížení úrovně bezpečnosti je budeme hodnotit.

Základním ukazatelem bezpečnosti letového provozu stále zůstávají letecké nehody / události a jejich následné vyhodnocování. Jedná se tedy o indikátory reagující na událost, která se již stala.

Bohužel hodnoty těchto indikátorů ukazují již jen na výsledek selhání bezpečnosti. Případný následek, fatální, finanční,.. je již nevratný. Jelikož se těmto nehodám snažíme vyhnout a zároveň jsou naštěstí velmi zřídka, jsou sbírána data i o méně závažných událostech.

Spoléháme se na sběr a kvalitu dat ohledně události, která nastala. Tato data z jednotlivých indikátorů se následně vyhodnocují a přijímají se opatření, které by měly zaručit, že tato událost již nenastane. Pro vyhodnocování používáme zprávy o událostech, provozní data, výroční zprávy, audity apod.

2.2.1 Letecká nehoda - Accident

Definice:

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:

1. 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; nebo
2. letadlo bylo zničeno, nebo poškozeno tak, že poškození: - nepříznivě ovlivnilo pevnost konstrukce, výkon nebo letové charakteristiky letadla, a - vyžádá si větší opravu nebo výměnu poškozených 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); nebo
3. letadlo je nezávěsné, nebo je na zcela nepřístupném místě. [5]

Mezi letecké nehody jsou zařazeny tyto události: [4]

Srážka letadel ve vzduchu (Mid-air collision)

Událost při letu, při které dojde k přímému kontaktu letadla s jiným letadlem nebo létajícím objektem (bez ohledu na to, zda jeden nebo oba letadla jsou dále schopny letu).

Řízený let do terénu (CFIT – Controlled flight into Terrain)

Událost, při které letadlo pod kontrolou posádky narazí do země nebo vody bez toho, aby si část posádky toto nebezpečí uvědomovala.

Srážka letadel na zemi (Collision on the ground between aircafr)

Letadlo se dostane do přímého kontaktu s jiným letadlem na zemi (zahrnuje situace, kdy je pouze jedno z letadel na zemi)

Srážka letícího letadla s vozidlem nebo jiným letadlem na zemi (Collision between an airborne aircraft and vehicle/another aircraft on the ground)

Letadlo ve vzduchu se dostane do přímého kontaktu s vozidlem nebo jiným letadlem na zemi.

Srážka letadla na zemi s vozidlem nebo jiným letadlem na zemi/osobou/překážkou

Letadlo na zemi se dostane do přímého kontaktu s vozidlem nebo jiným letadlem/osobou/překážkou na zemi.

2.2.2 Skoro nehoda

Definice:

Incident, jehož okolnosti naznačují vysokou pravděpodobnost LN, 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. [5]

Rozdíl mezi leteckou nehodou a vážným incidentem je pouze v následcích.

2.2.3 Letecký incident – (Incident)

Definice:

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. Incidentsy v letovém provozu se rozdělují podle příčin na:

- letové
- technické
- v řízení letového provozu
- v zabezpečovací technice
- jiné [5]

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. Pro potřeby ANSP je dále rozdělujeme na [4]:

Nebezpečí srážky

Nedodržení minimálních rozstupů (Separation minima infringement)

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

Neadekvátní rozstupy (Indequate separation)

Událost, kdy pilot odhadne jiný letící letadlo za moc blízky pro zajištění bezpečného rozstupu v situacích, kdy nejsou definovány minimální rozstupy (např. lety VFR).

Situace blízka řízenému letu do terénu (Near Controlled flight into Terrain)

CFIT se podařilo zabránit náhodou nebo úhybným manévrem.

Nepovolený vstup na RWY, po kterém byl potřeba úhybný manévr (Runway incursion, where avoiding action was necessary)

Neschválená přítomnost letadla, vozidla, osoby a nebo objektu na RWY, po které bylo potřeba úhybného manévru aby se zabránilo srážce s letounem.

Potenciální srážka / Skoro srážka

Nepovolený vstup na RWY, po kterém nebyl potřeba úhybný manévr (Runway incursion, where no avoiding action was necessary)

Jakákoliv přítomnost letadla na RWY, po které nebylo potřeba úhybného manévru, aby se zabránilo srážce s letounem.

Vyjetí letadla z RWY (Runway excursion by aircraft)

Vyjetí letounu přes okraj nebo konec RWY.

Odchylna letadla od povolení ATC (Aircraft deviation from ATC clearance)

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

Odchýlení letadla od příslušných platných předpisů ATM (Aircraft deviation from applicable ATM regulation)

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

Vniknutí do vzdušného prostoru bez povolení (unauthorised penetration of airspace)

Vniknutí do části vzdušného prostoru bez předcházejícího povolení příslušných orgánů.

Odchýlení od předpisů stanovené výbavy a postupů daných předpisy ATM

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

ATM specifické události

Neschopnost poskytovat služby ATM (Inability to provide ATM services)

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

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.

Neschopnost poskytovat služby ASM (Inability to provide ASM services)

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

Neschopnost poskytovat služby ATFM (Inability to provide ATFM services)

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

Porucha komunikační funkce (Failure of communication function)

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

Porucha přehledové funkce (Failure of surveillance function)

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

Porucha funkce zpracování a distribuce dat (Failure of Data Processing and Distribution function)

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

Porucha navigační funkce

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

Bezpečnostní ochrana ATM

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

V náš model systému zahrnuje další dva indikátory a to:

Porucha informační funkce

Situace, při které došlo ke ztrátě, částečné ztrátě nebo znehodnocení informačního systému ATM, tak, že to zabránilo požadavku na poskytování informační služby letadlu.

Laserové oslnění

Situace, při které došlo k oslnění pilota laserem (v jakékoli fázi letu).

O všech událostech se pro účely ATM zpracovávají a uchovávají minimálně tyto, níže uvedené, doplňující informace. [4]

- Počet zapojených letadel
- Zapojení vozidel
- Zapojení osob
- Zapojení zvířat
- Zapojení ATS
- Měsíc události
- Počet mrtvých
- Počet mrtvých z posádky
- Počet mrtvých pasažérů
- Počet mrtvých z třetí strany
- Počet vážně zraněných

2.3 Proaktivní indikátory

V současné době je bezpečnost na tak vysoké úrovni, že reaktivní indikátory pro její zvyšování přestávají stačit, proto se zvýšila potřeba chyby odhalovat a řešit dříve než nastanou. Při odhalení a odstranění jednotlivých chyb v rámci celé organizace dojde ke zvýšení celkové bezpečnosti.

Bohužel se data pro tyto indikátory shánějí obtížněji, jsou hůře měřitelné, lehké ovlivnitelné a je jich potřeba podstatně větší množství, než pro indikátory reaktivní. Pro dosažení potřebných informací, je nutná komplexní analýza celého systému / organizace a jejich jednotlivých vnitřních procesů (na rozdíl od reaktivních indikátorů, kde jsme vázáni až na výslednou chybu). Následně provedeme opatření pro snížení bezpečnostního rizika a znovu zhodnotíme vliv tohoto opatření na celý systém. K tomuto hodnocení využíváme informace o stavu a implementaci řízení bezpečnosti, bezpečnostní audity a bezpečnostní průzkumy.

Indikátory se využívají jak pro provozní služby - ATC, tak regulační orgány - NSA pro zlepšování bezpečnosti, přenositelnosti informací a jejich využívání v rámci celého odvětví a úroveň bezpečnostních předpisů.

V současné době se proaktivní indikátory zaměřují na celkové bezpečnostní klima v organizaci, na schopnost řešit případné problémy a na schopnost jejich hodnocení a reportování.

Tyto problémy reprezentují tyto tři indikátory: RAT, EoSM a Just Culture.

2.3.1 Aplikace RAT - Risk Analysis Tool

Riziko je faktorem, který existuje při každé činnosti letectví nevyjímaje. Letící letadlo i letadlo, které se pohybuje nebo dokonce stojí na zemi má určitá rizika. Hledání a identifikace těchto rizik je bezpodmínečnou cestou k jejich odstranění a tedy dosažení větší bezpečnosti v letecké dopravě.

RAT je nástroj vyvinutý pro jednoduchou identifikaci míry rizika. Pomocí něj můžeme porovnat dvě na první pohled rozdílné části systému a díky němu jsme schopni určit priority jednotlivých rizik a tedy i správný sled opatření vedoucích k jejich odstranění. [3] RAT ale jako takový není nástrojem pro snížení těchto rizik.

Jednotlivá hodnocení se rozdělují podle množství a druhů účastníků, kteří stojí za vznikem rizika. [3]

Více než jedno letadlo

Typicky pro porušení minimálních rozestupů letících letadel.

Dvě letadla řízená věží

Pro situace, kdy jsou obě letadla ve vzduchu, jedno z letadel na zemi a jedno ve vzduchu nebo pro situaci kdy jsou obě letadla na zemi.

Letadlo s pozemním provozem

Zahrnuje události mezi letadlem a vozidlem, přičemž letadlo, může být na zemi i ve vzduchu.

Jedno letadlo

Například narušení vzdušného prostoru, protiprávní jednání na palubě letadla nebo porušení minimální vzdálenosti od terénu.

Události specifické pro ATM

Události technického rázu mající vliv na schopnost poskytovat službu řízení letového provozu.

Hodnocení se pro jednotlivé druhy liší, avšak princip zůstává stejný. Hodnota RAT je závislá na míře závažnosti události a na pravděpodobnosti, že tato událost nastane.

Závažnost určujeme tak, že každá zaznamenaná a klasifikovaná událost může mít určitý důsledek (míru ohrožení, vliv na bezpečnost). Při hodnocení závažnosti také bereme v potaz, jaký je stupeň ovladatelnosti při nebo po této rizikové události [17] (návrat zpět do bezpečného stavu), jestli byla tato událost nebo problém detekována řízením letového provozu a jaké byly provedeny postupy

pro vyřešení této rizikové události. [6] Četnost vyjadřuje pravděpodobnost, že se tato událost bude opakovat. Vychází zejména ze statistických údajů za konkrétní období. Příklad klasifikace podle tabulky vidíme na obrázku 2.2

32 to >	very frequent	1	A1	B1	C1	E1	D1
24 to 31	frequent	2	A2	B2	C2	E2	D2
17 to 23	occasional	3	A3	B3	C3	E3	D3
11 to 16	rare	4	A4	B4	C4	E4	D4
0 to 10	extremely rare	5	A5	B5	C5	E5	D5
			A	B	C	E	D
			serious	major	significant	no safety effect	not determined
			>=31	30 to 18	17 to 10	9 to 0	RI too low

Obrázek 2.2: Příklad klasifikační tabulky pro metodu RAT. [3]

Při využívání RAT se úroveň bezpečnosti v organizaci zvýší díky zlepšení schopnosti určit priority. V rámci proaktivních bezpečnostních indikátorů nehodnotíme tuto metodu jako takovou, ale pouze její využívání při klasifikaci reaktivních bezpečnostních indikátorů.

2.3.2 Efektivita bezpečnostního managementu EoSM – Effectiness od Safety Management)

EoSM indikátor měří stupeň implementace bezpečnostních postupů do managementu bezpečnosti v rámci organizace. Měření je prováděno pomocí dotazníků AMC vytvořených organizací EASA, a to jak v rámci příslušného úřadu (AMC2), tak v rámci poskytovatele služeb (AMC3). [6]

Odpověď na každou otázku v dotazníku by měla ukazovat úroveň implementace konkrétních postupů v rámci organizace. Odpověď s konkrétní úrovní implementace bychom měli vybrat pouze v případě, že jsou všechny podmínky v dotazníku splněny. Pokud si konkrétní úrovní nebo splněním jednotlivých podmínek nejsme jisti, měli bychom vždy vybrat nižší úroveň implementace. [6]

Celková úroveň efektivity by měla být odvozena od jednotlivých odpovědí na otázky v dotazníku kombinací úrovně ohodnocení odpovědi a váhy otázky.

Úrovně ohodnocení bezpečnosti [17]:

- **Level A**

Definován jako „Zahájení“ (Initiating). Procesy jsou obvykle zavedeny chaoticky a bez větší provázanosti.

- **Level B**

Definován jako „Plánování/Začátek implementace“(Planning/Initial Implementation). Dochází k účelným aktivitám a procesům, které jsou řízeny.

- **Level C**

Definován jako „Implementace“ (Implementing). Definované a standardizované procesy jsou používány k řízení bezpečnosti.

- **Level D**

Definován jako „Řízení a měření“ (Managing Measuring). Procesy jsou řízeny k určitým cílům a je měřena výkonnost.

- **Level E**

Definován jako „Kontinuální zlepšování“ (Continuous Improvement). Neustálé zlepšování procesů a jejich výkonů.

2.3.3 Spravedlivé posuzování – Just Culture

Just culture vyjadřuje firemní kulturu, kde jednotliví lidé nejsou trestáni za své chyby, špatná rozhodnutí nebo opomenutí, která jsou přiměřená jejich pozici a zkušenostem. Je to způsob, jak se chovat při nevyhnutelných chybách a o schopnosti podívat se na událost z více perspektiv před tím, než dojde k postihům dotyčného. Přísné postihy mohou následně vést k úmyslnému utajení chyby a tím pádem k nemožnosti tuto chybu odstranit. [21]

Na problém se můžeme dívat ze dvou úhlů pohledu. Prvním z nich je přístup: „incident se stal z důvodu lidské chyby“ a pokud chceme incident odstranit, musíme odstranit tuto chybu.

Druhým přístupem je „vidět chybu v širším spektru"jako výsledek problému ve vlastním systému. Nesmí ale vést k tomu, aby lidé začali ze svých chyb vinit systém a tím se vzhnuli odpovědnosti.

Systém, přestože vylepšený na nejvyšší možnou mez, není vše a vždy v něm narazíme na lidský prvek který je rizikový. Pro Just Culture je důležitá vzájemná důvěra uvnitř společnosti.

Implementace přístupu Just Culture se jeví jako významná složka pro budoucí zlepšení bezpečnosti. Podmínkou zavedení Just Culture je vysoká úroveň spolupráce mezi bezpečnostními a soudními orgány. Byla založena Just Culture Task Force skládající se z odborníků na bezpečnost a právo ze členských států EU, která vyvinula „Model politiky trestního stíhání a stíhání za mimořádné události

a nehody v civilním letectví“ [17]. Došlo se k závěru, že není příliš potřeba upravit legislativu jako spíš upravit vnímání jednotlivých zákonů a předpisů. [6]

Základem Just Culture je implementování hlášení události s vlivem na bezpečnosti ve složkách zabývajících se leteckou dopravou. Je důležité rozlišit záměrnou a nezáměrnou činnost, která vedla ke spáchání trestného činu (rozlišení mezi trestnou činností, např. užívání drog, ... a neúmyslným selháním).

Just Culture jako indikátor hodnotíme pomocí dotazníků (AMC 10). Odpovědi běžných lidí nám pomohou určit vnímání bezpečnosti ve společnosti spolu s chováním při a po určitém incidentu vzhledem k myšlenkám „Just Culture“. Musíme mít na paměti, že zvýšení počtu hlášených mimořádných událostí je v tomto případě pozitivní efekt.

Kapitola 3

Váhové ohodnocení

Váhové ohodnocení je nejdůležitější částí rozhodovacího procesu. Pro další postup je důležité srovnání jednotlivých indikátorů podle jejich důležitosti a přidělení určité váhy každému kritériu. Pro naše rozhodování je důležitá dodatečná subjektivní informace, kterou není možno dostatečně vyjádřit. Při použití metod AHP a ANP uvedených v této práci jsme schopni rozhodovat podle více kritérií. Nazýváme je multikriteriální. V této práci se však zaměříme na srovnání pouze podle jednoho kritéria a využijeme jiné výhody těchto rozhodovacích metod. [13]

3.1 Metoda váhového srovnání kritérií

V mnohých dokumentech zabývajících se SKPI nebo APF [11] se můžeme setkat s využitím Metody párového srovnání kritérií. Při této metodě srovnáváme po párech postupně všechna kritéria mezi sebou tj., každé s každým. Počet srovnání je tedy:

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

Při zpracovávání této metody můžeme využít takzvaného Fullerova trojúhelníku. Jednotlivá kritéria očíslováme $i = 1, 2, 3, \dots, k$ 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 tímto schématem [13]:

1	1	1	...1
2	3	4	...k
	2	2	...2
	3	4	...k
			...
		$k - 2$	$k - 2$
		$k - 1$	k
			$k - 1$
			k

Následně porovnááme jednotlivá kritéria mezi prvním a druhým řádkem a vyznačíme ta, která jsou pro nás důležitější. Podle počtu celkového součtu preferencí každého kritéria, následně můžeme vyhodnotit posloupnost důležitost jednotlivých kritérií. Ve výsledku můžeme zjistit, že některá kritéria mají stejnou důležitost nebo naopak jsou navzájem nesrovnatelná.

Tato metoda je poměrně přesná, i pokud ji na stejná kritéria aplikují různí lidé. Preference důležitých kritérií je převážně shodná, bez ohledu na to, kdo je hodnotí. Přesnost hodnocení zároveň stoupá s množstvím hodnocených kritérií a na množství hodnotitelů. Metoda váhového srovnání kritérií byla využita při ohodnocení APF [1]

Tato metoda nám poskytne přehled o důležitosti jednotlivých kritérií, ale není dostatečná pro jejich kvantitativní ohodnocení, která potřebujeme pro metodu ANP. Proto aplikujeme metodu kvantitativního párového srovnání kritérií. Metoda váhového srovnání kritérií nám však výrazně pomůže k dodržení konzistentního hodnocení při následné metodě.

3.2 Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií

Při metodě kvantitativního párového srovnání kritérií odhadujeme důležitost jednoho kritéria oproti druhému. Odhady srovnávání jsou poměr mezi i -tým a j -tým členem tzv. Saatyho matice do které, tyto hodnoty zapisujeme. [13]

Odhady hodnoty vah odpovídají určitému vyjádření preference mezi členem $S_{(ij)}$ a $S_{(ji)}$. Slovně se dají definovat jako [13, 16, 14]:

- 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

V případě, že tato hodnotící škála není dostatečná, je možné použít hodnoty **2, 4, 6, 8**, kterými vyjádříme jednotlivé mezistupně. Jelikož odhadované hodnoty jsou závislé na hodnotiteli, hodnoty v matici nejsou dokonale konzistentní. Nemělo by však docházet k výrazným rozdílům v hodnocení jednotlivých kritérií. [13, 16]

Pro prvky matice platí:

$$s_{ii} = 1 \text{ pro } i = 1, 2, 3, 4, \dots, k$$

$$s_{ij} = 1/s_{ji} \text{ pro } i, j = 1, 2, 3, \dots, k.$$

Pro následný výpočet váhy použijeme následující vzorec, přičemž v_i vyjadřuje výslednou váhu daného kritéria. [13]

$$S_i = \prod_{j=1}^k s_{ij}$$

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

$$v_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^k R_i}$$

Aby výpočet byl kompletní, musíme určit konzistenci matice. Vypočtením konzistence matice zjistíme, zda při hodnocení nedošlo k protichůdnému určení preference mezi dvěma kritérii. Například pokud kritérium 1 a 2 má vzájemnou preferenci 1:2, kritérium 2 a 3 má vzájemnou preferenci 1:1, nemělo by nastat, aby kritérium 1 a 3 mělo vzájemnou preferenci 1:5.

Konzistenci matice dle Saatyho vypočteme pomocí vztahu [14]:

$$I_s = \frac{\lambda_{max} - k}{k - 1}$$

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 :

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

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

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

3.3 Příklad výpočtu vah kritérií

Hodnotíme kritérium 1, 2 a 3. Nejprve použijeme hodnocení *Metoda váhového srovnání kritérií* pomocí Fullerova trojúhelníku (preferované kritérium je označeno červenou barvou):

1 1
 2 3

2
 3

Tabulka 3.1: Příklad hodnocení kritérií

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

Stejná kritéria 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 $k = 3$.

Vidíme, že jednotlivá váhy se mírně liší. Z řešení první metody například vyloženo kritérium K_3 . Druhá metoda ho přesto zahrnuje. Je tedy výhodné pro náš další postup použít *Metodu kvantitativního párového srovnání kritérií*. *Metoda váhového srovnání kritérií* nám však může pomoci k dosažení konzistence Saatyho matice. S její pomocí si seřadíme jednotlivá kritéria podle priority. Při následné aplikaci *metody kvantitativního párového srovnání kritérií* se nám nestane, že bychom tuto prioritu změnili a pouze lépe určíme váhové rozdíly mezi dvěma prvky.

Kapitola 4

Modely rozhodování

V této práci používáme kombinaci metod Analytic Hierarchy Process a Analytic Network Process pro porovnání jednotlivých indikátorů. Pro náš účel je dostatečné využití pouze části vlastností a mechanismů, které tyto metody mají. AHP je metoda vícekriteriálního rozhodování vyvinutá v 70. letech Thomasem L. Saatyem, kterou dále rozvinul do metody ANP. V naší práci využíváme části postupů obou metod. Vycházíme z určitého rozhodovacího problému kdy na základě kritérií vybíráme nejvýhodnější variantu. Cílem je vybrat z několika možných variant tu, která nejlépe vyhovuje daným kritériům. Základem obou metod je model posuzovaného systému. Systém je definován jako uspořádaná množina prvků a množina vazeb mezi nimi. [9] Model systému je tvořen klastry obsahující jednotlivé prvky. Modely mohou být jednokriteriální a vícekriteriální. Problém zobrazíme do hierarchické (AHP) nebo síťové (ANP) struktury, díky ní lépe rozeznáme vzájemné vztahy jednotlivých prvků v systému. Prvek je část systému, který tvoří na dané rozlišovací úrovni dále nedělitelný celek, jehož strukturu nechceme, nebo již nemůžeme v rámci analýzy rozlišit [9]. Všechny prvky systému musí být vzájemně propojeny. Následně se můžeme soustředit na jednotlivé prvky systému, analyzovat a porovnávat je. Porovnávání dvou prvků docílíme pomocí váhových ohodnocení na základě preference jednotlivých variant.

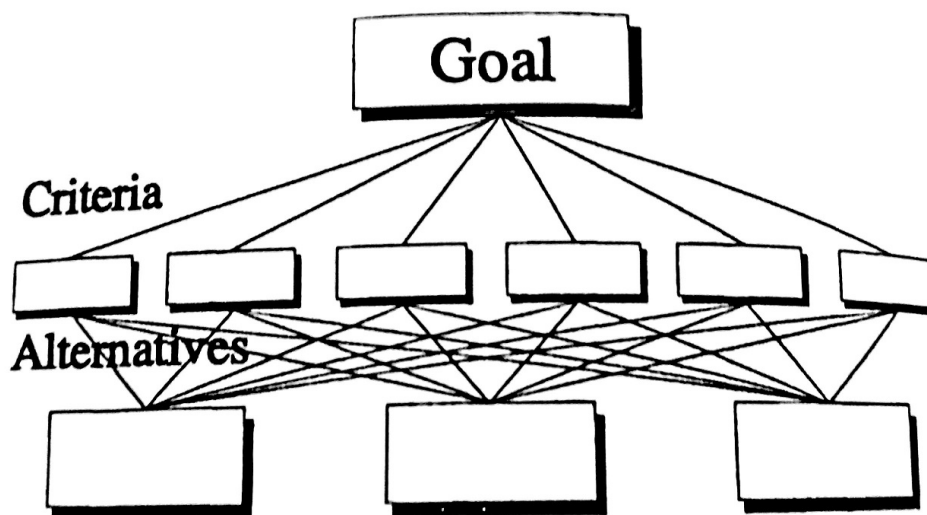
Při metodě AHP a metodě ANP se používají podobné postupy, a to:

- Vytvoření struktury
- Párové ohodnocení
- Kombinace vah jednotlivých částí systému k dosažení výsledné váhy konkrétního prvku.

4.1 Analytic Hierarchy Process – AHP

Jak název napovídá, jedná se o systém s hierarchickou strukturou. Ta je tvořena 3 úrovněmi s klesající prioritou:

- Cíl
- Kritéria
- Varianty



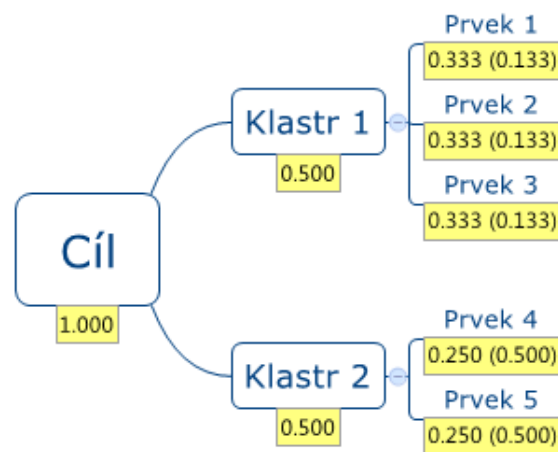
Obrázek 4.1: Příklad hierarchické struktury systému AHP [16]

Jednotlivá kritéria a varianty můžeme seskupit do společných skupin – klastrů nebo naopak rozdělit na subkritéria a subvarianty. Klastrem se po té stává původní Kritérium nebo Varianta.

V této práci pracujeme pouze s jedním kritériem, podle kterého hodnotíme jednotlivé varianty a tímto kritériem je vliv na bezpečnost (negativní u reaktivních indikátorů a pozitivní u proaktivních). Díky tomu můžeme v našem modelu vynechat úroveň s kritérii. Model bude tedy tvořen Cílem a Klastrem variant. Klaster se skládá z jednotlivých variant – prvků. [16]

Jednotlivé klastry a prvky se porovnávají dle jejich možného vlivu na zvýšení rizika bezpečnosti. Váha označuje negativní vliv prvku na celkovou bezpečnost (0 - událost nemá vliv na snížení bezpečnosti, 1 – událost má absolutní vliv na snížení bezpečnosti).

Každý klaster má váhové ohodnocení a váhy prvků v něm jsou následně normalizovány dle celkové váhy klasteru. Žádný prvek v klasteru nemůže mít vyšší hodnotu než je celková váha klasteru. Součet jednotlivých vah prvků se rovná váze celého klasteru. Analogicky je to u Cíle a Klastrů. Díky numerické hodnotě vah můžeme porovnat vliv na bezpečnost dvou naprosto odlišných prvků systému, které se nachází v rozdílných částech našeho systému. Váha je vyjádřena bezrozměrnou hodnotou



Obrázek 4.2: Příklad hierarchické struktury systému, normalizovaná váha uvedena v závorce

Tento postup je čistě hierarchický a využívá ho například Aerospace Performance Faktor (APF).

4.2 Aerospace performance factor – APF

Aerospace performance faktor (APF) je nová metoda měření výkonnosti systému používaná převážně k vyjádření bezpečnosti. Vyvinuta byla ve spolupráci FAA a US NAVY a následně ji pro své potřeby převzaly easyJet a EUROCONTROL. Hlavním záměrem APF je zobrazení výkonnosti v oboru zájmu a její následná prezentace (v nejčastějších případech grafická) na základě minulých a současných dat. Podmínkou je zahrnutí co největšího množství dat ve velkém měřítku. Tato metoda není navržena jako jediný ukazatel bezpečnosti vhodný k náhradě všech současných postupů, ale jako součást většího systému sloužící k analýze dat, procesů, jejich vyhodnocení a zobrazení. Umožňuje nám pohlédnout na systém jako celek narozdíl od běžných postupů nebo jednotlivých indikátorů. Tradičně je bezpečnostní výkonnost měřena na základě počtu incidentů. Na základě vyšetřování dochází k takovým postupům a nařízením, aby se tato událost již neopakovala. APF integruje bezpečnostní informace přímo do struktury organizace a jejich rozhodovacích postupů.

APF nám je schopno ukázat:

- Důležitost jednotlivých informací.
- Váhu jednotlivých informací.
- Vztahy mezi jednotlivými informacemi.
- Trend vývoje informací v průběhu času.

Díky tomu, že se jedná o všeobecnou informaci, může být APF aplikován na velké spektrum organizací a téměř jakoukoliv část systému. Primárně je však využíván pro bezpečnostní výkonnost.

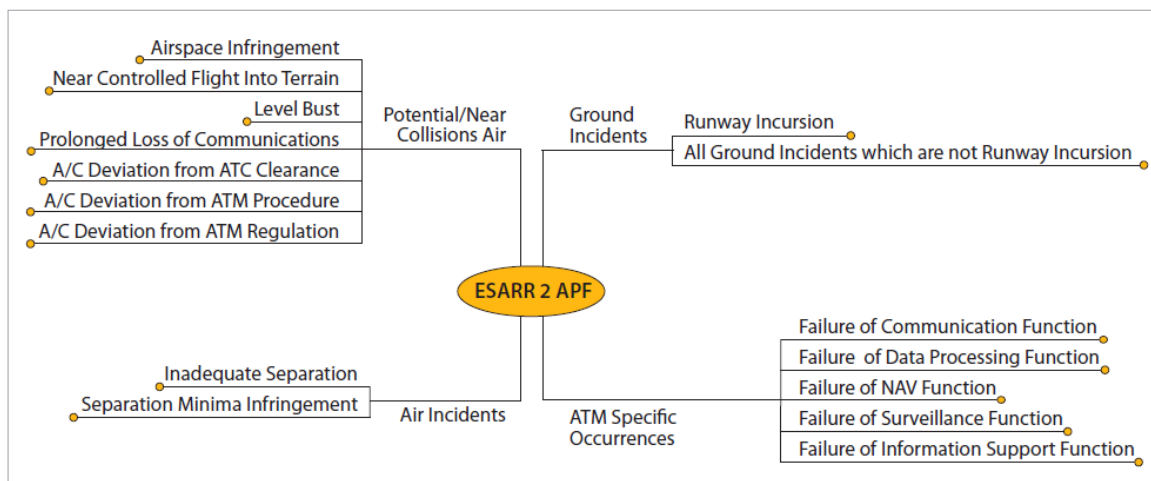
Metodologie APF má 5 stupňů [11] :

1. Určení faktorů, které mají vliv na výkon.
2. Určení dat dostupných pro tyto faktory.
3. Uspořádání faktorů do jasné struktury (využívá myšlenkové mapy).
4. Určení relativního významu a vah faktorů.
5. Zobrazení informací pro rozhodovací procesy.

APF využívá část metody AHP a to propojení vstupních faktorů mezi úrovněmi hierarchického systému a jejich vliv na bezpečnost organizace.

Váhy jednotlivých kritérií jsou však řešeny Metodou párového srovnání kritérií, která není tak přesná jako Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií. Zároveň nezohledňuje nehierarchické vazby v systému. Srovnávané faktory byly získány ze zpráv o incidentech a byli rozděleny do 4 kategorií - klastrů [1]:

- Vzdušné incidenty
- Pozemní incidenty
- Potenciální / skoro vzdušné kolize
- ATM specifické události

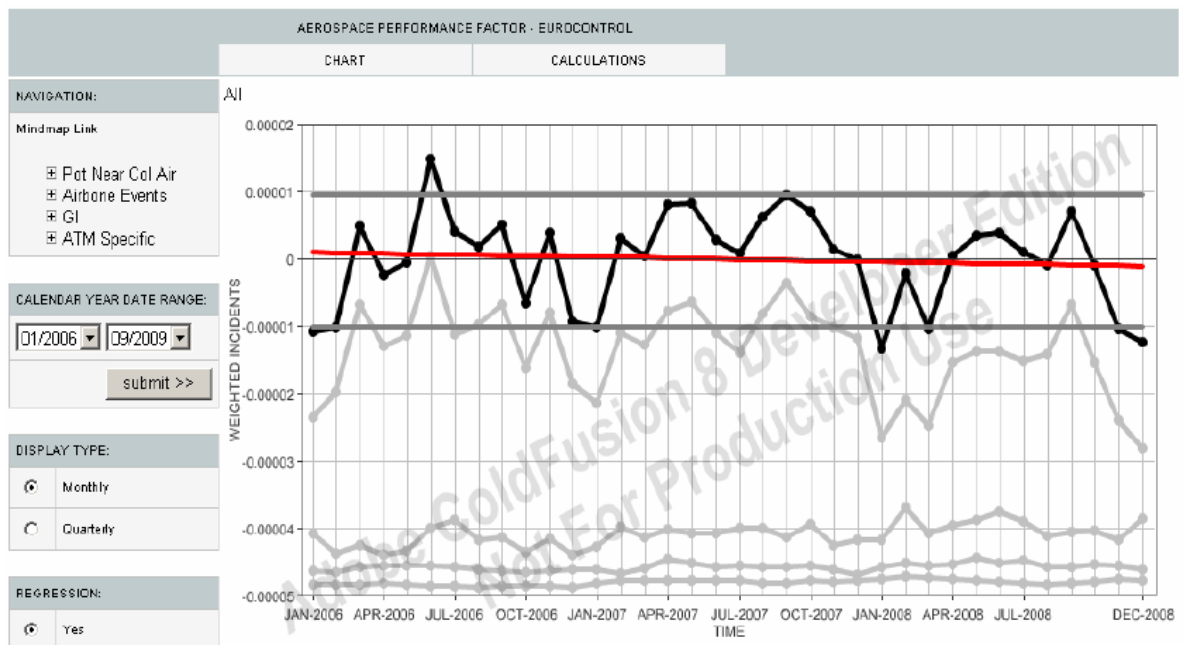


Obrázek 4.3: Hierarchická struktura APF EUROCONTROL [1]

Výsledná hodnota APF pro jeden druh incidentů je vypočítána pomocí vzorce [11]:

$$APF = (\text{počet incidentů} \times \text{váha incidentu}) / \text{provoz}$$

Provozem je myšlen počet pohybů letadel nebo letové hodiny. Při následné prezentaci výsledků srovnáváme hodnoty APF za konkrétní časové období.



Obrázek 4.4: EUROCONTROL APF [11]

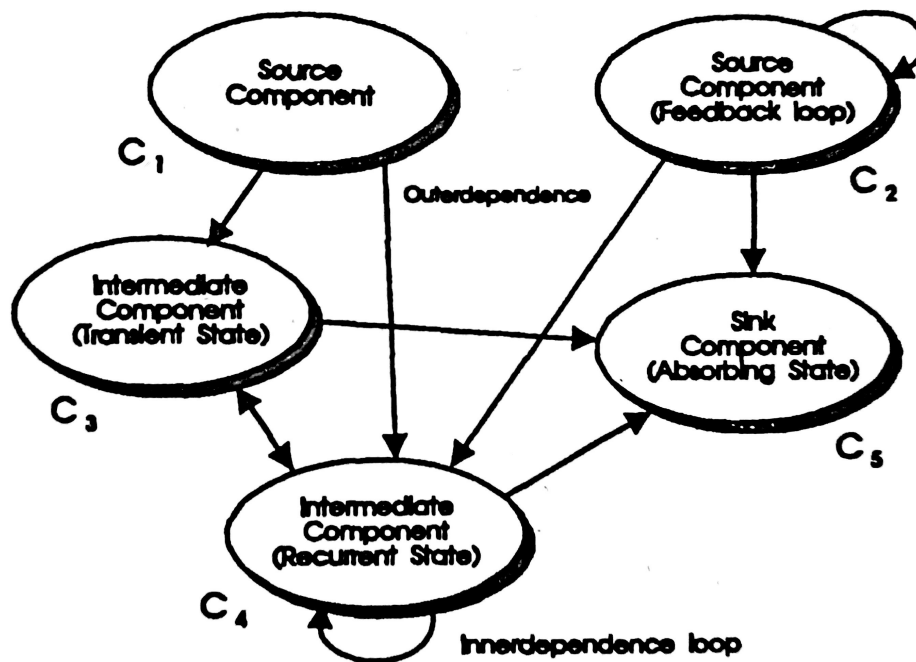
V případě zájmu můžeme výsledný APF model rozdělit a analyzovat jeho jednotlivé části. Lépe se tedy můžeme zaměřit i na první pohled méně důležité části systému nebo naopak pouze na ty nejzávažnější bezpečnostní problémy.

4.3 Analytic Network Process - ANP

V metodě AHP je každý prvek považován za samostatný a všechna rozhodovací kritéria jsou samostatné. V reálu jsou však prvky navzájem provázané. Tuto možnost nám nabízí metoda ANP. V naší práci použijeme kombinaci obou metod. Máme jeden společný Cíl a to bezpečnost. Základní struktura klastrů bude hierarchicky vázána na Cíl avšak jednotlivé klastry a prvky budou provázány vzájemnými vazbami.

Primární výhodou metody ANP je možnost ovlivnění Kritérií v modelu na základě sama sebe a na základě možných Variant [16]. Jelikož ale v naší práci používáme pouze jedno kritérium, tuto možnost nevyužijeme, a proto ji nebudu dále rozvádět.

Díky možnosti nehierarchicky propojit dva klastry (prvky) mohou jednotlivé části modelu obsahovat smyčky, vstupy a výstupy. Vstupy jsou prvky, do kterých žádná vazba nevstupuje. Pokud do prvku vazby pouze vstupují a žádné nevystupují nazýváme je výstupy. [10] Vazby v modelu mohou být dvojího druhu: vnější a vnitřní. Vnitřní vazbou rozumíme smyčky (propojení dvou prvků v rámci jednoho klastru), jako vnější vazbu nazveme všechny ostatní varianty propojení dvou klastrů nebo prvků. [16]



Obrázek 4.5: Síťová struktura systému ANP [16]

Ve chvíli, kdy dojde k nehierarchickému propojení dvou prvků systému, řešíme problém, jaký mají na sebe tyto prvky vliv. Problém si můžeme představit na příkladu.

Je počet nehod na křižovatce způsobený nedáním přednosti v jízdě dle pravidel silničního provozu? Jistě to určitý vliv mít může. Přednost v jízdě nebyla dána z jakého důvodu? Neznalostí pravidel nebo nedostatečné pozornosti řidiče? Určitě se najdou oba dva důvody. Pozorováním tohoto řetězce událostí dojdeme ke zjištění, že telefonování za jízdy se může projevit dopravní nehodou na křižovatce. Mezi rozptýlení řidiče můžeme též zařadit štěkajícího psa při parkování, který upoutá naši pozornost a způsobí odření auta. Tato událost ale nemá vliv na tak nebezpečnou událost, jako je srážka dvou aut na křižovatce. Musíme tedy tuto skutečnost zohlednit na váhovém ohodnocení obou těchto druhů rozptýlení pozornosti.

Matematicky se výše zmíněná skutečnost zohlední tímto mnou navrženým vztahem:

$$v_{ci} = v_{ni} + (v_{ni} * v_{cj})$$

kde v_{ci} - celková váha prvku i , v_{ni} - vlastní normalizovaná váha prvku i , v_{cj} - celková váha n navázaných prvků

Účelem této práce je porovnání vah v případě použití čistě hierarchického systému bez vnitřních síťových vazeb a systému s prvky ANP.

Kapitola 5

Praktická část

5.1 Výběr indikátorů

V letectví existuje velké množství dat a druhů událostí (pro představu byly uvedeny v kapitole 2 a není účelem této práce je postihnout všechny). Vybrali jsme si tedy určitý reprezentativní vzorek dat, který zahrnuje dostatečný počet indikátorů pro prezentaci výše popsaných metod. Data byla vybrána dle dokumentu Annual safety report – Safety Regulation Commission (z let 2011 a 2012) popisujících stav reaktivních indikátorů a počtu událostí i dokumentů PRB Annual monitoring Report (z let 2012 a 2013), ve kterých je uveden stav proaktivních indikátorů v daném období.

Indikátory jsme rozdělili do klastrů, které byly zvoleny v závislosti na povaze incidentu. V závorce jsou uvedeny zkratky, které budou následně používány v maticích a výpočtech.

Reaktivní indikátory

Nehody ve vzduchu (MidAir)

- – Srážka letadel ve vzduchu (AirAxA)
 - Řízený let do terénu (CFIT)

- **Pozemní incidenty (GND)**
 - Nepovolený vstup na RWY (RI)
 - Srážka letadel na zemi (GNDxA)
 - Srážka letadla na zemi s jiným objektem (GNDxO)

- **Potenciální / skoro vzdušné kolize (NearCol)**
 - Nedodržení minimálních rozstupů (SepMin)
 - Situace blížící se řízenému letu do terénu (NCFIT)
 - Odchylna letadla od povolení ATC (DevATC)
 - Vniknutí do vzdušného prostoru bez povolení (PenAsp)
 - Nedodržení letové hladiny (LevBust)

- **Ztráta kontroly (LostC)**

- Laserové oslnění (Laserl)

- **ATM specifické události (ATM)**

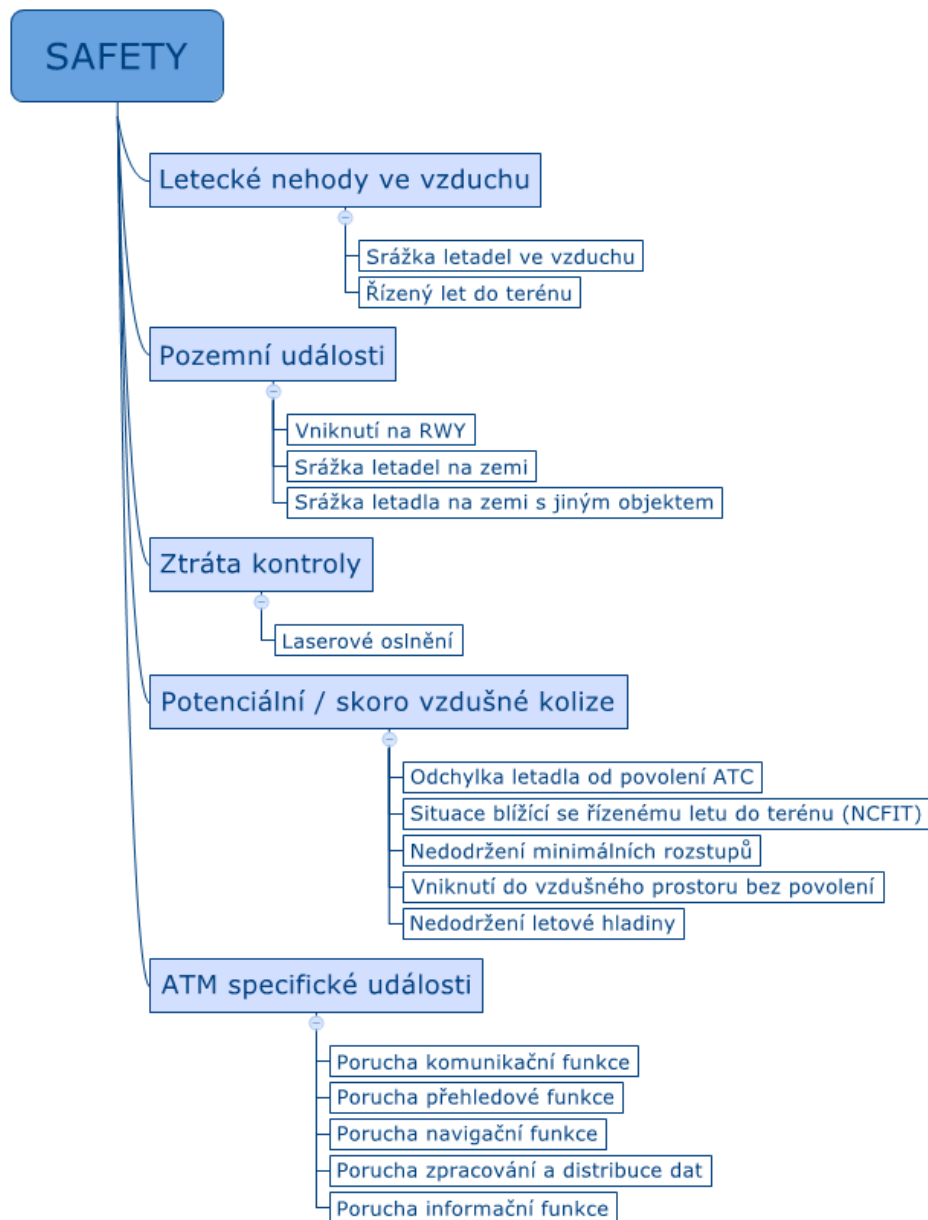
- Porucha komunikační funkce (Com)
- Porucha přehledové funkce (Surv)
- Porucha zpracování a distribuce dat (Dat)
- Porucha navigační funkce (Nav)
- Porucha informační funkce (Info)

- **Proaktivní indikátory**

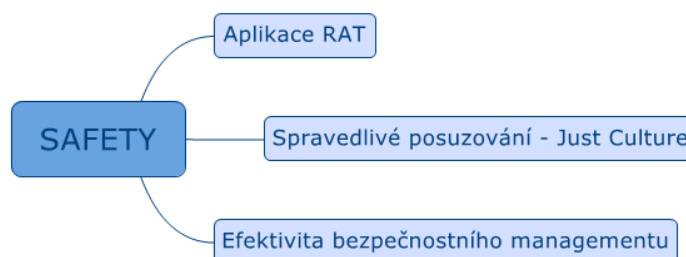
- Aplikace RAT (RAT)
- Efektivita bezpečnostního managementu (EoSM)
- Spravedlivé posuzování (JC)

5.2 Sestrojení hierarchické struktury

Sestrojíme strukturu, která je hierarchická. Struktura je zobrazena pomocí tzv. myšlenkové mapy. Není možné určit jakým způsobem mají proaktivní indikátory vliv na reaktivní ani jak jsou propojeny, proto je budeme posuzovat separátně. Struktura bude sestavena z cíle, klastrů a jednotlivých prvků u reaktivních indikátorů a z cíle a prvků u proaktivních indikátorů.



Obrázek 5.1: Hierarchická struktura systému reaktivních indikátorů



Obrázek 5.2: Hierarchická struktura systému proaktivních indikátorů

5.2.1 Váhové ohodnocení indikátorů

Nyní pomocí metody kvantitativního párového ohodnocení vypočítáme váhy klastrů v_k a váhy prvků v_j . Všechny váhy jsou pro účel této práce ohodnoceny mým vlastním odhadem. Systém proaktivních indikátorů není rozdělen do klastrů a proto ohodnotíme přímo prvky.

Tabulka 5.1: Váhové ohodnocení: Proaktivní indikátory

	RAT	JC	EoSM	v_i
RAT	1	1/5	1/7	0,0561
JC	5	1	3	0,2804
EoSM	7	4	1	0,6635

Konzistence matice: $I_s = 0,006 < 0,1$ Podmínka konzistence splněna.

Tabulka 5.2: Váhové ohodnocení klastrů reaktivních indikátorů

	NearCol	ATM	GND	MidAir	LostC	v_k
NearCol	1	5	1/3	1/6	7	0,0708
ATM	1/4	1	1/5	1/8	5	0,0274
GND	3	5	1	1/6	8	0,2062
MidAir	6	8	6	1	9	0,6956
LostC	1/7	1/5	1/8	1/9	1	0,0138

Konzistence matice: $I_s = 0,1756 < 0,2$ Podmínka konzistence splněna.

Stejnou metodu použijeme na váhové ohodnocení reaktivních indikátorů. Ohodnocení prvků v každém z klastrů v_i , hodnota v_n vyjadřuje váhu prvku normalizovanou dle váhy klastru, ve kterém je prvek umístěn.

$$[h!]v_n = v_i * v_k$$

Tabulka 5.3: Váhové ohodnocení: Srážky ve vzduchu

	MidAir	CFIT	v_i	v_n
MidAir	1	2	0,6667	0,4638
CFIT	1/2	1	0,3333	0,2319

Konzistence matice: $I_s = 0 < 0,1$ Podmínka konzistence splněna.

5.3 Implementace nehierarchických vazeb do systému

V případě, že bychom pracovali pouze s hierarchickou strukturou by byly tyto váhy výsledná. Na základě nich bychom mohli zvolit, jaký indikátor je pro nás nejdůležitější s ohledem na množství

Tabulka 5.4: Váhové ohodnocení: Pozemní incidenty

	GNDxA	GNDxO	RI	v_i	v_n
GNDxA	1	3	5	0,6470	0,1313
GNDxO	1/3	1	3	0,2583	0,0533
RI	1/5	1/3	1	0,1047	0,0216

Konzistence matice: $I_s = 0,0193 < 0,1$ Podmínka konzistence splněna.

Tabulka 5.5: Váhové ohodnocení: Potenciální / skoro vzdušné kolize

	DevATC	NCFIT	SepMin	PenAsp	LevBust	v_i	v_n
DevATC	1	1/3	1/2	3	1/3	0,1513	0,0107
NCFIT	3	1	2	5	2	0,4910	0,0348
SepMin	2	1/5	1	3	1	0,2697	0,0191
PenAsp	1/3	1/5	1/2	1	1/3	0,0880	0,0062
LevBust	3	1/2	1	3	1	0,2925	0,0207

Konzistence matice: $I_s = 0,0559 < 0,2$ Podmínka konzistence splněna.

Tabulka 5.6: Váhové ohodnocení: Ztráta kontroly

	Laserl	v_i	v_n
Laserl	1	1	0,0138

Konzistence matice: $I_s = 0 < 0,1$ Podmínka konzistence splněna.

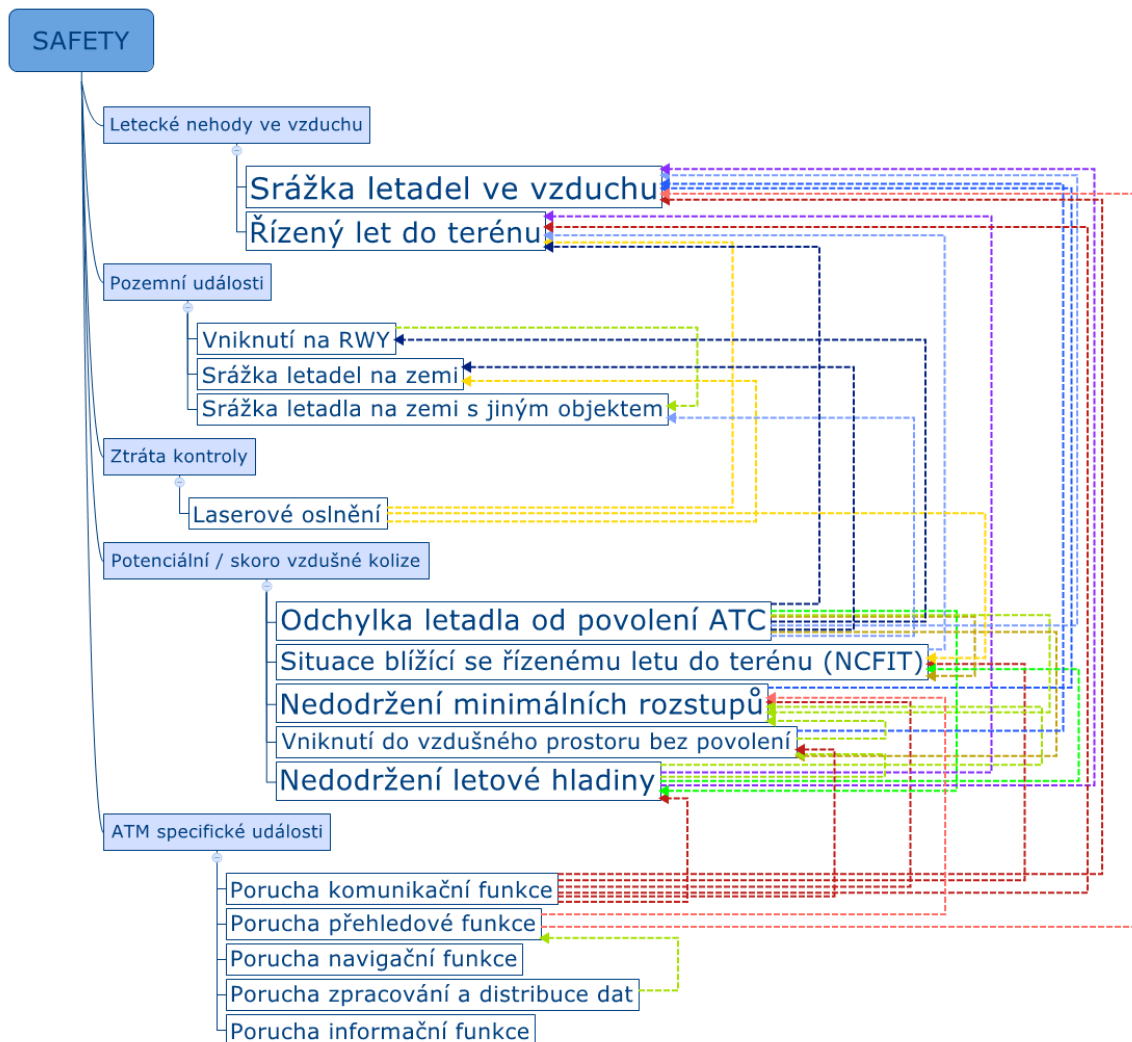
Tabulka 5.7: Váhové ohodnocení: ATM specifické události

	Com	Surv	Dat	Nav	Info	v_i	v_n
Com	1	2	3	5	5	0,4488	0,0123
Surv	1/2	1	2	4	5	0,2988	0,0082
Dat	1/3	1/2	1	2	3	0,0901	0,0025
Nav	1/5	1/4	1/2	1	2	0,0901	0,0025
Info	1/5	1/5	1/3	1/2	1	0,0602	0,0017

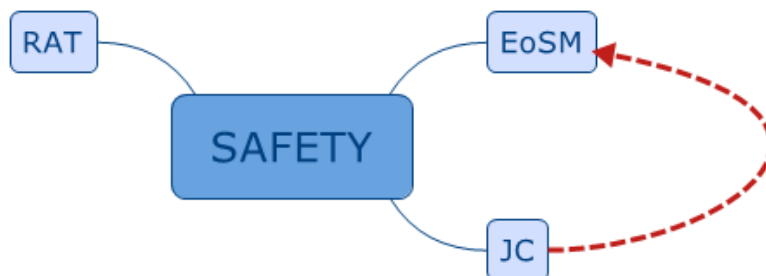
Konzistence matice: $I_s = 0,0282 < 0,2$ Podmínka konzistence splněna.

incidentů a dále tento problém řešit.

Zapojením metody ANP však můžeme znázornit vazby mezi jednotlivými klastry a prvky v nich. Díky tomu můžeme zjistit, jaký vliv má jeden indikátor na druhý a jsme schopni to numericky vyjádřit.



Obrázek 5.3: Síťová struktura systému reaktivních indikátorů



Obrázek 5.4: Síťová struktura systému proaktivních indikátorů

Následně k již spočítaným vahám přičteme složku vyjadřující vliv tohoto indikátoru na ostatní. Pro výpočet celkové váhy indikátoru použijeme mnou navržený vztah:

$$v_{ci} = v_{ni} + (v_{ni} * v_{cj})$$

kde v_{ci} - celková váha prvku i , v_{ni} - vlastní normalizovaná váha prvku i , v_{cj} - celková váha n navázaných prvků

V níže uvedené tabulce uvádíme váhu prvků hierarchické struktury v_n , hodnotu vlivu vazeb v_v a celkovou váhu prvků v_c .

Tabulka 5.8: Váhové ohodnocení indikátorů

Indikátor	v_i	v_v	v_c
AirAxA	0,4638	0	0,4638
CFIT	0,2319	0	0,2319
RI	0,0216	0,0028	0,0244
GNDxAxA	0,1313	0	0,1313
GNDxAxO	0,0533	0	0,0533
SepMin	0,0191	0,0089	0,0279
NCFIT	0,0348	0,0081	0,0428
DevATC	0,0107	0,0109	0,0216
PenAsp	0,0062	0,0031	0,0093
LevBust	0,0207	0,0160	0,0367
Laserl	0,0138	0,0044	0,0182
Com	0,0123	0,0100	0,0223
Surv	0,0082	0,0040	0,0123
Dat	0,0045	0,0001	0,0046
Nav	0,0024	0	0,0024
Info	0,0017	0	0,0017
RAT	0,0561	0	0,06
EoSM	0,6635	0	0,6635
JC	0,2804	0,4664	0,75

Kapitola 6

Vyhodnocení

Dle celkové váhy indikátorů můžeme posoudit, který z nich má jakou důležitost, a to nyní i s ohledem na to, jak důležité indikátory mají vliv. Díky tomu můžeme lépe rozhodnout na jaký z nich zaměříme pozornost, aby výsledné zlepšení celkové bezpečnosti bylo co největší.

Výsledné váhové ohodnocení také využijeme při hodnocení bezpečnostní výkonnosti celého systému, tak jako nám předvádí APF. Váhy jednotlivých indikátorů upravené o jejich vliv na další indikátory mnohem lépe vyjadřují jejich důležitost tak, jakou v reálném prostředí.

Porovnáváme-li výsledné váhy při použití čistě hierarchické metody a při částečném využití metody ANP vidíme, že vliv jednotlivých indikátorů se může výrazně změnit. V tabulce 6.1 je uveden procentuální podíl vlivu vazeb na celkové váze indikátoru.

Započítání vlivu jednoho indikátoru na druhý můžeme zvětšit váhu prvního indikátoru téměř dvojnásobně. Výrazně se tedy změní priority a díky tomu vidíme, že zdánlivě nedůležité indikátory se propojí do řetězce složeného z prvků se zvyšujícím se váhovým ohodnocením. Na konci tohoto řetězce může být váha indikátoru podstatně větší, než je tomu u samostatných indikátorů.

Spolu se zapojením kvantitativního párového srovnání dosáhneme přesnějšího výsledku ohodnocení jednotlivých indikátorů než jaký nám nabízí v současnosti používaná čistě hierarchická metoda APF. Ta se snaží dosáhnout přesnější váhy párového srovnávání pomocí většího počtu hodnotitelů, ale není schopna vyjádřit váhu vlivů jednoho indikátoru na druhý.

Pořadí důležitosti se výrazněji nemění u prvků s extrémní prioritou nebo naopak s prioritou minimální. Největších změn vidíme ve středně důležitých indikátorech. Tyto indikátory jsou dostatečně důležité na to aby samy o sobě měli vyšší prioritu, ale samy o sobě nemají fatální dopad. Pro nás může být poměrně těžké vyhodnotit, které z nich mohou být důležitější než ostatní. Zejména díky zahrnutí vlivů těchto indikátorů na indikátory s extrémním vlivem na bezpečnost a se některé z nich mohou vyprofilovat jako velmi důležité. Díky tomu lépe posoudíme, kterému z nich je nutná věnovat větší pozornost.

Tabulka 6.1: Podíl vlivu na celkové váze indikátoru a vliv na pořadí důležitosti u reaktivních indikátorů

Indikátor	podíl vlivu na váze %	priorita v AHP modelu	priorita v ANP modelu
AirAxA	0	1.	1.
CFIT	0	2.	2.
RI	12	3.	3.
GNDxA	0	4.	4.
GNDxO	0	5.	5.
SepMin	32	7.	6.
NCFIT	19	8.	7.
DevATC	51	6.	8.
PenAsp	33	10.	9.
LevBust	44	11.	10.
LaserI	24	9.	11.
Com	45	12.	12.
Surv	33	13.	13.
Dat	1	14.	14.
Nav	0	15.	15.
Info	0	16.	16.

Tabulka 6.2: Podíl vlivu na celkové váze indikátoru a vliv na pořadí důležitosti u proaktivních indikátorů

Indikátor	podíl vlivu na váze %	priorita v AHP modelu	priorita v ANP modelu
RAT	0	3.	3.
EoSM	0	1.	2.
JC	62	2.	1.

Kapitola 7

Závěr

Ke zlepšení bezpečnosti v letecké dopravě vede více cest. Analýza pomocí metod AHP a ANP je jen jedna z nich. Vidíme, že je důležité bezpečnostní model řešit jako jeden celistvý systém s co největší snahou odpovídat realitě. Možnost ukázat vazby mezi jednotlivými prvky bez ohledu na hierarchii, patří k bezesporným výhodám síťového modelu. Umožňuje nám vyjádřit vliv jednoho prvku na druhý tak jak je to ve skutečnosti. Vyjádření vlivu prvků na sebe můžeme následně promítnout do váhového hodnocení prvků. Při následném zlepšování celkové bezpečnosti se tedy můžeme soustředit na prvky, které na první pohled mohou vypadat nedůležitě, ale mají dalekosáhlý vliv napříč celým systémem.

Jak síťový tak hierarchický model můžeme téměř libovolně rozšířit. Můžeme přidávat další větve, další úrovně a další klastry. Jen na nás je hloubka rozboru systému a výběr částí, které do modelu zahrneme.

Způsob využití těchto metod, který byl představen v této práci je jen jedna možnost. Použité metody, zejména ANP, nabízejí mnohem větší možnosti využití a to zejména v případě multikriteriálního rozhodování. Díky síťovým vazbám mezi jednotlivými klastry a prvky jsme schopni rozhodovat nejen podle několika kritérií, ale také s ohledem na váhy kritérií a na varianty, které máme k dispozici. Příkladem využití může být analýza, jaký proaktivní indikátor aplikovat, abychom dosáhli zvýšení bezpečnosti s ohledem na náročnost implementace nebo finanční náročnost.

Možnosti využití rozhodovacích metod a analytických procesů jsou mnohem širší než jejich využití pro bezpečnost řízení letového provozu. Můžeme je aplikovat na jakékoliv části letectví, kde dokážeme zajistit dostatečné množství dat, nebo i na další obory, kde je potřeba náročnějších rozhodovacích postupů, a to nejen v oblasti bezpečnosti.

Literatura

- [1] EUROCONTROL *The Aerospace Performance Factor (APF)*, 2009
- [2] EUROCONTROL *RISK ANALYSIS TOOL Guidance Material*, 2013
- [3] EUROCONTROL *RISK ANALYSIS TOOL Guidance Material*, 2009
- [4] EUROCONTROL *EUROCONTROL SAFETY REGULATORY REQUIREMENT 2*, 2009
- [5] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR *Předpis L13*, 2010
- [6] European Aviation Safety Agency *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material for the implementation and measurement of Safety (Key) Performance Indicators (S(KP)Is)*, 2014
- [7] Thomas Michael LITNER, Steven D. SMITH, Scott SMUTHWAITE
The airspace performance factor> Utiliyation of the analytical hierarchy process to develop a balanced performance and safety indicator od the national airspace system for the Fedetal aviati0on administration, 2009
- [8] EUROCONTROL *KPI Deployment Guide*, 2001
- [9] BURÝ, Alois. *Teorie systémů a řízení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 78 s. ISBN 978-80-248-1602-9.
- [10] VOLEK, Josef, LINDA Bohdan. *Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě..* Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012, 190 s. ISBN 978-80-7395-225-9.
- [11] 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
- [12] EUROCONTROL *Improving European ATM Safety through SMART Safety Indicators*, 2009
- [13] FIALA, Petr. *Modely a metody rozhodování*. 3., přeprac. vyd. V Praze: Oeconomica, 2013, 292 s. ISBN 978-80-245-1981-4.
- [14] CAPUTO Antonio C., PELAGAGGE Pacifico M., SALINI Paolo *AHP-based methodology for selecting safety devices of industrial machinery*, Safety Science, Volume 53, March 2013

- [15] CASTELLI Lorenzo, PELLEGRINI Paola *AHP analysis of air traffic management with target windows*, Journal of Air Transport Management, Volume 17, Issue 2, March 2011,
- [16] 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.
- [17] European Aviation Safety Agency *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material for the implementation and measurement of Safety Key Performance Indicators (SKPIs) (ATM performance IR)*, 2011
- [18] EUROCONTROL *PRB Annual monitoring report 2013 Volume 4 - Safety*, 2014
- [19] EUROCONTROL *PRB Annual monitoring report 2012 Volume 4 - Safety*, 2013
- [20] EUROCONTROL *PRB Annual monitoring report 2011 Volume 4 - Safety*, 2012
- [21] EUROCONTROL *Just Culture Policy*, 2012