



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Katedra letecké dopravy

**Kvantitativní analýza rizikovosti letadel ve sledování letové
způsobilosti**
**Quantitative Analysis of Aircraft Risk in Continuing Airworthiness
Monitoring**

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: doc. Ing. Andrej Lališ, Ph.D.

Ing. Kateřina Grötschelová

Bc. Adam Houdek

Praha 2024



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Adam Houdek

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Kvantitativní analýza rizikovosti letadel ve sledování letové způsobilosti**

Název tématu (anglicky): Quantitative Analysis of Aircraft Risk in Continuing Airworthiness Monitoring

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zvýšit objektivitu a přesnost hodnocení rizikovosti letadel ve sledování letové způsobilosti dozorovým orgánem v letecké dopravě s pomocí kvantitativní analýzy.
- Analyzujte současný systém a data ze sledování letové způsobilosti letadel.
- Analyzujte metody pro kvantitativní analýzu dat o rizikovosti letadel v rámci sledování letové způsobilosti.
- Proveďte kvantitativní analýzu s využitím dostupných dat ve sledování letové způsobilosti dozorovým orgánem v letecké dopravě.
- Navrhněte úpravu systému hodnocení rizikovosti letadel za účelem zvýšení objektivity a přesnosti hodnocení letadel.
- Navržené řešení vyhodnoťte a ověřte.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

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

Seznam odborné literatury: ICAO, Doc. 9760: Airworthiness Manual, 3rd Ed., Montréal, Quebec, 2014.
ICAO, Doc. 9859: Safety Management Manual, 4th Ed., Montréal, Quebec, 2018.
Leveson, Nancy. Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. MIT Press, 2012.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Andrej Lališ, Ph.D.**
Ing. Kateřina Grötschelová

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2023**
(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: **15. května 2024**

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

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



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Adam Houdek
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 15. července 2023



Abstrakt

Tato diplomová práce se soustředí na systém vyhodnocení rizikivosti letadel, který používá Oddělení dopravních letadel Úřadu pro civilní letectví. Účelem systému je identifikace nejrizikovějších letadel, na kterých následně pracovníci oddělení vykonávají kontroly. Správná funkčnost systému je důležitá pro efektivní fungování státního dozoru nad letovou způsobilostí. Současný stav systému byl podroben analýze za účelem identifikace jeho slabých míst. Nalezené slabiny souvisely s nepřesností a subjektivitou současného systému, a proto je hlavním cílem této práce zvýšení objektivity a přesnosti tohoto systému. Za účelem navržení nové verze systému byla provedena kvantitativní analýza dat, se kterými systém pracuje. Hlavním cílem této analýzy bylo určení faktorů, které ovlivňují rizikovost letadel. Na základě výsledků analýzy byla vytvořena struktura nové verze systému a následně i funkční vzor systému, který může být implementován dle možností a preferencí uživatele. Přestože se některé identifikované problémy vyskytují i v nové verzi systému, bylo dokázáno, že nová verze je více objektivní a přesná než verze současná.

Klíčová slova: dozorový orgán, kvantitativní analýza, letová způsobilost, rizikovost



Abstract

This diploma thesis focuses on the aircraft risk assessment system used by the Civil Aviation Authority's Transport Aircraft Section. The purpose of the system is to identify the most risky aircraft, which are then inspected by the section's staff. The correct functioning of the system is important for effective airworthiness monitoring by the state. The current state of the system was subjected to analysis to identify its weaknesses. The found weaknesses were related to the inaccuracy and subjectivity of the system, and therefore the main aim of this thesis is to increase the objectivity and accuracy of this system. In order to create a new version of the system, a quantitative analysis of the data the system works with was conducted. The main objective of this analysis was to determine the factors that influence the level of aircraft risk. Based on the results of the analysis, the structure of the new version of the system was created, followed by a functional model, which can be implemented according to user's possibilities and preferences. Although some of the identified problems are still present in the new version of the system, it was proven, that the new version is more objective and accurate than the current version.

Keywords: airworthiness, quantitative analysis, supervisory authority, risk level



Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucím práce panu doc. Ing. Andreji Lališovi Ph.D. a paní Ing. Kateřině Grötschelové za odborné vedení mé práce a poskytnutí mnoha užitečných doporučení při konzultacích. Další cenné informace a podklady k práci mi poskytl vedoucí Oddělení dopravních letadel Úřadu pro civilní letectví, pan Ing. Jiří Ďuk, kterému tímto také děkuji. Na závěr bych chtěl poděkovat celé své rodině a přátelům za nemalou podporu během celého studia.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Kvantitativní analýza rizikovosti letadel ve sledování letové způsobilosti vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

V Praze dne 10. května 2024

.....

Podpis



Obsah

Úvod	11
1 Analýza současného stavu	12
1.1 Letová způsobilost	12
1.1.1 Definování letové způsobilosti	12
1.1.2 Dokumenty letové způsobilosti	12
1.1.3 Fyzické kontroly letadel	15
1.2 Systém vyhodnocení rizikivosti letadel	16
1.2.1 Koncept rizikivosti.....	16
1.2.2 Vznik a popis systému vyhodnocení rizikivosti.....	17
1.2.3 Vývoj systému hodnocení rizikivosti	21
1.3 Přehled vědecké literatury	22
1.4 Limitace současného stavu	24
1.4.1 Zdroje pro zjištění limitací	24
1.4.2 Problém nedostatku kritérií	25
1.4.3 Problematická kritéria	25
1.4.4 Problém výběru letadel	27
1.4.5 Potenciální duplicita dat.....	27
1.4.6 Shrnutí limitací současného stavu	28
2 Metodika	30
2.1 Výběr způsobu analýzy dat	30
2.2 Výběr vhodných statistických metod.....	30
2.3 Analýza datových zdrojů	32
3 Prezentace výsledků.....	36
3.1 Výsledky prověření duplicity dat	36
3.2 Výsledky aplikace statistických metod.....	37
3.2.1 Test korelačního koeficientu	37
3.2.2 Jednofaktorová analýza více výběrů.....	44
3.2.3 Regresní analýza.....	46
3.3 Vytvoření nové verze systému	49
3.3.1 Shrnutí kvantitativní analýzy dat	49



3.3.2	Kritéria nového systému	51
3.3.3	Struktura nové verze systému	56
3.4	Validace navrhovaného řešení	60
4	Diskuse výsledků.....	64
4.1	Přednosti a limitace nové verze systému.....	64
4.2	Způsoby implementace nové verze systému.....	66
5	Závěr	67
	Seznam použité literatury	69
	Příloha 1: Implementace nové verze systému (skript).....	72



Seznam obrázků

Obrázek 1: ICAO matice rizik	17
Obrázek 2: Příklady párování hodnot parametrů s indexy kritérií	20
Obrázek 3: Matice rizik pro systém vyhodnocení rizikovosti	20
Obrázek 4: Vizualizace hodnot parametru <i>MTOM</i> v závislosti na hodnotách parametru <i>Počet osob na palubě</i>	39
Obrázek 5: Krabicové diagramy parametru <i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i> pro jednotlivé provozovatele.....	45
Obrázek 6: Krabicové diagramy parametru <i>Počet technických událostí</i> pro jednotlivé organizace CAMO	45
Obrázek 7: Model závislosti parametrů <i>Počet letových hodin a Položky MEL</i>	48
Obrázek 8: Model závislosti parametrů <i>Počet přistání a Položky MEL</i>	48
Obrázek 9: Rozhodovací strom pro zařazování kritérií pravděpodobnosti do systému	52
Obrázek 10: Schéma nové verze systému vyhodnocení rizikovosti.....	57
Obrázek 11: Vývojový diagram algoritmu přiřazování kontrol k organizacím	58
Obrázek 12: Matice rizik s vynesnými letadly pro validaci systému.....	62



Seznam tabulek

Tabulka 1: Informace o skupinách pro testování korelačního koeficientu	38
Tabulka 2: Výsledky testů korelačního koeficientu pro parametry <i>Počet osob na palubě a MTOM</i>	38
Tabulka 3: Výsledky testů korelačního koeficientu pro kritéria <i>Rok výroby a Počet technických událostí</i>	40
Tabulka 4: Výsledky testů korelačního koeficientu pro kritéria <i>Rok výroby a Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	41
Tabulka 5: Výsledky testů korelačního koeficientu pro potenciální nová kritéria	41
Tabulka 6: Výsledky testů korelačního koeficientu pro parametry velikostí flotil.....	42
Tabulka 7: Souhrnné výsledky testů pro snížený počet dat (Boeing 737-800)	43
Tabulka 8: Souhrnné výsledky testů jednofaktorové analýzy více výběrů	44
Tabulka 9: Souhrnné výsledky regresní analýzy	47
Tabulka 10: Skóre vybraných organizací.....	61



Seznam symbolů a zkratk

α	Hladina významnosti
ρ	Korelační koeficient
ACAM	Sledování zachování letové způsobilosti (Aircraft Continuing Airworthiness Monitoring)
AD	Směrnice o letové způsobilosti (Airworthiness Directive)
AMC	Přijatelné způsoby průkazu (Acceptable Means of Compliance)
AMM	Příručka pro údržbu (Aircraft Maintenance Manual)
AMO	Organizace oprávněná k údržbě letadel (Approved Maintenance Organization)
AMP	Program údržby (Aircraft Maintenance Program)
ANOVA	Analýza rozptylu (Analysis of Variance)
ARC	Osvědčení kontroly letové způsobilosti (Airworthiness Review Certificate)
CAMO	Organizace k řízení zachování letové způsobilosti (Continuing Airworthiness Management Organization)
CAO	Organizace letové způsobilosti s kombinovanými právy (Combined Airworthiness Organization)
DOA	Oprávněná organizace k vývoji a projektování letecké techniky (Design Organization Approval)
EASA	Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví (European Union Aviation Safety Agency)
EEL	Rozložení nouzového vybavení (Emergency Equipment Layout)
EMM	Příručka pro údržbu motoru (Engine Maintenance Manual)
GM	Poradenský materiál (Guidance Material)
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví (International Civil Aviation Organization)
MATLAB	Laboratoř matic (Matrix Laboratory)
MCDA	Vícekritériální analýza (Multiple-Criteria Decision Analysis)
MEL	Seznam minimálního vybavení (Minimum Equipment List)
MMEL	Základní seznam minimálního vybavení (Master Minimum Equipment List)
MTOM	Maximální vzletová hmotnost (Maximum Take-Off Mass)
NL-CAA	Úřad civilního letectví Nizozemska (Civil Aviation Authority Netherlands)
OLZ	Osvědčení letové způsobilosti
POA	Organizace s oprávněním k výrobě (Production Organization Approval)
PtF	Povolení k letu (Permit to Fly)



PZZ	Příkaz k zachování letové způsobilosti
ROWI	Vážený index regulačního dozoru (Regulatory Oversight Weighting Index)
SACA	Posouzení bezpečnosti vlastního letadla (Safety Assessment of Community Aircraft)
SAFA	Posouzení bezpečnosti cizího letadla (Safety Assessment of Foreign Aircraft)
SANA	Posouzení bezpečnosti letadla pod národním dozorem (Safety Assessment of National Aircraft)
STAMP	Systémově-teoretický model nehod a procesů (System-Theoretic Accident Model and Processes)
STPA	Systémově-teoretická analýza procesů (System-Theoretic Process Analysis)
ÚCL	Úřad pro civilní letectví



Úvod

Letecká doprava v současné podobě obsahuje více struktur a systémů, jejichž úkolem je udržovat bezpečnost provozu na přijatelné úrovni, nebo tuto úroveň ještě zvyšovat. Jedním ze zmíněných udržovacích mechanismů je systém státního dozoru nad civilním letectvím. Úkolem institucí státního dozoru je kontrola úrovně bezpečnosti leteckého provozu. V České republice je takovouto institucí Úřad pro civilní letectví (ÚCL). Tento orgán provádí státní dozor nad rozličnými aspekty letecké dopravy, mimo jiné i nad technickým stavem letadel. Je totiž žádoucí, aby byla letecká doprava zajišťována pomocí výrobků (letadel, motorů, vrtulí apod.), jejichž technický stav umožňuje bezpečný provoz. Takovéto výrobky lze označit jako letově způsobilé.

Nad zachováním letové způsobilosti letadel má v rámci struktury ÚCL odpovědnost mimo jiné i Oddělení dopravních letadel. Pracovníci tohoto oddělení vykonávají v rámci své dozorové činnosti kontroly jednotlivých letadel, při kterých jsou přezkoumávány doklady a dokumenty letové způsobilosti pro dané letadlo a také skutečný technický stav letadla. Při takovýchto kontrolách může dojít k identifikaci významných bezpečnostních problémů. Zároveň mohou kontroly působit jako motivace pro subjekty odpovědné za zachování letové způsobilosti (tedy pro provozovatele) vykonávat řádně své povinnosti v této oblasti. Provádění těchto kontrol je tedy plně zdůvodnitelné.

Zároveň je nutné zmínit, že lidské zdroje pro provádění těchto kontrol jsou omezené. Z tohoto důvodu jsou pracovníci Oddělení dopravních letadel nuceni vybírat letadla, která by měla být v nejbližším časovém období zkontrolována. Taková letadla jsou zanesena do plánu kontrol pro dané období. Z hlediska bezpečnosti je účelné vybírat ke kontrole letadla, u kterých existuje konkrétní předpoklad určitých bezpečnostních problémů. Případná kontrola totiž může právě tyto problémy identifikovat. Naopak u letadel bez zmíněného předpokladu může být kontrola odložena.

Oddělení dopravních letadel provádí zmíněný výběr pomocí systému vyhodnocení rizikovosti letadel. Tento systém je založen na vybraných datech, které Oddělení dopravních letadel nepřetržitě sbírá. V současné době systém poskytuje očekávaný výstup, tedy míru rizikovosti posuzovaných letadel, není však jisté, zda je vyhodnocování prováděno dostatečně přesně a objektivně (což je vzhledem k důležitosti systému žádoucí). Při práci se systémem je totiž možné identifikovat jeho limity, které souvisí právě s přesností a objektivitou hodnocení letadel. Každá taková slabina systému je sama o sobě motivací pro vylepšení systému, které by zvýšilo jeho přesnost a objektivitu, což je i cílem této práce.



1 Analýza současného stavu

Účelem této kapitoly je představit problematiku hodnocení rizikovosti letadel ve sledování letové způsobilosti dozorovým orgánem. V této práci je uvedená problematika podrobně rozebírána v rámci systému pro vyhodnocení rizikovosti letadel, který používá Oddělení dopravních letadel ÚCL. Tento konkrétní systém je v této kapitole podrobněji popsán a analyzován včetně identifikace limitací současného stavu systému.

1.1 Letová způsobilost

Tato podkapitola si klade za cíl stručné představení problematiky sledování letové způsobilosti se zaměřením na roli dozorového orgánu v této oblasti. Tomu odpovídá i výběr konkrétních témat z této problematiky, přičemž oblasti, které jsou podstatné pro praktickou část této práce, jsou rozebrány podrobněji.

1.1.1 Definování letové způsobilosti

Předpis *L 8 Letová způsobilost letadel* definuje pojem *letově způsobilý* jako „stav letadla, motoru, vrtule nebo letadlové části, kdy vyhovuje svému schválenému návrhu a je ve stavu pro bezpečný provoz“ [1]. Stejný předpis také definuje pojem *zachování letové způsobilosti* jako „soubor postupů, jejichž prostřednictvím letadlo, motor nebo letadlová část vyhovuje platným požadavkům letové způsobilosti a zůstává ve stavu pro bezpečný provoz po celou dobu své provozní životnosti“ [1].

1.1.2 Dokumenty letové způsobilosti

V této podkapitole jsou představeny příklady jednotlivých dokumentů a dokladů letové způsobilosti, na jejichž kontrole a vydávání se může podílet dozorový orgán.

Typové osvědčení

Typové osvědčení je dokumentem, který přesně vymezuje konstrukci určitého výrobku. Zároveň se jedná o potvrzení, že daná konstrukce splňuje příslušné požadavky daného státu [1]. Letadla, jejichž Typové osvědčení bylo vydáno nebo uznáno Agenturou Evropské unie pro bezpečnost letectví (EASA), se označují jako letadla transferovaná [2]. Typové osvědčení je hlavním dokumentem v oblasti počáteční letové způsobilosti daného výrobku a z hlediska zaměření této práce se nejedná o zásadní dokument, proto nebude popisován podrobněji.



Osvědčení letové způsobilosti (OLZ)

Dokument Osvědčení letové způsobilosti vydává ÚCL letadlům, u kterých se přesvědčí, že jsou ve stavu pro bezpečný provoz [3]. ÚCL tento dokument letadlu vydá po předložení vyplněné žádosti [4].

Osvědčení kontroly letové způsobilosti (ARC)

Osvědčení kontroly letové způsobilosti je dokumentem, který může být vydán ÚCL, Organizací k řízení zachování letové způsobilosti (CAMO), Organizací letové způsobilosti s kombinovanými právy (CAO), Organizací oprávněnou k údržbě letadel (AMO) nebo nezávislým osvědčujícím personálem. Letadlu může být ARC vydáno, pokud vyhoví určitým podmínkám (např. provedení Kontroly letové způsobilosti (KLZ), odstranění případných nálezů). Platné ARC je společně s platným OLZ nutnou podmínkou pro aktuální letovou způsobilost letadla. [4]

Povolení k letu (PtF)

Pro letadla, která nesplňují platné požadavky letové způsobilosti, ale jsou schopná bezpečného letu za stanovených podmínek, je možné vydat povolení k provedení tohoto letu. Povolení vydává ÚCL (podklady pro let může schvalovat organizace EASA), CAMO, CAO, Organizace oprávněná k výrobě (POA) nebo Organizace oprávněná k vývoji a projektování letecké techniky (DOA). [4]

Příkaz k zachování letové způsobilosti (PZZ)

ÚCL, stejně jako zahraniční letecké úřady, mohou vydávat Příkazy k zachování letové způsobilosti (v zahraničí jsou tyto dokumenty nazývány Airworthiness Directives (AD)). Jedná se o dokumenty, které popisují nalezenou nebezpečnou nebo nežádoucí vlastnost výrobku a určují podmínky, za kterých je možné pokračovat v provozu na stanovené úrovni bezpečnosti (např. za podmínky provádění pravidelné inspekce na určité letadlové části). Jednotlivá AD jsou veřejně přístupná na webových stránkách příslušných úřadů. [5]

Program údržby (AMP)

Program údržby je dokumentem, podle kterého by měla být organizována údržba daného letadla (případně skupiny letadel). Program může být ÚCL předkládán vlastníkem, provozovatelem nebo organizací, která řídí letovou způsobilost (CAMO nebo CAO). Je nutné, aby byl Program údržby průběžně kontrolován a aktualizován, přičemž počáteční vyhotovení programu a každá jeho změna musí být schválena ÚCL nebo organizací, která řídí letovou



způsobilost (tzv. postup nepřímého schválení). Program údržby letadla spadajícího pod část ML *Nařízení Komise (EU) 1321/2014* může být také schválen samotným vlastníkem letadla. [6] [7]

Program údržby musí obsahovat informace o veškeré údržbě, která má na letadle být provedena v souladu s požadavky pro zachování letové způsobilosti a dalšími požadavky ÚCL [7]. Zdrojové dokumenty pro program údržby jsou typicky manuály, které vydává výrobce letadla, letadlového celku nebo dalšího vybavení, které je na palubě letadla (např. Aircraft Maintenance Manual (AMM), Engine Maintenance Manual (EMM)). Dalšími zdroji mohou být AD vydaná pro příslušné letadlo nebo letadlovou část. Uvedené manuály jejich vydavatelé průběžně aktualizují, což je důvodem k pravidelné kontrole a aktualizaci i Programu údržby, který by měl vždy vycházet z nejaktuálnější verze všech dokumentů.

Program údržby typicky obsahuje základní údaje o letadle (registrační značka, výrobní číslo, rok výroby, typ motorů), přehled manuálů použitých pro tvorbu AMP a označení jejich revizí, přehled předepsaných prohlídek, informace o instalovaných dílech s omezením provozních lhůt, úkoly údržby vykonávané dle požadavků ÚCL¹, úkoly údržby vykonávané dle vydaných AD a úkoly neplánované údržby [6].

Seznam minimálního vybavení (MEL)

Dokumenty, které byly prezentovány výše, lze označit přímo za doklady letové způsobilosti, popřípadě dokumenty silně spojené s tématem letové způsobilosti. Seznam minimálního vybavení je naproti tomu dokument, který lze označit spíše za provozní, ačkoliv má také spojitost s letovou způsobilostí. V této podkapitole je prezentován především kvůli své důležitosti pro praktickou část této práce.

MEL je dokument, jehož hlavním obsahem je seznam vybavení, které může být dočasně během provozování letadla mimo provoz, pokud jsou splněny s tím související podmínky. Seznam vybavení typicky obsahuje název daného vybavení, kategorii upřesňující interval, během kterého může být vybavení mimo provoz, počet instalovaných kusů daného vybavení, minimální počet kusů provozuschopného vybavení a poznámky vymezující podmínky provozu bez daného vybavení, popřípadě odkazy na související postupy.

¹ Jedná se o požadavky dle směrnice CAA-ST-092-6/07 (dostupná z: https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2021/06/CAA-ST-092-6-07_1.pdf?cb=de33f4f581041840d5d8d03cda78f870)



MEL je zpracováván provozovatelem. Zdrojovým dokumentem je Základní seznam minimálního vybavení (MMEL), podle kterého provozovatel daného letadla zpracovává příslušný MEL, přičemž podmínky uvedené v dokumentu MEL musí být minimálně stejně přísné jako podmínky uvedené v dokumentu MMEL. [8] Samotný MMEL je zpracováván organizací odpovědnou za typový návrh a schvalován leteckým úřadem státu projekce a podobně jako zdrojové dokumenty pro AMP je i on průběžně aktualizován, což vytváří požadavek na aktualizaci i dokumentu MEL [9]. Počáteční vyhotovení dokumentu MEL a každá jeho následná změna musí být schválena ÚCL [8].

1.1.3 Fyzické kontroly letadel

Tato podkapitola uvádí jednotlivé možnosti provedení fyzické kontroly letadla za účelem ověření letově způsobilého stavu.

Sledování zachování letové způsobilosti (ACAM)

ÚCL provádí sledování zachování letové způsobilosti pomocí systému kontrol ACAM, který vychází z požadavků *Nařízení Komise (EU) 1321/2014*. Existují 2 typy kontrol, oba typy musí zahrnovat fyzickou prohlídku letadla.

- Celková kontrola
Jedná se o podrobnou kontrolu prováděnou typicky na traťové stanici údržby nebo v organizaci údržby, která zahrnuje fyzickou prohlídku letadla a kontrolu dokumentace údržby daného letadla a kontrolu provozně technické dokumentace (např. platnost OLZ a ARC, aktuálnost seznamu AD).
- Kontrola na odbavovací ploše
Jedná se o méně podrobnou namátkovou kontrolu prováděnou během provozu letadla. Provozovatel by o ní neměl být informován dopředu. [10]

Celá praktická část této práce se zabývá problematikou vytvoření plánu namátkových kontrol ACAM. Určitý návod na vytvoření tohoto plánu lze nalézt v dokumentech *Přijatelné způsoby průkazu (AMC) a Poradenský materiál (GM) pro Nařízení Komise (EU) 1321/2014*. Dokument AMC obsahuje způsoby, jak vyhovět požadavkům *Nařízení Komise (EU) 1321/2014*, přičemž v AMC1 M.B.303(a) lze nalézt pokyny a doporučení pro vytvoření programu kontrol. Dle zmíněného dokumentu AMC by měl program ve smyslu provedení kontroly upřednostnit ty prvky systému (v rámci provozovatele nebo flotily letadel), jejichž míra rizikosti vzbuzuje největší znepokojení. [11]



Plány namátkových kontrol ACAM musí být tvořeny také v souladu s požadavky, které jsou dány interní směrnici *ÚCL-ST-100-10/08 Postupy sledování zachování letové způsobilosti letadel v provozu*. Tato směrnice obsahuje konkrétní časové intervaly, během kterých musí dojít ke kontrole v rámci provozovatele nebo typu letadla. [12]

Kontrola letové způsobilosti (KLZ)

Provedení kontroly letové způsobilosti je podmínkou pro vydání ARC. Kontrola zahrnuje provedení fyzického posouzení letadla a přezkum záznamů letadla. Kontrolu může provádět ÚCL, CAMO, CAO, AMO nebo nezávislý osvědčující personál. [7] Při provádění kontroly KLZ organizací CAMO (CAO, AMO) může ÚCL souběžně na stejném letadle provádět i Celkovou kontrolu ACAM [10].

Evropský program kontrol (SAFA/SACA/SANA)

Evropský program kontrol vychází z požadavků *Nařízení Komise (EU) 965/2012*. Prováděné kontroly se dělí na kontroly SAFA (Safety Assessment of Foreign Aircraft, kontroly letadel provozovatelů třetích zemí), kontroly SACA (Safety Assessment of Community Aircraft, kontroly letadel provozovatelů členských států EU) a kontroly SANA (Safety Assessment of National Aircraft, kontroly letadel pod vlastním národním dozorem). Kontrola zahrnuje mimo jiné fyzickou prohlídku letadla a kontrolu palubní dokumentace. Postup v případě nálezu při kontrole se odvíjí od jeho závažnosti (např. zákaz dalšího provozu, informování provozovatele o nálezu). Letadlo může být ke kontrole vybráno náhodně nebo na základě podezření z nesouladu s bezpečnostními standardy. [13]

1.2 Systém vyhodnocení rizikovosti letadel

Tato podkapitola si klade za cíl podrobně představit současný stav systému vyhodnocení rizikovosti letadel. V této kapitole je proto zmíněn teoretický základ systému, jeho vznik a postupný vývoj v čase.

1.2.1 Koncept rizikovosti

Tématem rizikovosti, rizik a jejich řízení se podrobně zabývá ICAO dokument *Doc 9859 Safety Management Manual* [14], který může sloužit jako základ pro tvorbu systémů pro řízení bezpečnosti v organizacích. Tento manuál definuje bezpečnostní riziko jako predikovanou pravděpodobnost a závažnost následků nebezpečí, přičemž nebezpečí je definováno jako okolnost nebo objekt s potenciálem způsobit (nebo přispět ke způsobení) letecké nehody nebo incidentu [14]. Riziko lze tedy popsat metrikou závažnosti (závažnost případných následků)

a pravděpodobnosti (pravděpodobnost realizace rizika). Tyto metriky jsou využity v nástroji nazvaném *ICAO matice rizik*. Jedná se o nástroj využívaný pro hodnocení konkrétních rizik při procesu řízení rizik. [14] Příklad matice rizik je zobrazený na Obrázku 1.

Safety Risk		Severity				
Probability		Catastrophic A	Hazardous B	Major C	Minor D	Negligible E
Frequent	5	5A	5B	5C	5D	5E
Occasional	4	4A	4B	4C	4D	4E
Remote	3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable	2	2A	2B	2C	2D	2E
Extremely improbable	1	1A	1B	1C	1D	1E

Obrázek 1: ICAO matice rizik [14]

V matici zobrazené na Obrázku 1 lze nalézt stupně pravděpodobnosti (A–E) na vertikální ose a stupně závažnosti (1–5) na horizontální ose. Při konkrétním použití matice by měly být stupně závažnosti a pravděpodobnosti blíže specifikovány (např. uvedením příkladů následků pro jednotlivé stupně závažnosti a četností výskytů realizace rizik pro jednotlivé stupně pravděpodobnosti). Počet stupňů není standardizovaný, každá matice může mít jiné stupnice v závislosti na konkrétním využití. Přesně dané není ani rozdělení matice do barevně odlišených oblastí (zelená, oranžová, červená).

Při potřebě hodnocení určitého rizika je danému riziku přiřazen stupeň závažnosti a pravděpodobnosti dle bližší specifikace obou stupnic. Následně lze riziko vynést do příslušného pole matice. Barva daného pole určuje přijatelnost rizika a způsob jeho řízení. Pravidla pro nakládání s rizikem v závislosti na barvě pole si může každý uživatel určit individuálně, velmi často se však rizika z červené oblasti označují jako rizika nepřijatelná, která musí uživatel okamžitě zmírnit nebo zcela eliminovat. Rizika z oranžové oblasti jsou nejčastěji chápána jako rizika, kterým nemusí být věnována pozornost ihned, popřípadě mohou být tolerována na základě rozhodnutí odpovědných osob organizace. Rizika ze zelené oblasti jsou nejčastěji považována za zcela přijatelná. [14]

1.2.2 Vznik a popis systému vyhodnocení rizikovosti

V podkapitole 1.1.3 byly prezentovány legislativní požadavky a doporučení vůči ÚCL v oblasti plánování kontrol ACAM. Odpovědná oddělení ÚCL by dle zmíněných požadavků a doporučení měla vytvářet plány kontrol ACAM, které by upřednostnily prvky systému



(letadla), jejichž rizikovost vyvolává největší znepokojení (což lze pochopit jako doporučení pro vytvoření plánu, který by upřednostňoval letadla, která se jeví jako nejvíce riziková). Proto se na ÚCL (konkrétně na Oddělení dopravních letadel a Oddělení malých letadel) začal používat systém pro vyhodnocení rizikovosti letadel, jehož výstupy slouží jako podklad pro vytvoření plánu kontrol ACAM. Následující text se bude týkat systému používaného na Oddělení dopravních letadel, přičemž systém používaný na Oddělení malých letadel se od zmíněného v základním principu fungování nijak neliší.

Na Oddělení dopravních letadel probíhá vyhodnocení rizikovosti pro všechna letadla v rámci oblasti odpovědnosti oddělení. Letadla jsou rozdělena do pěti skupin:

- Dopravní letadla
- Business jety
- Turbovrtulová letadla malá
- Vrtulníky spadající pod část M *Nářízení Komise (EU) 1321/2014*
- Vrtulníky spadající pod část ML *Nářízení Komise (EU) 1321/2014*

Pro každou skupinu probíhá vyhodnocení izolovaně od ostatních skupin, princip je však pro všechny skupiny stejný. Vyhodnocení rizikovosti je prováděno na základě hodnot parametrů o letadlech, jejich provozovatelích a organizacích CAMO. Pro každou skupinu jsou definována určitá kritéria závažnosti a pravděpodobnosti, která vznikla z jednotlivých parametrů.

Nejčastěji používaná kritéria závažnosti jsou:

- *Druh provozu*
- *Typ provozu*
- *Maximální provozní konfigurace sedadel pro cestující* (zkracováno jako *Počet osob na palubě*)
- *Maximální vzletová hmotnost (MTOM)*
- *Počet letadel, řízených danou organizací CAMO* (zkracováno jako *Počet řízených letadel*)

Nejčastěji používaná kritéria pravděpodobnosti jsou:

- *Rok výroby*
- *Počet technických událostí*
- *Datum poslední kontroly ACAM*



- *Počet nálezů z kontroly ACAM*
- *Zkušenosti s provozovatelem [15]*

Každému letadlu je přiřazen určitý index pro každé kritérium, které je v dané skupině definováno. V počátečním stavu systému byla pro všechna kritéria použita intervalová metoda přiřazování. Tato metoda spočívala v párování určitých hodnot indexu s určitou hodnotou nebo intervalem hodnot odpovídajícího parametru pro dané letadlo. Na základě párování je možné pro konkrétní letadlo určit index kritéria díky znalosti hodnoty parametru daného letadla. Příklady párování jsou vyobrazeny na Obrázku 2.

Následně se pro každé letadlo určí hodnota závažnosti a pravděpodobnosti. Hodnota závažnosti je vypočítána dle vzorce (1), kde proměnná Z vyjadřuje závažnost pro jedno letadlo, proměnná N celkový počet kritérií závažnosti v dané skupině, proměnná I_i index aktuálního kritéria závažnosti i a proměnná s_i sílu aktuálního kritéria i . Síla aktuálního kritéria je hodnota určovaná uživatelem systému pro každé kritérium a uživatel pomocí ní může zvýšit nebo naopak snížit příspěvek daného kritéria k celkové závažnosti.

$$Z = \sum_i^N I_i \cdot s_i \quad (1)$$

Princip výpočtu hodnoty pravděpodobnosti je identický se způsobem výpočtu závažnosti, proto zde nebude uváděn.

Po provedení výpočtu závažnosti a pravděpodobnosti pro všechna letadla ve skupině mohou být letadla vynesena do matice rizik pro danou skupinu systému. Matice rizik pro zmíněný systém ÚCL má na horizontální ose hodnoty závažnosti a na vertikální ose hodnoty pravděpodobnosti, přičemž rozsah hodnot je dán minimální a maximální dosažitelnou hodnotou této metriky v závislosti na počtu kritérií dané metriky, rozsahu hodnot indexů pro jednotlivá kritéria a hodnotách sil daných kritérií. [15] Příklad takovéto matice je (v anonymizované podobě) zobrazen na Obrázku 3.

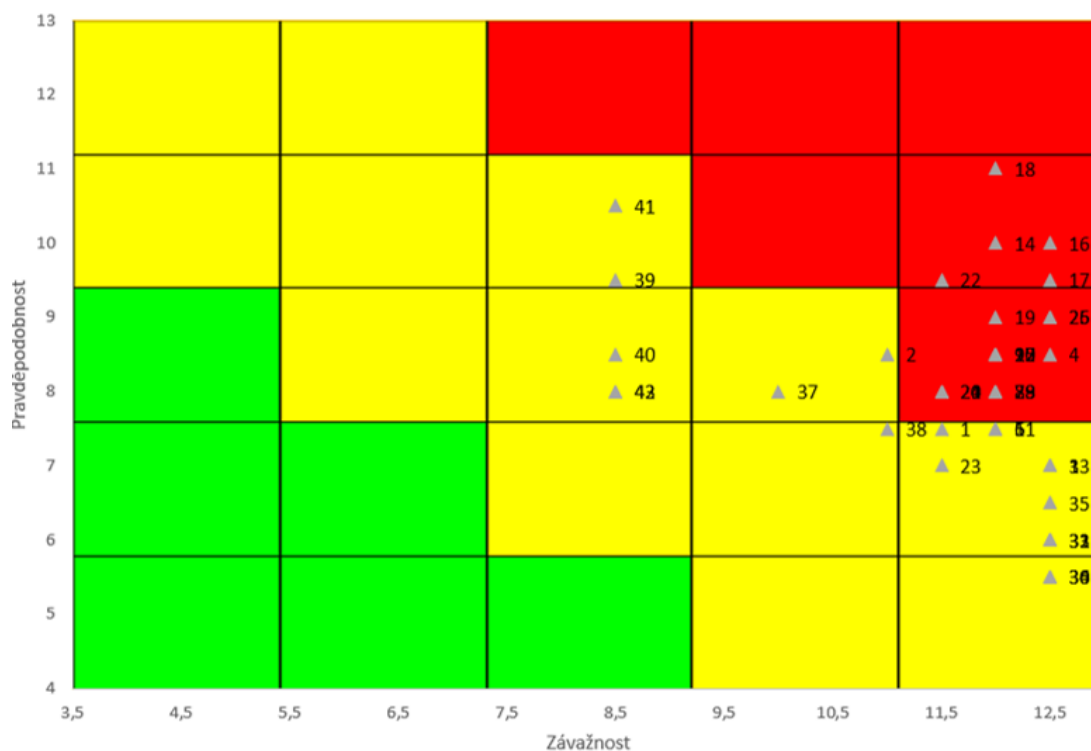
Pokud chce pracovník ÚCL sestavit plán kontrol ACAM na následující rok, musí pro každou skupinu určit počet kontrol, který je realistický z hlediska časových zdrojů pracovníků ÚCL. Následně pracovník pohledem do matice rizik určí, která konkrétní letadla budou zanesena do plánu, přičemž by měla být vybrána letadla, která se jeví jako nejvíce riziková, tzn. jsou nejbližší pravému hornímu rohu matice, který je označený červenou barvou. [15] Tím je celý proces výběru letadel zakončen, detailním plánováním kontrol na jednotlivá čtvrtletí se tato práce již nezabývá.

Počet osob na palubě			Index
≤	50		1
>	50	≤ 100	2
>	100	≤ 150	3
>	150		4
Koeficient			1

MTOM [kg]			Index
≤	5700		1
>	5700	≤ 25000	2
>	25000	≤ 100000	3
>	100000		4
Koeficient			0,5

Počet řízených letadel			Index
≤	3		1
>	3	≤ 10	2
>	10	≤ 30	3
>	30		4
Koeficient			0,5

Obrázek 2: Příklady párování hodnot parametrů s indexy kritérií [15]



Obrázek 3: Matice rizik pro systém vyhodnocení rizikovosti [15]



Z výše popsaného postupu vyplývá, že se matice rizik pro popisovaný systém významně liší od matice rizik ICAO (viz podkapitola 1.2.1) ve smyslu podoby matice a postupů s ní prováděných. Matice pro systém ÚCL má, na rozdíl od matice ICAO, hodnoty závažnosti a pravděpodobnosti na obou osách spojitě. Do matice pro systém ÚCL jsou vynášena přímo letadla. Matice ICAO hodnotí jednotlivá rizika na základě jejich zařazení do určitého pole matice, zatímco v matici rizik pro systém ÚCL dochází k hodnocení letadel na základě porovnání jejich poloh v matici v rámci jedné skupiny. Pro určení, zda bude dané letadlo zaneseno do plánu kontrol ACAM, nemá význam pouze poloha letadla v rámci matice, ale také poloha ostatních letadel v matici. Z toho lze vyvodit dva poznatky:

- Metriky závažnosti a pravděpodobnosti jsou v systému ÚCL pouze relativní ukazatele, neexistuje žádný konkrétní interval hodnot dané metriky, který by nařizoval provedení kontroly ACAM.
- Vzhledem k relativitě metrik lze konstatovat, že barevné označení polí matice pozbývá svého původního významu, který mělo v matici ICAO. V matici systému ÚCL již není důležité, do které ze tří barevných oblastí bude letadlo zařazeno. Do plánu kontrol může být zařazeno letadlo z červené, oranžové (popř. žluté) i zelené oblasti, vše závisí na rozmístění všech letadel ze skupiny v matici. Barevné rozdělení matice nyní slouží pouze jako pomůcka pro uživatele systému k rychlé identifikaci oblasti matice s nejvyššími hodnotami závažnosti a pravděpodobnosti (tzn. červené oblasti).

1.2.3 Vývoj systému hodnocení rizikovosti

Autor této práce se zmiňovaným systémem na Oddělení dopravních letadel již zabýval v rámci své bakalářské práce na téma *Sběr a analýza dat pro sledování letové způsobilosti složitých letadel* [15]. V této práci pohlížel na systém vyhodnocení rizikovosti jako na jeden ze subsystémů celkového systému sledování letové způsobilosti na Oddělení dopravních letadel. V rámci zmíněné práce autor analyzoval fungování tehdejšího systému pro vyhodnocení rizikovosti letadel (tzn. systému ve stavu, který byl popsán v předchozí podkapitole), provedl identifikaci slabých stránek a navrhl určité změny v systému. Jednou z těchto změn, která byla do systému implementována a která je v současné době součástí systému, je nahrazení intervalové metody přiřazování indexů kritéria metodou přiřazování založenou na vzorcích. Tato změna byla implementována u všech kritérií, která vychází z číselných parametrů, tedy např. u kritérií *MTOM*, *Počet osob na palubě* nebo *Počet řízených letadel*. U kritérií jako je např. *Druh provozu* nebo *Typ provozu* tento způsob nemohl být aplikován. [15]



Navržená metoda spočívá ve výpočtu indexu daného kritéria pro konkrétní letadlo. Pro celý systém byly navrženy celkem tři vzorce, dva z nich vychází z předpisu lineární funkce. Jeden z těchto vzorců je představen i v této práci (2). V tomto vzorci proměnná I_i představuje index kritéria pro dané letadlo i , proměnné I_{MAX} a I_{MIN} představují maximální a minimální možnou hodnotu indexu (zadáno uživatelem). Proměnné K_{MAX} a K_{MIN} představují analogicky maximální a minimální číselnou hodnotu parametru pro všechna letadla ve skupině a proměnná K_i hodnotu parametru pro dané letadlo. [15]

$$I_i = \frac{(I_{MAX} - I_{MIN})}{(K_{MAX} - K_{MIN})} \cdot (K_i - K_{MIN}) + I_{MIN} \quad (2)$$

Pro výpočet indexu kritéria *Datum poslední kontroly ACAM* byl vytvořen odlišný vzorec (3). Proměnná D_i představuje počet dní od poslední proběhlé kontroly ACAM a proměnná k je empiricky zjištěná konstanta. [15]

$$I_i = k \cdot D_i^2 \quad (3)$$

Zavedení těchto vzorců do systému mělo vyřešit problém nedostatečného odlišení letadel ve skupině, tedy situaci, kdy velké množství letadel mělo stejné hodnoty závažnosti a pravděpodobnosti. To byl důsledek intervalové metody přiřazování indexů. Zavedení vzorců způsobilo rozšíření oboru možných hodnot indexů kritérií, což vedlo k vyšší míře rozlišení letadel od sebe (i malý rozdíl v hodnotě určitého parametru způsobí rozdíl v hodnotě indexu odpovídajícího kritéria, což pro předchozí způsob přiřazování nemuselo platit). Zároveň tím došlo k zpřesnění hodnocení rizikivosti. [15]

1.3 Přehled vědecké literatury

Tato podkapitola si klade za cíl představit příklady vědecké literatury, kterou je možné využít jako podklad pro teoretickou část této práce nebo jako inspiraci pro tvorbu praktické části. Takovéto zdroje je možné rozdělit do dvou skupin:

- Zdroje zabývající se problematikou systémů ÚCL
- Zdroje zabývající se problematikou obsaženou v této práci obecně (nezaměřují se na ÚCL jakožto na dozorový orgán letectví v ČR)



Při tvorbě této práce byly použity zejména zdroje z první skupiny vzhledem k nutnosti popsání současného stavu systému vyhodnocení rizikovosti letadel. Z tohoto důvodu je významným zdrojem informací pro tuto práci již zmíněná bakalářská práce *Sběr a analýza dat pro sledování letové způsobilosti složitých letadel* (2022), ve které se autor této práce zabýval mimo jiné i systémem pro vyhodnocení rizikovosti letadel. Tato diplomová práce na zmíněnou bakalářskou práci navazuje. [15]

Ing. Martina Liptáková v roce 2021 úspěšně obhájila bakalářskou práci na obdobné téma (*Sběr a analýza dat v sledování letové způsobilosti jiných než složitých letadel*). V této práci se také zabývala systémem pro vyhodnocení rizikovosti letadel a jeho kritérii (se zaměřením na verzi systému pro Oddělení malých letadel). Z této práce je možné vyčíst určité rozdíly této verze systému oproti verzi na Oddělení dopravních letadel. [16]

Autorka zmíněné práce kromě toho v roce 2023 obhájila diplomovou práci na téma *Sledování letové způsobilosti jiných než složitých letadel s pomocí modelu STAMP* [17]. V této práci se opět zabývala problematikou sledování letové způsobilosti ÚCL se zaměřením na procesy, které vykonává Oddělení malých letadel. Autorka aplikuje na současný systém sledování letové způsobilosti bezpečnostní metodu STPA (System-Theoretic Process Analysis) odvozenou z bezpečnostního modelu STAMP (System-Theoretic Accident Model and Processes) [18] s cílem navrhnout nový přístup ke sledování letové způsobilosti. Jedná se tedy o problematiku, kterou se zabývá i tato práce, byť autorka pracuje v širším kontextu (tato práce se soustředí pouze na systém vyhodnocení rizikovosti letadel). Přesto může být obhájená práce zdrojem informací pro tuto práci. Autorka například uvádí, že z pohledu provedené analýzy se samostatné sledování letadel nejeví jako dostačující a zdůrazňuje význam činnosti organizací, které se podílí na zachování letové způsobilosti [17]. Takovýto poznatek může být chápán jako výzva věnovat v rámci sledování letové způsobilosti dostatečnou pozornost hodnocení organizace jako celku. V duchu tohoto požadavku může být změněn i systém vyhodnocení rizikovosti letadel, kterým se zabývá tato práce.

Ze skupiny zdrojů informací obecněji zaměřených lze zmínit disertační práci Dr. Dhanapaly Jayakody-Arachchige na téma *Bayesian Model for Strategic Level Risk Assessment in Continuing Airworthiness of Air Transport* (2011). V této práci se autor zabývá posuzováním rizik v pokračující letové způsobilosti za pomocí Bayesova modelu. Řešený problém není kvůli své úrovni podrobnosti kompatibilní s problémem řešeným v této práci, nicméně autor v teoretické části práce zmiňuje některé způsoby posuzování rizik používaných zahraničními dozorovými orgány. Přestože tyto způsoby nemusí být, vzhledem k časovému odstupu od



vydání práce, již v současné době používány, stále se jedná o cenný zdroj informací o postupech dozorových orgánů v zahraničí. [19]

Zmíněná práce například uvádí, že dozorový orgán Nizozemska (NL-CAA) používá systém posouzení rizik, který je založen na konceptu metody Vícekriteriální analýzy (MCDA) [19]. Jedná se metodu nejčastěji používanou pro provedení určitého rozhodnutí. Toto rozhodnutí je učiněno na základě číselných hodnot kritérií, kterým jsou přiřazeny váhy. Popis této metody připomíná v mnoha ohledech systém vyhodnocení rizikovosti na ÚCL (zmíněné rozhodnutí je v kontextu systému ÚCL reprezentováno otázkou zařazení/nezařazení letadla do plánu kontrol). Systém používaný samotným dozorovým orgánem spočívá v hodnocení organizací v oblastech organizačních rizik, legislativních požadavků a požadavků kvality. [19] Jedná se o doklad hodnocení organizací dozorovým orgánem, tedy koncept, který byl navržený i ve výše zmíněné diplomové práci.

Autor disertační práce také zmiňuje existenci metriky *Regulatory Oversight Weighting Index* (ROWI), na které je založený model, který může být používán jako administrativní nástroj pro dozorový orgán. Zmíněný model byl v roce 2006 vytvořen zástupcem ředitele regionální pobočky dozorového orgánu ve Velké Británii. Model popisuje, jak by měl dozorový orgán ve Velké Británii efektivně rozložit svou činnost (mezi kterou patří i provádění kontrol). Účel tohoto modelu tedy spočívá především ve zlepšení fungování vnitřních procesů dozorového orgánu, ale model zároveň obsahuje určování míry potřebnosti provedení auditu u určité organizace. Tato míra je numericky vyjadřována pomocí kritérií jako např. počet nálezů různých úrovní, využití letadel, průměrné stáří letadel. [19] Podobné nebo stejné faktory jsou používány i u systému vyhodnocení rizikovosti letadel ÚCL.

1.4 Limitace současného stavu

V podkapitolách 1.2.2 a 1.2.3 byl popsán současný stav systému vyhodnocení rizikovosti letadel na Oddělení dopravních letadel. Tato podkapitola shrnuje veškeré limitace současného stavu.

1.4.1 Zdroje pro zjištění limitací

Slabé stránky systému byly identifikovány díky konzultacím autora práce s pracovníky Oddělení dopravních letadel a díky zkušenostem autora při práci s uvedeným systémem. Některé zde zmíněné slabé stránky byly objeveny již při analýze původního stavu systému v rámci tvorby zmíněné bakalářské práce. Tyto limitace přetrvávají z důvodu, že nebyly v praktické části bakalářské práce řešeny vůbec, nebo pouze částečně [15]. Následující výčet



limitací obsahuje tyto slabiny a také limitace, které byly identifikovány až po dokončení bakalářské práce.

1.4.2 Problém nedostatku kritérií

Problém nedostatku kritérií, která by dostatečným způsobem odlišila jednotlivá letadla od sebe, byl popsán již v bakalářské práci. Autorovi této práce se podařilo nalézt pouze jedno další kritérium (*Survival rate*), které by systém mohlo rozšířit (avšak pouze u skupiny Dopravních letadel). Tento problém vedl k již popsanému jevu, kdy velkému počtu letadel připadala stejná hodnota pravděpodobnosti nebo závažnosti. Tento jev byl částečně odstraněn zavedením přiřazovací metody založené na vzorcích (viz podkapitola 1.2.3), i tak však dochází v matici rizik k vytváření shluků letadel stejného typu se stejnými parametry (např. *MTOM*, *Počet osob na palubě*). Tento problém je výrazný zejména u skupin Dopravních letadel a Vrtulníků ML. [15]

1.4.3 Problematická kritéria

Již v bakalářské práci došlo ke zpochybnění, zda jsou určitá kritéria vhodnými ukazateli závažnosti nebo pravděpodobnosti, popřípadě byl zpochybněn způsob, kterým měly jejich parametry přispívat ke zvyšování nebo snižování celkové závažnosti nebo pravděpodobnosti. Nicméně, vzhledem k nedostatku kritérií nebyl v rámci bakalářské práce vznesen žádný návrh na vyloučení určitého kritéria ze systému. [15] V současné době lze k tomuto seznamu problematických kritérií přidat další kritéria. Všechna problematická kritéria jsou prezentována v následujícím seznamu.

- *Zkušenosti s CAMO/provozovatelem*² Jedná se o jediná kritéria v systému, která nejsou založena na „tvrdých datech“. Při použití tohoto kritéria musí pracovník Oddělení dopravních letadel na základě osobních zkušeností zařadit každou organizaci do jedné ze tří následně zmíněných kategorií, přičemž každé kategorii je přiřazen určitý index kritéria [15].
 - Nejsou problémy (index 1)
 - Příležitostné problémy (index 2)
 - Obvykle jsou problémy (index 3) [15]

Z výše uvedeného je zřejmé, že rozhodnutí o zařazení organizace do určité kategorie je subjektivní. Nelze zajistit, že si pracovník při rozhodnutí např. rozpomene na všechny problémy spojené s danou organizací a že dokáže bez podrobných podkladů

² Pro kritéria *Zkušenosti s CAMO* a *Zkušenosti s provozovatelem* je následně v celé práci používán tento společný název.



komplexně zhodnotit činnost organizace vůči ostatním organizacím. Tato kritéria vnáší do systému problém subjektivity, který je zřetelný zejména proto, že všechna ostatní kritéria jsou založena na „tvrdých datech“. Existence těchto kritérií v popsané podobě se jeví jako nevhodná, nicméně v kontextu nedostatku dalších kritérií představují i tato kritéria určitý zdroj informací o kvalitě činnosti organizací. [15]

- *Rok výroby* U tohoto kritéria nedošlo ke zpochybnění jeho příspěvku k celkové pravděpodobnosti (tedy veličiny využívané v systému vyhodnocení rizikovosti), ani ke zpochybnění způsobu závislosti parametru stáří na pravděpodobnosti (dále jako způsob hodnocení parametru), kdy jsou starším letadlům přiřazovány vyšší indexy, které vedou k vyšší pravděpodobnosti. Nicméně, v souvislosti s tímto kritériem se nabízí i použití parametrů o využití daného letadla (např. letové hodiny, počet přistání) [15], které by mohly tento parametr doplnit. V tuto chvíli není jasné, jakou měrou by měl přispívat k pravděpodobnosti parametr stáří letadla vůči navrhovaným parametrům o využití letadla.
- *Počet AD za rok* Toto kritérium je založeno na počtu vydaných AD pro jednotlivé typy letadel. Hodnocení parametru pracuje s předpokladem, že typ s více vydanými dokumenty AD může být obecně problematictější a řízení letové způsobilosti letadel tohoto typu může být náročnější. Existuje však pochybnost, zda počet vydaných AD skutečně reflektuje problematičnost daného typu, vzhledem k tomu, že AD mohou vydávat dozorové organizace z různých zemí, přičemž každá organizace může mít rozdílný přístup k vydávání, což se může projevit tím, že na objektivně problematický typ letadla může být vydáno méně AD než na méně problematický typ letadla. Další nebezpečí zkreslení dat tkví např. ve vydávání AD, které ruší platnost jiného AD. [15]
- *Počet osob na palubě + MTOM* Tato kritéria závažnosti nebyla uvedena v přehledu problematických kritérií v bakalářské práci. U obou dvou kritérií nedošlo ke zpochybnění jejich příspěvku pro závažnost případné události (parametr *Počtu osob na palubě* vypovídá o počtu lidí vystavených např. hrozbě zranění a parametr *MTOM* může mít vliv na hodnotu kinetické energie letadla [20], která může přispět k následkům případné události). Taktéž nedošlo ke zpochybnění způsobu hodnocení daných parametrů, zpochybněna ovšem byla současná existence těchto dvou kritérií. V současné době se totiž v žádné skupině systému nenachází letadlo, které by bylo určeno výhradně pro přepravu nákladu. Z toho důvodu existuje podezření, že mezi parametry *Počet osob na palubě* a *MTOM* existuje velmi silná závislost, což vyvolává otázku, zda by kritérium *MTOM* mělo v systému figurovat při existenci kritéria *Počtu osob* (analogicky by šlo položit otázku na existenci kritéria *Počtu osob* při existenci



kritéria *MTOM*), když oba parametry přináší do systému v tento okamžik tutéž informaci.

1.4.4 Problém výběru letadel

Tento problém se týká fáze výběru konkrétních letadel do plánu kontrol na základě jejich umístění do matice rizik. V současné době neexistuje žádný exaktní způsob, který by jednoznačně seřadil letadla dle míry rizikovosti. Uživatel systému musí pohledem do matice určit, respektive odhadnout, která letadla se nachází nejbližie pravého horního rohu matice (dále označován jako kritická oblast). Tento postup má dva zásadní problematické aspekty.

- Uživatel může při výběru letadel udělat chybu (může přehlédnout letadlo, které se nachází v kritické oblasti, a opomenout tak do plánu kontrol zařadit letadlo s vysokými hodnotami závažnosti a pravděpodobnosti, popřípadě může špatně odhadnout vzdálenosti mezi jednotlivými datovými body (tedy letadly).
- V mnoha případech může být obtížné určit, které letadlo zařadit do plánu kontrol a které ne. Vizuální reprezentace v matici rizik nemusí být jednoznačná, navíc je zobrazena rozdílným rozsahem hodnot na obou osách (především díky různému počtu kritérií závažnosti a pravděpodobnosti). Uživatel systému tak může být např. vystaven dilematu, zda do plánu zařadit letadlo, které má vyšší závažnost a nižší pravděpodobnost nebo naopak letadlo s nižší závažností a vysokou pravděpodobností.

Problém výběru letadel byl identifikován již v bakalářské práci, kde nakonec nebyl řešen.

1.4.5 Potenciální duplicita dat

Při práci se systémem vzniklo podezření, že určitý druh problému se sledovaným letadlem se může projevit ve více parametrech daného letadla, což by ovlivnilo indexy více kritérií. Taková situace může nastat, když při kontrole ACAM dojde k nálezu, který se zároveň zaznamená do evidence událostí jako technická událost. Tím dojde k situaci, kdy jeden negativní jev na letadle ovlivní kritéria *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*. Podobná situace nastává, když je kontrola ACAM provedena na základě hlášení technické události. Dalším příkladem je scénář, kdy nálezy na letadle při kontrole ACAM způsobí negativní pohled inspektora ÚCL na danou organizaci CAMO nebo provozovatele, což inspektor následně zhodnotí v kritériích *Zkušenosti s provozovatelem/CAMO*, zároveň se ale zvýší index kritéria *Počet nálezů z kontroly ACAM*.



Problematicnost dané situace je diskutabilní. Dle jednoho pohledu může být tento jev zdrojem možného zkreslení dat a následného snížení přesnosti vyhodnocení rizikovosti. Zároveň však neexistuje pravidlo, které by pevně stanovovalo, že jeden problém na letadle musí nutně ovlivnit pouze jedno kritérium. Kvůli této nejednoznačnosti by mělo dojít k zjištění, k jak velkému překryvu dat dochází a při velké míře překryvu by mělo dojít ke změně složení kritérií nebo k jinému opatření, které by tento problém alespoň částečně vyřešilo. Zároveň je třeba na tento problém pamatovat i při případném zavádění nových kritérií do systému, kdy nový parametr v systému může obsahovat informaci již obsaženou v jiném parametru.

1.4.6 Shrnutí limitací současného stavu

Zatímco předchozí podkapitoly podrobně popisovaly konkrétní problémy současného stavu systému, tato podkapitola slouží k zobecnění problémů systému, tedy k seskupení problémů do obecnějších skupin a následnému pojmenování obecných problémů systému. Tento postup může být výhodný pro prvotní hledání metod k řešení uvedených limitací. Na základě podrobného popisu problémů byly nalezeny dvě hlavní skupiny problémů, na které je možné zacílit další vývoj systému. Následující popis skupin proto obsahuje i prvotní návrh řešení problémů.

- *Nedostatečná objektivita systému* Tato limitace se týká především problematických kritérií *Zkušenosti s CAMO/provozovatelem*, která do systému zanáší subjektivitu. Tato kritéria se v současné podobě jeví jako nevhodná. Jako prvotní řešení tohoto problému se nabízí tato kritéria nahradit kritérii, která budou mít dohromady stejnou nebo vyšší informativní hodnotu jako současná, ale budou založena na „tvrdých datech“. Také výběr letadel do plánu kontrol z matice rizik se jeví jako subjektivní, řešením by bylo zavedení exaktního postupu.
- *Nedostatečná přesnost systému* Do této skupiny limitací patří všechny problémy, které vedou k situaci, kdy systém nedokáže přesně určit, která letadla jsou ve skutečnosti nejrizikovější. Tato skupina sdružuje problém nedostatku kritérií (kdy systém postrádá kritéria/data, která mají vliv na rizikovost), problém výběru letadel z matice rizik (ve smyslu možného nepřesného vyhodnocení datových bodů v matici uživatelem systému), potenciální problém duplicity dat a problematická kritéria *Rok výroby*, *Počet AD za rok* a *Počet osob na palubě + MTOM*. Je možné, že systém nedokáže přesně určit nejrizikovější letadla díky absenci potřebných dat (např. dat o využití letadel) nebo díky existenci kritérií, která nemají na rizikovost vliv (nebo mají na rizikovost vliv jiný, než se předpokládá). V důsledku toho mohou být ke kontrole ACAM vybírána letadla, která ve skutečnosti nejsou z dané skupiny nejvíce riziková, pouze se tak jeví. Jako



řešení tohoto problému se nabízí prověřit vliv jednotlivých (i potenciálních) parametrů letadel na rizikovost a na základě výsledků přidat kritéria, která přináší do systému nové informace podstatné pro rizikovost, odebrat kritéria, která do systému nepřinášejí nové informace nebo nemají vliv na rizikovost, popřípadě změnit způsob hodnocení parametrů v závislosti na získaných poznatcích. Do této skupiny problémů by v kontextu definice bylo možné zařadit problém subjektivity jako dílčí problém, nicméně vzhledem k jeho důležitosti a potřebě odlišit řešení problémů byl vyčleněn do samostatné skupiny.



2 Metodika

Cílem této kapitoly je představit metody pro řešení slabých stránek systému v praktické části této práce. Řešení těchto limitací by mělo vést k vytvoření nové verze systému hodnocení rizikovosti letadel, která bude více objektivní a přesná. Vzhledem k rozmanitosti problémů současného systému je potřeba řešit jednotlivé slabiny postupně, za pomoci různých metod. Na základě konkrétních limitací současného systému se nabízí provedení analýzy dat, která jsou do systému zadávána jako vstupy. Takováto analýza by mohla přinést určité informace např. o kritériích současného systému. Tato kapitola se zabývá posouzením možností analýzy dat podrobněji, zároveň jsou v ní uvedeny další metody pro řešení dílčích problémů systému.

2.1 Výběr způsobu analýzy dat

V podkapitole 1.4.6 jsou shrnuty limitace současného stavu systému, přičemž bylo určeno, že jednou ze dvou hlavních skupin problémů jsou problémy s nedostatečnou přesností systému. Do této skupiny limitací spadají kritéria, u kterých není jisté, jaký vliv mají na rizikovost letadel (popřípadě zda mají na rizikovost vůbec vliv). Pro optimalizaci systému je žádoucí, aby systém obsahoval pouze kritéria, která vychází z parametrů, které ovlivňují rizikovost letadel známým způsobem. Ze způsobu ovlivnění rizikovosti by následně měl vycházet způsob hodnocení parametru, např. případ kdy rizikovost lineárně klesá se zvyšující se hodnotou parametru. Proto je třeba získat důkazy o vlivu určitých parametrů na rizikovost. K získání důkazů je v tomto případě možné využít konkrétní hodnoty parametrů pro jednotlivá letadla a další data, která jsou pracovníkům ÚCL k dispozici. Pokud by bylo možné stanovit určité parametry, které jednoznačně vypovídají o míře závažnosti nebo pravděpodobnosti, mohlo by následně dojít ke zjištění síly a povahy závislosti parametrů letadel na parametrech metriky závažnosti nebo pravděpodobnosti pomocí statistických nástrojů. V takovém případě by byly případné důkazy získány pomocí kvantitativní analýzy dat.

2.2 Výběr vhodných statistických metod

Kvantitativní analýza dat umožňuje aplikování širokého spektra statistických metod na konkrétní data. Tato podkapitola popisuje případy možného použití těchto metod pro zjištění informací z dat, která má ÚCL k dispozici. Vybrané metody, které jsou následně použity v praktické části, jsou v této podkapitole stručně popsány z teoretického hlediska.

Již v předchozí podkapitole byla nastíněna možnost použití statistických metod pro zjištění existence závislosti mezi určitými veličinami a také míry jejich závislosti (viz problém kritérií *Počet osob na palubě + MTOM*). K tomu lze použít korelační analýzu. Korelace je vyjádření závislosti mezi dvěma veličinami pouze na základě jejich hodnot (příčinná souvislost mezi



veličinami je označována jako kauzalita). Míru závislosti lze vyjádřit pomocí korelačního koeficientu, což je proměnná zpravidla označovaná písmenem ρ , která nabývá hodnot z intervalu $\langle -1, 1 \rangle$. Kladné hodnoty značí pozitivně korelované veličiny (zvýšení hodnoty jedné veličiny vede ke zvýšení hodnoty druhé veličiny, analogicky pro snížení), záporné hodnoty značí záporně korelované veličiny a nulová hodnota značí nezávislost veličin. Síla závislosti je dána vzdáleností hodnoty koeficientu od nuly.

Při zjišťování závislosti dvou veličin se provádí test korelačního koeficientu, kdy pracujeme s tzv. nulovou hypotézou, která tvrdí, že data obou veličin jsou vzájemně nezávislá. [21] Po provedení testu obdržíme kromě hodnoty koeficientu i tzv. p-hodnotu, která je obecně vyjádřením míry jistoty výsledku testu. Tato hodnota je porovnávána se zvolenou hladinou významnosti (obvykle značena písmenem α , nejčastěji jsou voleny hodnoty 0.01, 0.05 nebo 0.1). Pokud je p-hodnota nižší než α , dochází k zamítnutí nulové hypotézy a platí alternativní hypotéza, která popírá tvrzení nulové hypotézy. Pokud je p-hodnota vyšší než α , není nulová hypotéza zamítnuta. V konkrétním případě testu korelačního koeficientu je tedy možné prokázat závislost veličin při zamítnutí nulové hypotézy o nezávislosti veličin (tedy v případě, kdy je p-hodnota nižší než α). V opačném případě nelze nezávislost veličin vyvrátit ani potvrdit, potvrzení nezávislosti dvou veličin není ani předmětem kvantitativní analýzy dat v této práci. [22]

Samotný způsob výpočtu korelačního koeficientu se liší v závislosti na jeho typu. Pearsonův korelační koeficient se používá pro parametrické veličiny, tzn. veličiny jejichž rozdělení hodnot odpovídá normálnímu rozdělení (jeden z typů rozdělení spojité veličiny). Spearmanův korelační koeficient je používán pro neparametrické veličiny. Před samotným provedením testu je tedy nutné zjistit, zda hodnoty obou veličin odpovídají normálnímu rozdělení. [21] K tomu je možné použít jeden z tzv. testů normality, např. test Anderson-Darling nebo test Jarque-Bera s nulovou hypotézou o výběru pocházejícího z normálního rozdělení. [23]

Po zjištění existence závislosti by následně mělo dojít určení, o jakou závislost přesně jde. Zamítnutí nezávislosti při testu Pearsonova koeficientu přímo implikuje lineární závislost mezi veličinami, v určitých případech se však může jednat o jiný typ závislosti, který vizuálně nelze zobrazit pomocí přímky. [21] Zjištění způsobu závislosti je možné provést pomocí regresní analýzy, což je metoda sloužící pro popsání případné závislosti mezi veličinami. Závislost je vyjádřena jako předpis funkce, přičemž tvar dané funkce závisí na druhu křivky, kterou se uživatel pokouší závislost popsat (např. předpis polynomu 2. řádu pro kvadratickou funkci). [22]



Při regresní analýze dochází k určení koeficientů v předpisu funkce, čímž uživatel získá daný předpis, který může dále využívat (v případě této práce se může jednat o podklad pro určení způsobu hodnocení určitého parametru). Před použitím předpisu je však nutné se přesvědčit o vhodnosti regrese. To je možné pomocí vizualizace dané křivky do grafu s datovými body, čímž je znázorněno, do jaké míry prokládá křivka jednotlivé body. Také je možné využít určitý test vhodnosti regrese, např. F-test s nulovou hypotézou o nevhodnosti provedené regrese. [21]

Zjišťování závislosti mezi jednotlivými parametry ale není jediná možná aplikace statistických metod na data o sledovaných letadlech. Data o počtu událostí nebo nálezů mohou být seskupena dle jednotlivých provozovatelů nebo organizací CAMO a počty událostí nebo nálezů pro jednotlivá letadla mohou být porovnány mezi sebou. Tímto způsobem může být zjištěno, zda určité organizace mají statisticky významně vyšší počet negativních jevů na svých letadlech než jiné organizace. Při výběru vhodného statistického testu pro tento problém je třeba vycházet z potřeby testování více výběrů při zkoumání jednoho faktoru (zkoumání různých organizací). Půjde tedy o jednofaktorovou analýzu více výběrů, která může být realizována pomocí jednofaktorové verze testu ANOVA (při splnění podmínky normality všech výběrů) nebo pomocí Kruskal–Wallisova testu (pro neparametrické výběry). Nulová hypotéza pro oba testy hovoří o shodě průměrů pro všechny výběry (respektive o shodě mediánů v případě Kruskal–Wallisova testu). [21]

2.3 Analýza datových zdrojů

Předchozí podkapitoly se zabývaly analýzou dat, která systém využívá. Vzhledem k rozsáhlosti možného využití statistických metod lze kvantitativní analýzu dat považovat za hlavní součást metodiky pro praktickou část této práce. Je ale třeba zdůraznit, že statistickým testům nemusí být podrobena pouze data, která jsou v současné době již součástí systému. Pokud by došlo k nalezení nových dat, se kterými by systém mohl pracovat, mohlo by dojít k minimálně částečnému vyřešení problému nedostatku kritérií. Zároveň by však nalezená data měla být podrobena kvantitativní analýze v případě nejistoty vlivu daného parametru na rizikovost. Z toho vyplývá, že kvantitativní analýze dat by měla předcházet analýza potenciálních datových zdrojů pro nová kritéria systému.

Při hledání nových datových zdrojů pro systém vyhodnocení rizikovosti byl využit poznatek z již zmíněné bakalářské práce *Sběr a analýza dat pro sledování letové způsobilosti složitých letadel*. Tato práce zmiňuje, že ÚCL shromažďuje data o využití a spolehlivosti sledovaných letadel, která jsou provozovateli Obchodní letecké dopravy pravidelně zasílána. [15] Takováto hlášení obsahují typicky:



- *Počet nalétaných hodin za daný časový úsek* (zkracováno jako *Počet letových hodin*)
- *Počet přistání za daný časový úsek* (zkracováno jako *Počet přistání*)
- *Počet aplikování dokumentu MEL za daný časový úsek* (zkracováno jako *Položky MEL*)

Tato data jsou dostupná pro většinu letadel ze skupiny Dopravní letadla a Business jety. Proto je možné uvažovat o začlenění těchto parametrů do systému pro zmíněné dvě skupiny a o vzniku nových kritérií. Již v podkapitole 1.4.3 byla zmíněna data o využití letadla jako zdroj potenciálního doplnění kritéria *Rok výroby*.

Aby bylo možné vytvořit nová kritéria, je nutné určit, jaký vliv mají zmíněné parametry na rizikovost. Díky konzultacím autora práce s pracovníky Oddělení dopravních letadel byla vytvořena hypotéza o „rizikosti extrémů“. Tato hypotéza pracuje s možností porovnání hodnot zmíněných parametrů všech letadel ve skupině a následným hodnocením hodnoty parametru pro dané letadlo vůči průměrné hodnotě (popř. mediánu) hodnot pro celou skupinu, přičemž letadla s hodnotami parametrů blízko průměru mohou být považována za méně riziková, protože hodnota parametru vypovídá o „běžném“ provozu. Naproti tomu letadla se znatelně vyššími nebo nižšími hodnotami parametrů by měla být považována za více riziková. U vysoce využívaných letadel to může být odůvodněno vysokou intenzitou provozu s následným vlivem na pravděpodobnost určitého problému na letadle, který byl způsoben vysokým využitím. Nízké využití letadel může být způsobeno např. změnou vlastníka nebo provozovatele letadla, pravidelnou údržbou náročnou na čas nebo odstraňováním technického problému na letadle. Díky poslední zmíněné možnosti lze i letadla s nízkým využitím považovat za více riziková. Uvedená hypotéza by však měla být ověřena kvantitativní analýzou dat. Zároveň je třeba prověřit podezření na potenciální silnou závislost dat u parametrů *Počet letových hodin* a *Počet přistání*. Případné potvrzení by znamenalo, že oba parametry přinášejí do systému velmi podobnou informaci, což by vedlo k již popsanému problému duplicity dat.

Data o počtu aplikování dokumentu MEL lze také zařadit jako nový parametr do systému, přičemž tento parametr může vystupovat jako samostatné kritérium. Stejně jako u předchozích parametrů musí i zde být určeno, jakým způsobem přispívá parametr k rizikovosti. Zde je možné zavést hypotézu o rostoucí míře rizikovosti s rostoucím počtem aplikací dokumentu MEL (lineární závislost).

Ve výše zmíněné bakalářské práci byl jako důvod nezahrnutí popsaných parametrů do tehdejšího systému uveden nestandardizovaný formát příchozích dat a z toho plynoucí časová zátěž pracovníků při zaznamenávání těchto dat do systému a jejich aktualizaci. [15]



V současné době je na Oddělení dopravních letadel vedena evidence těchto parametrů, což případnou časovou zátěž významně snižuje.

Další potenciální kritérium pravděpodobnosti bylo nalezeno v souvislosti s existencí kritéria závažnosti *Počet řízených letadel*. V rámci tohoto kritéria dochází k přidělování vyšších hodnot indexů letadlům, jejichž organizace CAMO řídí více letadel. Takovéto hodnocení se zdá být z hlediska kritéria závažnosti účelné, zároveň je ale možné uvažovat o využití dat o flotilách jednotlivých organizací CAMO (popřípadě i o flotilách jednotlivých provozovatelů) jako o možných parametrech pro nová kritéria pravděpodobnosti. Pro takovéto využití je však nutné nejprve potvrdit závislost mezi zmíněnými parametry a pravděpodobností pomocí kvantitativní analýzy dat.

Z analýzy vědecké literatury vyplynul návrh zařadit do systému subsystém hodnocení provozovatelů nebo organizací CAMO. V současné době jsou tyto organizace v systému hodnoceny pomocí kritizovaných kritérií *Zkušenosti s provozovatelem/CAMO*, která by měla být nahrazena kritérii, která jsou založena na „tvrdých datech“. Z tohoto důvodu bylo provedeno hledání parametrů, které by prezentovaly rizikovost dané organizace, se zaměřením na agendu Oddělení dopravních letadel. Nebyly nalezeny žádné parametry, které by přesně odpovídaly tomuto zadání. Lze uvažovat o vytvoření metrik pro organizace z již existujících parametrů o letadlech (např. *Průměrný počet událostí / nálezů z ACAM pro jedno letadlo dané organizace*), což je však problematické řešení. Systém vyhodnocení rizikovosti potřebuje totiž rozlišit jednotlivá letadla a kritéria *Počet technických událostí* nebo *Počet nálezů z kontroly ACAM* k tomuto rozlišení přispívají. Systém by tak obsahoval tato kritéria společně s metrikami, které byly vytvořeny z těchto kritérií, což by do systému přineslo parametr, který by obsahoval pouze hodnoty vypočtené z jiných parametrů. Toto řešení se jeví jako nevhodné ve chvíli, kdy je na duplicitu dat pohlíženo jako na potenciální problém.

Zároveň došlo ke zjištění faktorů, které stojí za subjektivním hodnocením organizací. Kromě způsobu spolupráce dané organizace s ÚCL to může být také stav dokumentů, které daná organizace vypracovává a zasílá je na ÚCL. Pracovníci Oddělení dopravních letadel se nejčastěji zabývají kontrolou dokumentů MEL a AMP (nehledě na způsob schválení AMP). Při těchto kontrolách běžně dochází k nálezům chyb v kontrolovaném dokumentu. Počet nálezů z takovéto kontroly se může jevit jako vhodný parametr hodnocení organizací, v takovém případě by muselo dojít k vytvoření nové metodiky pro kategorizaci těchto nálezů, vzhledem k jejich různé závažnosti. Různou závažnost lze doložit uvedením příkladů opakujících se nálezů při kontrolách AMP.



Mezi tyto nálezy patří:

- Překlepy
- Chybné číslování stránek AMP
- Chybné číslování revizí AMP a chybné datумы revizí AMP
- Odkazování se na nesprávný zdrojový dokument
- Odkazování se na neaktuální verzi zdrojového dokumentu
- Neuvedení povinného úkonu údržby

Různou závažnost nálezů by bylo potřeba v nové metodice zohlednit (např. přiřazením vah jednotlivým skupinám nálezů). Zavedení a využívání této nové metodiky by pro pracovníky Oddělení dopravních letadel bylo časově náročné. Z tohoto důvodu se zdá být zavedení parametru *Počet nálezů v dokumentaci* jako nevhodné řešení. Zároveň se však hodnocení stavu dokumentace zdá být vhodným zdrojem informací o rizikosti dané organizace, problematický je pouze způsob hodnocení.

Mezi identifikovanými limitacemi současného stavu byl zmíněn i potenciální problém s duplicitou dat. Existenci tohoto problému lze prověřit pomocí vyhledávání případných duplicitních záznamů v příslušných databázích.

V praktické části této práce by tedy mělo dojít k prověření duplicity dat a následně kvantitativní analýze dat. Provedení těchto úkonů by mělo zajistit dostatečné množství podkladů pro vytvoření nové verze systému. Ta však nemůže být vytvořena bez diskutování výsledků aplikace zmíněných metod. Z toho důvodu není v této chvíli konkrétní postup vytvoření nové verze systému podrobně popsitelný.



3 Presentace výsledků

V této kapitole jsou prezentovány veškeré výsledky, kterých bylo dosaženo při realizaci praktické části této práce. V podkapitole 2.3 bylo mimo jiné zdůrazněno, že novou verzí systému nelze vytvořit bez diskutování výsledků aplikace metod zmíněných v kapitole 2. Proto tato kapitola obsahuje i zmíněnou diskusi. Jednotlivé podkapitoly tak provádějí čtenáře celým procesem tvorby objektivnější a přesnější verze systému. Tato verze je v této kapitole též validována.

3.1 Výsledky prověření duplicity dat

V podkapitole 1.4.5 byly uvedeny 2 případy podezření na překryv dat (tedy na situaci, kdy jeden problém na letadle ovlivní hodnoty více parametrů). Prvním uvedeným příkladem byla paralelní existence kritérií *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*. Pro zjištění míry překryvu dat byly v evidenci událostí hledány případy, kdy byl určitý nález z kontroly ACAM zaznamenán jako technická událost (pomocí vyhledávání klíčových slov v databázi hlášených událostí). Zkoumány byly všechny záznamy hlášených událostí na Oddělení dopravních letadel z let 2014–2021 (cca 700 událostí), přičemž byl objeven jediný případ popsaného druhu. Dále bylo zjištěno, že v určitých případech dochází k neplánované kontrole ACAM na základě technické události na letadle. Tyto případy jsou také vzácné, dochází k nim cca 2x za kalendářní rok. Vzhledem k celkovému počtu zkoumaných událostí je četnost událostí, které jsou jakkoliv propojeny s kontrolou (resp. nálezem) ACAM, zcela zanedbatelná. Díky průzkumu dat lze tedy konstatovat, že překryv dat pro kritéria *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM* není skutečným problémem systému.

Dále byly v podkapitole 1.4.5 zmíněny dvojice kritérií *Počet nálezů z kontroly ACAM* a *Zkušenosti s provozovatelem/CAMO*. Nelze vyloučit, že případný nález při kontrole ACAM má vliv na rozhodnutí pracovníka ÚCL o určitém ohodnocení dané organizace, ale vzhledem k subjektivní povaze kritérií *Zkušenosti s provozovatelem/CAMO* nelze způsobem použitým v předchozím případě vyjádřit, o jak velký vliv jde. Potenciální duplicita dat je tak další slabinou subjektivních kritérií, což vyvolává potřebu provést v oblasti subjektivních kritérií větší změny v systému.

Díky tomu, že v podkapitole 2.3 byly popsány potenciální nové parametry pro systém, došlo k identifikaci další problémové dvojice parametrů: *Počet technických událostí* a *Položky MEL*. Existuje podezření, že dokument MEL mohl být aplikován jako důsledek určité situace na palubě letadla, která byla hlášena jako technická událost. Prověření tohoto podezření bylo opět provedeno pomocí vyhledávání klíčových slov v popisech technických událostí. Přitom



byla zjištěna určitá míra překryvu dat, u cca 15 % zkoumaných technických událostí je v jejich popisu zmíněno aplikování dokumentu MEL. Tato hodnota může být ve skutečnosti ještě vyšší kvůli případům, kdy aplikování dokumentu MEL není zmíněno v popisu události (toto datové pole nemá standardizovaný obsah). Oproti prvnímu posuzovanému případu lze konstatovat nezanedbatelnou míru překrytí a závislost dat. Zároveň však i pro tento případ platí spornost tvrzení, že paralelní existence těchto dvou parametrů je problematická (toto tvrzení bylo obecně zpochybněno v podkapitole 1.4.5). Jako řešení tohoto potenciálního problému se nabízí zeslabení síly jednoho z parametrů, čímž by došlo k zeslabení vlivu kritéria, které do systému přináší zčásti duplicitní informace. Zároveň by přitom nedošlo ke ztrátě informací, která by byla způsobena úplným vyloučením jednoho z parametrů. Přitom se jeví jako vhodné nejprve provést statistický test závislosti dat obou parametrů (pomocí testu korelačního koeficientu) a finální rozhodnutí o řešení tohoto problému vykonat až poté. Stejný postup byl zvolen i v případě dvojice potenciálních kritérií *Počet letových hodin* a *Počet přistání*.

3.2 Výsledky aplikace statistických metod

Zatímco v podkapitole 2.2 došlo k výběru vhodných statistických metod pro provedení kvantitativní analýzy dat, tato podkapitola dokumentuje použití těchto metod na konkrétních datech a prezentuje zjištěné výsledky, které mohou být následně použity jako podklady pro vytvoření nové verze systému pro vyhodnocení rizikovosti. Prezentace výsledků byla rozdělena do samostatných podkapitol dle druhu použité statistické metody. Společně s výsledky je prezentován i účel použití metody, který se může u jednotlivých případů použití stejné statistické metody lišit. Veškeré metody byly aplikovány pomocí výpočetního softwaru MATLAB. Pro všechna testování byla použita data o letadlech dozorovaných Oddělením dopravních letadel, která byla získána v průběhu roku 2022, není-li uvedeno jinak.

3.2.1 Test korelačního koeficientu

Testy korelačního koeficientu byly provedeny pro vyšší množství dvojic parametrů, přičemž pro testování byla zpravidla využita data o všech letadlech ze systému vyhodnocení rizikovosti. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 1.2.2, vyhodnocení letadel probíhá izolovaně v pěti skupinách. Z důvodu možnosti odhalení určitých specifík těchto skupin bylo prováděno testování korelačního koeficientu ve stejných skupinách, které byly označeny čísly 1–5. Přiřazení konkrétních čísel k jednotlivým skupinám dokumentuje Tabulka 1, ve které jsou zároveň uvedeny i počty letadel.



Tabulka 1: Informace o skupinách pro testování korelačního koeficientu

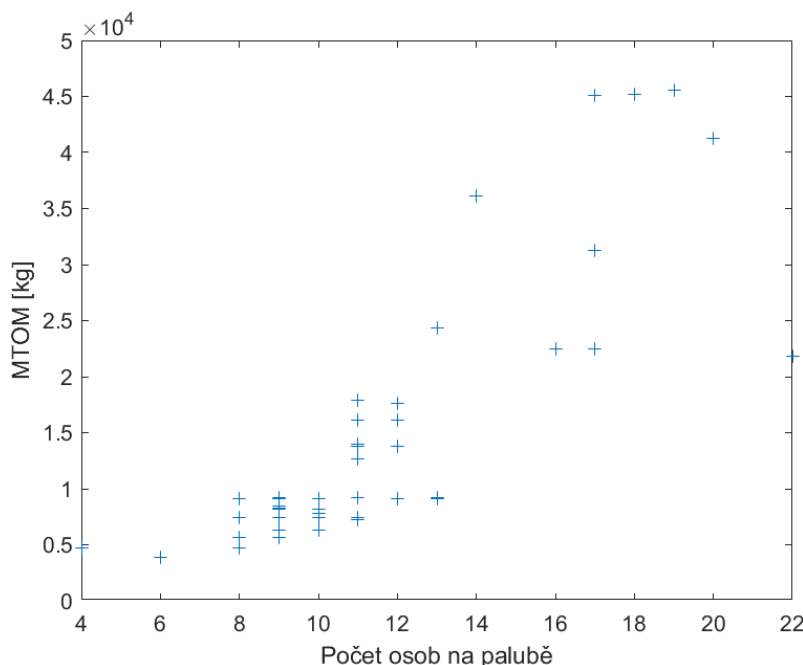
Název skupiny	Číslo skupiny	Počet letadel (dat)
Dopravní letadla	1	36
Business jety	2	68
Turbovrtulová letadla malá	3	27
Vrtulníky M	4	71
Vrtulníky ML	5	122

V kapitole 1.4.3 bylo zmíněno podezření na silnou závislost mezi parametry *Počet osob na palubě* a *MTOM*. Z toho důvodu byl proveden test korelačního koeficientu pro tato data u všech pěti skupin. Tomuto testování předcházely testy normalit výběrů pomocí testu Jarque-Bera, přičemž pouze u skupiny 3 nedošlo k zamítnutí hypotéz o normalitě obou výběrů současně, proto byl v případě skupiny 3 použit test Pearsonova korelačního koeficientu a u ostatních test Spearmanova korelačního koeficientu. U všech testů prezentovaných v této práci byla použita hodnota hladiny významnosti $\alpha = 0.05$. Výsledky testu korelačního koeficientu jsou prezentovány v Tabulce 2, přičemž číselné hodnoty s desetinným rozvojem vyšším než čtyři desetinná místa jsou vyjádřena s přesností na čtyři desetinná místa, popřípadě vědeckým zápisem čísla (tato pravidla platí v celé diplomové práci).

Tabulka 2: Výsledky testů korelačního koeficientu pro parametry *Počet osob na palubě* a *MTOM*

Číslo skupiny	Korelační koeficient	p-hodnota
1	0.9142	6.85E-15
2	0.8816	3.33E-23
3	0.4688	0.0136
4	0.8016	4.53E-17
5	0.8793	1.79E-40

Z p-hodnot uveřejněných v Tabulce 2 vyplývá, že nulová hypotéza o nezávislosti veličin byla u všech skupin zamítnuta a veličiny jsou tedy na sobě závislé. Tomuto výsledku odpovídá i vizualizace dat, prezentovaná na Obrázku 4 (jako příklad pro skupinu 2).



Obrázek 4: Vizualizace hodnot parametru *MTOM* (vertikální osa) v závislosti na hodnotách parametru *Počet osob na palubě* (horizontální osa)

V podkapitole 1.4.3 byly zmíněny parametry, u kterých vyvstala potřeba ověření nebo zjištění jejich vlivu na rizikovost. V podkapitole 2.1 byl popsán způsob možného zjištění tohoto vlivu (tedy zjištění závislosti těchto parametrů na parametrech metrik rizikovosti). Kvůli tomu musí být stanoveny parametry metrik rizikovosti. V úvahu může přicházet využití parametrů, které detekují četnost určitých negativních jevů na letadle, jako parametrů metriky pravděpodobnosti. Za takové parametry je možné považovat kritéria *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*. Díky objevení nových dat je možné do této skupiny také přidat parametr *Položky MEL*.

Díky výběru parametrů metriky pravděpodobnosti mohlo dojít k testování korelačního koeficientu mezi parametry *Rok výroby* a *Počet technických událostí*. K testování došlo ve všech skupinách s výjimkou skupiny 4, kde test nebyl proveden kvůli extrémně nízkému počtu technických událostí v celé skupině. V ostatních skupinách bylo provedeno testování Spearmanova koeficientu, protože v žádném případě nedošlo k testování dvou výběrů s normálním rozdělením. Výsledky testů jsou zobrazeny v Tabulce 3. Nulová hypotéza o nezávislosti dat nebyla ani v jednom případě zamítnuta.



Tabulka 3: Výsledky testů korelačního koeficientu pro kritéria *Rok výroby* a *Počet technických událostí*

Číslo skupiny	Korelační koeficient	p-hodnota
1	-0.0341	0.8433
2	-0.0956	0.438
3	-0.2151	0.2814
5	0.0677	0.4626

Dále došlo k testování závislosti pro dvojici parametrů *Rok výroby* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*. Toto testování již mohlo být provedeno ve všech pěti skupinách, přičemž ve všech skupinách bylo, s ohledem na výsledky testů normality, provedeno testování Spearmanova koeficientu. Výsledky testování jsou prezentovány v Tabulce 4. K zamítnutí nulové hypotézy došlo pouze v případě skupiny 4.

V rámci analýzy vlivu parametru *Rok výroby* byla testována i jeho závislost na parametru *Položky MEL*. Toto testování mohlo být s ohledem na dostupnost dat provedeno pouze pro skupinu 1, pro kterou došlo k testování Spearmanova korelačního koeficientu, přičemž byla získána hodnota korelačního koeficientu -0.2592 a p-hodnota 0.1269, nulová hypotéza tedy nebyla zamítnuta.

V kapitole 2.3 byly popsány další parametry, které by bylo možné použít v systému pro nová kritéria pravděpodobnosti. Před jejich zavedením je nutné prověřit jejich vztah k rizikovosti, tedy prověřit jejich vztah k parametrům *Počet technických událostí*, *Počet nálezů z kontroly ACAM* a *Položky MEL*. Tomuto prověření (opět pomocí testu korelačního koeficientu) byly postupně podrobeny parametry *Počet letových hodin* a *Počet přistání*. S ohledem na dostupnost dat mohlo být testování provedeno pouze pro skupinu 1. Ve všech případech došlo k testování Spearmanova koeficientu. Výsledky prověřování jsou zaznamenány v Tabulce 5. Z uvedených p-hodnot vyplývá, že ve všech případech nebyla nulová hypotéza zamítnuta.

Tabulka 4: Výsledky testů korelačního koeficientu pro kritéria *Rok výroby a Počet nálezů z kontroly ACAM*

Číslo skupiny	Korelační koeficient	p-hodnota
1	-0.2148	0.2085
2	-0.219	0.0727
3	-0.017	0.933
4	-0.4293	1.87E-4
5	-0.1444	0.2262

Tabulka 5: Výsledky testů korelačního koeficientu pro potenciální nová kritéria

1. testovaný parametr	2. testovaný parametr	Korelační koeficient	p-hodnota
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Počet technických událostí</i>	0.1981	0.2468
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	0.0398	0.8176
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Položky MEL</i>	0.106	0.5383
<i>Počet přistání</i>	<i>Počet technických událostí</i>	0.156	0.3635
<i>Počet přistání</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	-0.0926	0.5911
<i>Počet přistání</i>	<i>Položky MEL</i>	0.0741	0.6677

Dále vznikla potřeba prověření vlivu parametru *Počet AD za rok* na rizikovost. V tomto případě však nejprve musela být zavedena metrika, která by hodnotila rizikovost daného typu letadla, protože zkoumaný parametr se vztahuje právě k typu letadla. Proto došlo k vytvoření metriky *Události typu letadla*, jejíž hodnoty vznikly jako součet všech technických událostí pro daný typ letadla vyděleným počtem letadel tohoto typu, která jsou dozorována Oddělením dopravních letadel. Tato vytvořená metrika byla následně testována společně s parametrem *Počet AD za rok* pomocí testu Spearmanova korelačního koeficientu. Testování proběhlo pro všechny typy letadel ze skupin 1–5, nicméně vzhledem k omezenému počtu typů byly skupiny pro tento případ sloučeny. Testem byla získána hodnota korelačního koeficientu -0.212 a p-hodnota 0.1671, nulová hypotéza tedy nebyla zamítnuta.



V kapitole 3.1 bylo, v rámci řešení problému duplicity dat, navrženo prověření míry závislosti dat pro parametry *Počet technických událostí* a *Položky MEL*. Tato závislost byla prověřena pomocí testu Spearmanova korelačního koeficientu, přičemž byla získána hodnota korelačního koeficientu -0.0399 a p-hodnota 0.8174. Nulová hypotéza tedy nebyla zamítnuta.

V kapitole 2.3 byla zmíněna potřeba prověření závislosti mezi parametry *Počet letových hodin* a *Počet přistání*. S ohledem na výsledky testů normality byla závislost prověřena pomocí testu Pearsonova korelačního koeficientu. Při tom byla získána hodnota korelačního koeficientu 0.7737 a p-hodnota 3.14E-8. Hypotéza o nezávislosti obou parametrů byla tedy vyvrácena.

V kapitole 2.3 bylo zmíněno kritérium závažnosti *Počet řízených letadel*, o kterém je však možné uvažovat jako o potenciálním kritériu pravděpodobnosti v nové verzi systému. Proto bylo provedeno testování závislosti parametru *Počet řízených letadel* na parametrech metriky pravděpodobnosti *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*. Vzhledem k omezenosti dat pro parametr *Položky MEL* není účelné testovat závislost parametru *Počet řízených letadel* na tomto parametru metriky pravděpodobnosti. Zároveň je možné analogicky testovat závislosti zmíněných parametrů metriky pravděpodobnosti a dat o počtu letadel pro jednotlivé provozovatele (parametr *Počet provozovaných letadel*). Popsané testování proběhlo vždy pro všechny organizace ze skupin 1–5, skupiny byly pro tyto případy testování opět sloučeny. Při testování byla ve všech případech zjišťována hodnota Spearmanova koeficientu, výsledky jsou zaznamenány v Tabulce 6. Z výsledků vyplývá, že v obou případech testování parametru *Počet řízených letadel* došlo k zamítnutí nulové hypotézy, ve zbylých dvou případech nulová hypotéza zamítnuta nebyla.

Tabulka 6: Výsledky testů korelačního koeficientu pro parametry velikostí flotil

1. testovaný parametr	2. testovaný parametr	Korelační koeficient	p-hodnota
<i>Počet řízených letadel</i>	<i>Počet technických událostí</i>	0.2689	9.05E-7
<i>Počet řízených letadel</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	-0.1611	0.0072
<i>Počet provozovaných letadel</i>	<i>Počet technických událostí</i>	0.0184	0.7414
<i>Počet provozovaných letadel</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	0.0015	0.98

V rámci detailního průzkumu závislostí byly vybrané testy korelačního koeficientu z této podkapitoly zopakovány pro zúžený vzorek dat, konkrétně pro všechna letadla typu Boeing 737-800 ze skupiny 1 (celkem 23 letadel). Při tomto zopakování testů bylo zkoumáno, zda se



některý výsledek testu liší od výsledku pro celou skupinu 1. Výrazné odlišení by dokládalo odlišnou povahu dat pro jeden typ letadla a mohlo by být podkladem pro odlišení jednotlivých typů letadel v systému. Výsledky těchto testů jsou zaznamenány v Tabulce 7, kde je také uvedeno, jaký typ korelačního koeficientu byl v daných případech testován.

Tabulka 7: Souhrnné výsledky testů pro snížený počet dat (Boeing 737-800)

1. testovaný parametr	2. testovaný parametr	Typ koeficientu	Korelační koeficient	p-hodnota
<i>Rok výroby</i>	<i>Počet technických událostí</i>	Spearmanův	-0.3874	0.0678
<i>Rok výroby</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	Pearsonův	-0.1493	0.4964
<i>Rok výroby</i>	<i>Položky MEL</i>	Pearsonův	-0.1839	0.4009
<i>Položky MEL</i>	<i>Počet technických událostí</i>	Spearmanův	-0.0016	0.9943
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Počet technických událostí</i>	Spearmanův	0.0558	0.8003
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	Pearsonův	0.0819	0.7101
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Položky MEL</i>	Pearsonův	0.5021	0.0146
<i>Počet přistání</i>	<i>Počet technických událostí</i>	Spearmanův	0.0532	0.8094
<i>Počet přistání</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	Pearsonův	0.0112	0.9595
<i>Počet přistání</i>	<i>Položky MEL</i>	Pearsonův	0.6163	0.0017

Z p-hodnot, prezentovaných v Tabulce 7, vyplývá, že k zamítnutí nulové hypotézy o nezávislosti výběrů došlo pouze v případě dvojice parametrů *Počet letových hodin* a *Položky MEL* a u dvojice *Počet přistání* a *Položky MEL*. Tyto dvě dvojice parametrů jsou zároveň jediné dva případy testů, kdy se výsledek testu pro omezený vzorek skupiny 1 neshoduje s výsledkem testu pro celou skupinu 1. Za povšimnutí též stojí p-hodnota u dvojice parametrů *Rok výroby* a *Počet technických událostí*, která se nachází blízko hranice zamítnutí, nicméně



absolutní hodnota korelačního koeficientu by v tomto případě byla nižší než absolutní hodnota korelačního koeficientu u předchozích dvou zmiňovaných případů.

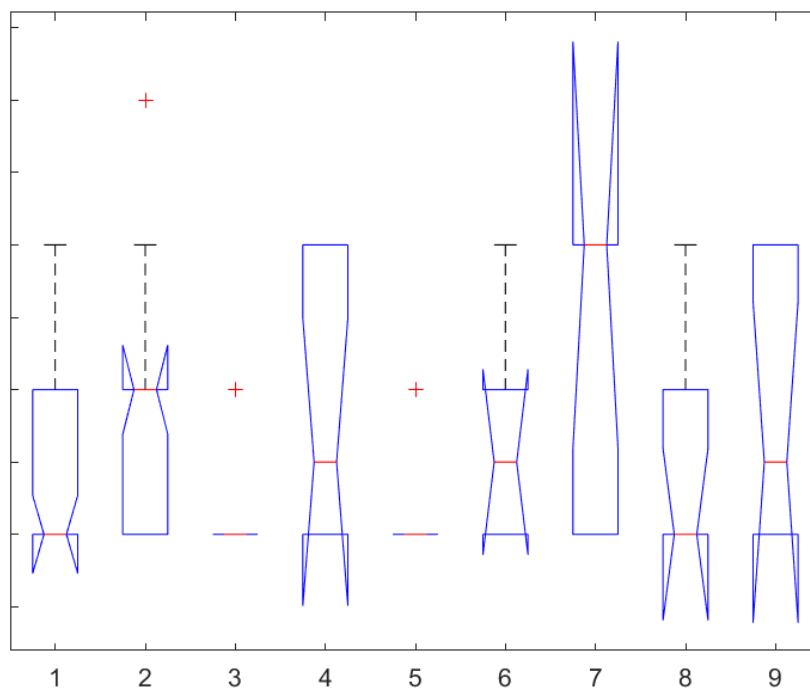
3.2.2 Jednofaktorová analýza více výběrů

V kapitole 2.2 byla popsána možnost využití jednofaktorové analýzy více výběrů jako možnosti porovnání dat o počtu negativních jevů na letadlech pro jednotlivé organizace. Pro popsanou analýzu bylo možné využít parametry *Počet technických událostí* nebo *Počet nálezů z kontroly ACAM*, jejichž data mohou být rozdělena dle jednotlivých organizací CAMO nebo jednotlivých provozovatelů. Do testování však nemohly být zahrnuty všechny organizace kvůli nízkému počtu dat (letadel) dané organizace nebo nízké variabilitě dat. Pro každé testování byly vybrány pouze organizace s vyšším počtem letadel (minimálně 5). Ve všech případech došlo, vzhledem k výsledkům testů normality, k testování pomocí Kruskal–Wallisova testu. V Tabulce 8 jsou zaznamenány výsledky testů pro všechny kombinace parametrů a zkoumaných faktorů.

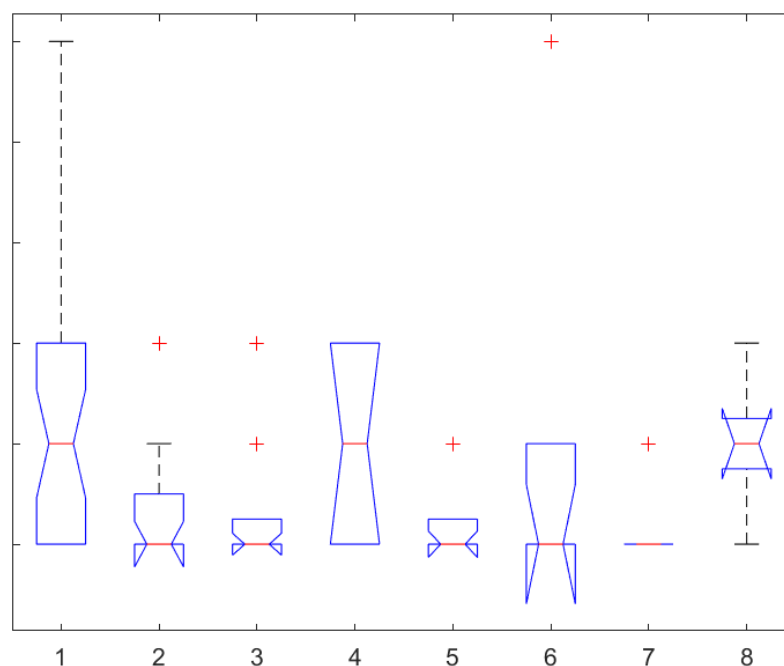
Tabulka 8: Souhrnné výsledky testů jednofaktorové analýzy více výběrů

Zkoumaný faktor	Typ parametru negativních jevů na letadlech	Počet zkoumaných organizací	p-hodnota
<i>Provozovatelé</i>	<i>Počet technických událostí</i>	9	3.52E-8
<i>Provozovatelé</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	9	0.0794
<i>CAMO organizace</i>	<i>Počet technických událostí</i>	8	7.09E-4
<i>CAMO organizace</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	10	0.0118

Z výsledků, prezentovaných v Tabulce 8, je možné vyvodit, že nulová hypotéza o shodě mediánů pro všechny výběry byla zamítnuta ve všech případech s výjimkou zkoumání parametru *Počet nálezů z kontroly ACAM* pro jednotlivé provozovatele. Krabicové diagramy jednotlivých výběrů pro tento test jsou v anonymizované podobě prezentovány na Obrázku 5. Na Obrázku 6 jsou představeny krabicové diagramy pro jednotlivé organizace CAMO v rámci zkoumání parametru *Počet technických událostí*.



Obrázek 5: Krabicové diagramy parametru *Počet nálezů z kontroly ACAM* pro jednotlivé provozovatele (horizontální osa znázorňuje označení organizací, stupnice vertikální osy je v důsledku anonymizace dat skryta)



Obrázek 6: Krabicové diagramy parametru *Počet technických událostí* pro jednotlivé organizace CAMO (horizontální osa znázorňuje označení organizací, stupnice vertikální osy je v důsledku anonymizace dat skryta)



3.2.3 Regresní analýza

Podkapitola 2.2 nastínila možnosti použití metody regresní analýzy pro identifikaci povahy závislostí mezi jednotlivými parametry systému. Tato podkapitola dokumentuje zjišťování případné nelineární závislosti na vybraných dvojicích parametrů ze systému. Hlavní motivací použití této metody byla potřeba ověření hypotézy o „rizikosti extrémů“ (viz podkapitola 2.3). Proto byla testována kvadratická závislost (předpisem je polynom 2. stupně) u nově navrhovaných kritérií. Regresní analýza byla v těchto případech provedena, i když test korelačního koeficientu pro daná kritéria nevyvrátil jejich nezávislost (viz podkapitola 3.2.1), kvůli potřebě testování hypotézy o „rizikosti extrémů“. Následně došlo k použití této metody i na kombinace parametrů metriky pravděpodobnosti a parametry velikostí flotil (pro které by potenciálně také mohla platit hypotéza o „rizikosti extrémů“).

Při provádění analýzy došlo k výpočtu regresních koeficientů b_2 , b_1 a b_0 předpisu výsledného polynomu jehož tvar je popsán funkcí $f(x)$ ve vzorci (4).

$$f(x) = b_2x^2 + b_1x + b_0 \quad (4)$$

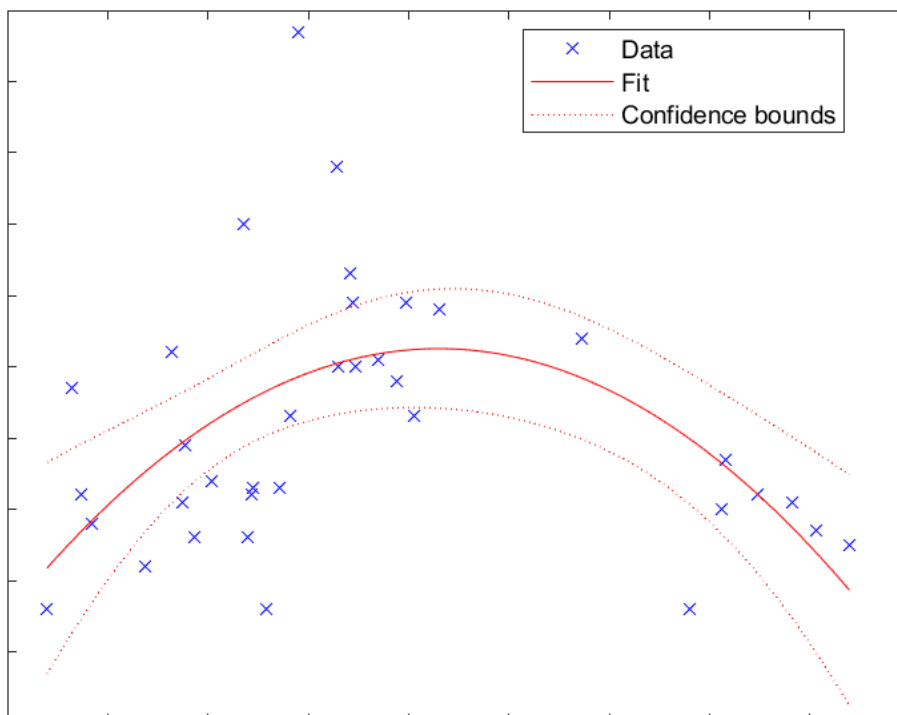
Zároveň byl proveden F-test vhodnosti dané regrese. V případě zamítnutí nulové hypotézy o nevhodnosti regrese je možné se danou závislostí dále zabývat. Tabulka 9 prezentuje získané p-hodnoty F-testu pro jednotlivé kombinace parametrů a také regresní koeficienty (pouze pro případy zamítnutí hypotézy o nevhodnosti regrese).

Z p-hodnot, uvedených v Tabulce 9, je zřejmé, že nulová hypotéza nebyla zamítnuta v případech modelování závislosti parametrů *Počet letových hodin* a *Počet přistání* na parametru *Položky MEL* a v případech modelování závislosti parametru *Počet provozovaných letadel* na parametrech *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*. V těchto případech by měla být věnována pozornost získaným regresním koeficientům a vizualizaci modelu. Vzhledem k nesplnění podmínky závislosti obou veličin v některých případech by mělo být použití daných modelů v systému podpořeno nejenom výsledkem F-testu, ale i např. prokázáním vhodnosti modelu pomocí jeho vizualizace. Vizualizace modelu parametrů *Počet letových hodin* a *Položky MEL* je zobrazena na Obrázku 7 a vizualizace modelu parametrů *Počet přistání* a *Položky MEL* je zobrazena na Obrázku 8.

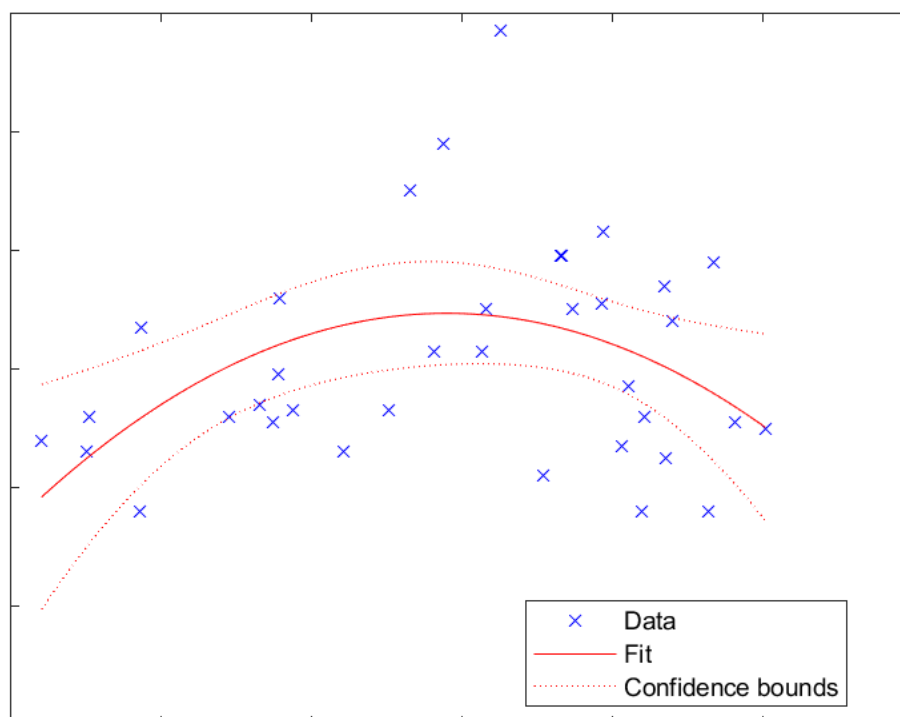


Tabulka 9: Souhrnné výsledky regresní analýzy

1. testovaný parametr	2. testovaný parametr	p-hodnota F-testu	Koeficient b_2	Koeficient b_1	Koeficient b_0
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Počet technických událostí</i>	0.3602			
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	0.5827			
<i>Počet letových hodin</i>	<i>Položky MEL</i>	0.0023	-5.04E-9	0.0019	-102.1632
<i>Počet přistání</i>	<i>Počet technických událostí</i>	0.3199			
<i>Počet přistání</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	0.9501			
<i>Počet přistání</i>	<i>Položky MEL</i>	0.0337	-0.0004	0.8463	-349.59
<i>Počet provozovaných letadel</i>	<i>Počet technických událostí</i>	2.11E-14	0.0021	-0.0482	0.3131
<i>Počet provozovaných letadel</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	0.0422	4.37E-5	-0.0176	1.1719
<i>Počet řízených letadel</i>	<i>Počet technických událostí</i>	0.6493			
<i>Počet řízených letadel</i>	<i>Počet nálezů z kontroly ACAM</i>	0.3011			



Obrázek 7: Model závislosti parametrů *Počet letových hodin* (horizontální osa) a *Položky MEL* (vertikální osa), stupnice obou os jsou v důsledku anonymizace dat skryty



Obrázek 8: Model závislosti parametrů *Počet přistání* (horizontální osa) a *Položky MEL* (vertikální osa), stupnice obou os jsou v důsledku anonymizace dat skryty



3.3 Vytvoření nové verze systému

Tato podkapitola dokumentuje proces tvorby nové verze systému vyhodnocení rizikovosti a následně tuto novou verzi popisuje. Při tvorbě systému vycházel autor práce z poznatků zmíněných v teoretické části práce (kapitola 1), ze zkušeností získaných během dosavadní práce se systémem i z již prezentovaných výsledků, které jsou v této podkapitole diskutovány.

3.3.1 Shrnutí kvantitativní analýzy dat

Podkapitola 3.2.1 dokumentovala testování korelačního koeficientu, v prvním případě šlo o zjištění případné závislosti mezi parametry *Počet osob na palubě* a *MTOM*. Ve všech případech byla potvrzena pozitivní závislost, která je dle hodnot koeficientu silná (s výjimkou skupiny 3). Potvrzení závislosti znovu vyvolává otázku, zda by oba parametry měly v nové verzi systému paralelně figurovat. Proti vyřazení jednoho z parametrů hovoří různá míra závislosti pro různé skupiny letadel a také potenciální možnost snížení této závislosti v budoucnu na základě vložení nových letadel do systému (např. letadel s relativně vysokou *MTOM* oproti *Maximální provozní konfiguraci sedadel pro cestující*). Z těchto důvodů se jako řešení tohoto problému nabízí snížení síly jednoho z kritérií. Ve snaze o co největší přesnost by hodnota síly měla být průběžně měněna v závislosti na aktuální hodnotě korelačního koeficientu dat těchto dvou parametrů (zvýšení hodnoty koeficientu by mělo odpovídat snížení hodnoty síly u jednoho kritéria). Tyto průběžné změny je možné automatizovat pomocí průběžného přepočtu hodnoty síly pomocí vzorce (5), který byl pro tento účel navrhnout.

$$s = (s_{MAX} - s_{MIN}) \cdot (1 - \rho) + s_{MIN} \quad (5)$$

Ve vzorci (5) proměnná s symbolizuje sílu kritéria, proměnné s_{MAX} a s_{MIN} maximální a minimální možné hodnoty síly, které jsou zadány uživatelem, a proměnná ρ aktuální hodnotu korelačního koeficientu. Síla kritéria *Počet osob na palubě*, nebo *MTOM* se pomocí tohoto vzorce může v nové verzi systému pohybovat dle míry korelace v mezích stanovených uživatelem. Popsaný vzorec lze analogicky použít na další dvojice kritérií, jejichž parametry jsou silně závislé (např. *Počet letových hodin* a *Počet přistání*). K použití by naopak nemělo dojít u dvojice parametrů *Počet technických událostí* a *Položky MEL*, u kterých závislost nebyla potvrzena.

V podkapitole 3.2.1 byly dále prezentovány testy korelačních koeficientů provedené za účelem zjištění vlivu vybraných parametrů na pravděpodobnost. V případě parametrů *Rok výroby*, *Počet AD za rok*, *Počet letových hodin* a *Počet přistání* v jasné většině nedošlo k identifikaci



závislosti na zvolených parametrech metriky pravděpodobnosti, pouze v případě omezeného vzorku (Boeing 737-800) došlo k identifikaci středně silné pozitivní závislosti parametrů využití letadla na veličině *Položky MEL*. Je tedy možné, že zmíněné parametry skutečně nemají vliv na výskyt negativních jevů na daném letadle, nicméně na neúspěch při hledání závislostí mohou mít podíl také charakteristiky parametrů metriky pravděpodobnosti, zejména nízký počet realizací veličin *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*. Přestože tyto dva parametry splňují teoreticky definici spojité veličiny, v případě prověřovaných dat se charakterem jedná spíše o veličiny diskrétní. Tuto domněnku potvrzuje i úspěšná identifikace závislostí v případě veličiny *Položky MEL* (u omezeného vzorku) vzhledem k tomu, že tato veličina nabývá výrazně vyššího počtu realizací.

Veličiny *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM* tak jsou pravděpodobnou limitací celé analýzy dat, nicméně pro data ze skupin 2–5 jsou jedinými nalezenými parametry jednoznačně spojitelnými s metrikou pravděpodobnosti. Byla zvažována možnost práce s daty, která byla získána během delšího časového období, což by počet realizací veličin zvýšilo, nicméně při takové analýze dat by docházelo k dalším problémům (např. problém určení hodnoty veličiny *Počet provozovaných/řízených letadel* pro letadla, která měnila tyto organizace během sledovaného období, problém s letadly zapsanými do leteckého rejstříku ČR až v průběhu sledovaného období). Z těchto důvodů lze zmíněné tři veličiny pokládat za nejvhodnější dostupné parametry metriky pravděpodobnosti.

Nevyvrácení nezávislosti zmíněných parametrů lze interpretovat jako další zpochybnění jejich vlivu na pravděpodobnost. Za předpokladu, že parametry mají ve skutečnosti vliv na pravděpodobnost a k identifikaci vlivu nedošlo kvůli výběru nevhodných parametrů metriky pravděpodobnosti, je ale možné tyto výsledky chápat jako argument pro ponechání těchto parametrů v systému (popřípadě jejich zařazení do systému). Je totiž možné poukázat na to, že tyto parametry přináší do systému jiné informace než parametry, které sloužily jako parametry metriky pravděpodobnosti. Z tohoto pohledu se zdá být vhodná paralelní existence kritérií jako *Počet letových hodin* a *Počet přistání* současně s kritérii *Počet technických událostí* a *Počet nálezů z kontroly ACAM*, protože nebyla potvrzena jejich závislost. Naopak, případně objevená závislost by v tomto případě vytvořila problém s parametry, které do systému přináší ne zcela unikátní informaci.

Podobné závěry lze učinit i v případě zkoumání parametrů *Počet provozovaných letadel* a *Počet řízených letadel*. U zkoumání závislosti parametru *Počet řízených letadel* a parametrů metriky pravděpodobnosti sice došlo k vyvrácení nezávislosti, nicméně zjištěný korelační koeficient odpovídá pouze slabé závislosti, navíc se směr závislosti daný zjištěnými



korelačními koeficienty liší (v případě parametru *Počet technických událostí* má korelační koeficient kladnou hodnotu, ve případě parametru *Počet nálezů z kontroly ACAM* zápornou hodnotu) takže zjištěné závislosti nelze použít jako podklad pro tvorbu systému.

Pro parametry *Počet letových hodin*, *Počet přistání* a *Počet provozovaných letadel* p-hodnota F-testu při regresní analýze vyvrátila nevhodnost kvadratické závislosti. V případě parametru *Počet provozovaných letadel* však vizualizované modely nepůsobí jako vhodné. Zároveň je možné si všimnout, že získané regresní koeficienty b_2 a b_1 jsou poměrně nízké. V důsledku toho předpis závislosti začíná připomínat spíše lineární konstantní funkci. Z těchto důvodů se nejví kvadratická závislost jako vhodný typ závislosti pro případ tohoto parametru a vzhledem k rozložení datových bodů se nejví jako perspektivní ani testování jiného způsobu závislosti.

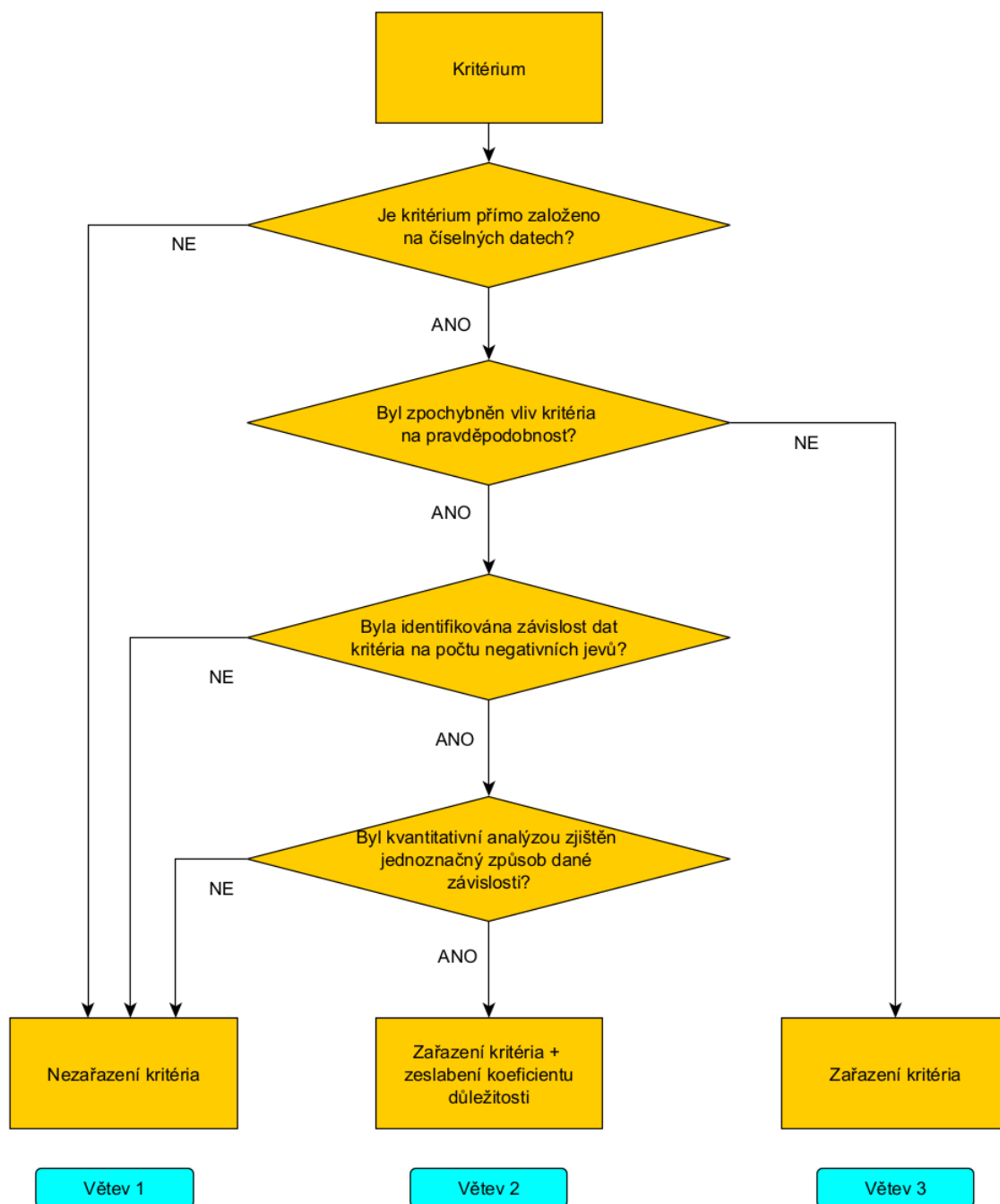
V případě modelů pro parametry *Počet letových hodin* a *Počet přistání* platí o regresních koeficientech stejné tvrzení jako v případě předchozího parametru. Vizualizace modelu naproti tomu hovoří ve prospěch modelů (viz Obrázky 7 a 8). Za povšimnutí však stojí konkávní tvar zobrazené závislosti, což je v přímém rozporu s hypotézou o „rizikosti extrémů“ (viz podkapitola 2.3), která by naopak měla vést ke konvexnímu tvaru závislosti. Autorovi práce se nepodařilo nalézt zdůvodnění tohoto jevu (tedy jevu, kdy nejvyšší počet aplikování dokumentu MEL přísluší letadlům, jejichž míra využití je blízko průměrnému využití letadel v dané skupině).

Výsledky jednofaktorové analýzy více výběrů je možné interpretovat jako potvrzení hypotézy o významném rozdílu četností negativních jevů na letadlech v rámci jednotlivých organizací CAMO (porovnání jednotlivých provozovatelů skončilo nejednoznačně). Jedná se další poznatek podporující koncept podrobného hodnocení organizací (v tomto případě konkrétně organizací CAMO) v nové verzi systému pro vyhodnocení rizikivosti.

3.3.2 Kritéria nového systému

Jedním z hlavních důvodů provedení kvantitativní analýzy dat byla potřeba řešení problémů současného systému, které jsou vázány na konkrétní kritéria. Získané výsledky mohou být nyní podkladem pro vytvoření nové verze systému, přičemž základní princip nové verze se nebude lišit od principu současné verze, půjde tedy o hodnocení letadel na základě kritérií. Při tvorbě nové verze bylo postupováno metodou posuzování potenciálních kritérií pro novou verzi systému (tzn. posuzování všech kritérií ze současné verze a nově navrhovaných kritérií) a jejich následné zařazení nebo nezařazení do nového systému. S ohledem na limitace kvantitativní analýzy dat (viz předchozí podkapitola) nemohlo být posuzování založeno pouze

na výsledcích této analýzy. Proto byl pro posouzení kritérií pravděpodobnosti vytvořen rozhodovací strom. Tento strom je prezentován na Obrázku 9.



Obrázek 9: Rozhodovací strom pro zařazování kritérií pravděpodobnosti do systému

Pomocí uvedeného rozhodovacího stromu bylo provedeno posouzení všech potenciálních kritérií pravděpodobnosti. Každé kritérium bylo zařazeno do jedné z větví stromu, které jsou označeny čísly 1–3. Kritéria, která byla zařazena do větve 3 (tedy kritéria, která by měla být zařazena do systému bez omezení) nejsou považována za přímo problematická. Do této



skupiny patří kritérium *Položky MEL* a další kritéria (většina z nich nebyla v práci vůbec uváděna kvůli jejich bezproblémovosti).

Mezi kritéria, která nemají být do systému zařazena (větev 1), patří kritéria *Zkušenosti s CAMO* a *Zkušenosti s provozovatelem*, která by se neměla v nové verzi systému objevit, protože nejsou založena na číselných datech. Větev 1 také zahrnuje kritéria *Počet AD za rok*, *Počet provozovaných letadel* a *Počet řízených letadel* (v roli kritérií pravděpodobnosti), která nebyla zařazena do systému na základě výsledků kvantitativní analýzy dat.

Do větve 2 byla zařazena kritéria *Počet letových hodin* a *Počet přistání*. Tato kritéria jsou doporučena na zařazení do systému se sníženým koeficientem síly. Toto opatření má kompenzovat určitou nejistotu v rámci vlivu parametru daného kritéria na pravděpodobnost. Nejistota pramení z rozporu mezi hypotézou o „rizikosti extrémů“ a výsledky kvantitativní analýzy dat, přičemž na obojím lze založit způsob hodnocení těchto parametrů. Pro novou verzi systému byly využity výsledky kvantitativní analýzy dat. Závislost hodnot parametru na přidělovaném indexu tak může být modelována jako kvadratická funkce, která dosahuje maximální hodnoty indexu pro průměrnou hodnotu parametru a minimální pro hodnotu parametru, která je od průměru nejvzdálenější. Tato závislost byla namodelována vzorcem (6) pro výpočet indexu příslušného kritéria. Ve zmíněném vzorci proměnná I_i představuje index kritéria pro letadlo i , proměnné I_{MAX} a I_{MIN} představují maximální a minimální možnou hodnotu indexu (zadáno uživatelem), proměnná K_i hodnotu parametru pro konkrétní letadlo, proměnná K_{AVG} průměrnou hodnotu parametru ve skupině letadel a proměnná K_D hodnotu parametru, která je od hodnoty K_{AVG} nejvzdálenější. Pro hodnocení parametrů na základě hypotézy o „rizikosti extrémů“ by bylo možné použít obdobný vzorec (7), tvar závislosti se liší pouze natočením kvadratické funkce.

$$I_i = \frac{(I_{MIN} - I_{MAX})}{|K_{AVG} - K_d|^2} \cdot (K_i - K_{AVG})^2 + I_{MAX} \quad (6)$$

$$I_i = \frac{(I_{MAX} - I_{MIN})}{|K_{AVG} - K_d|^2} \cdot (K_i - K_{AVG})^2 + I_{MIN} \quad (7)$$

V případě kritérií závažnosti nemusí být žádný přiřazovací proces vytvářen, jelikož v rámci této práce nedošlo k nalezení žádného problematického ani nového kritéria závažnosti. Díky tomu mohou být všechna současná kritéria závažnosti přenesena do nové verze systému beze změn.



V souvislosti s výběrem kritérií závažnosti a pravděpodobnosti pro novou verzi systému je možné také uvažovat o modifikaci výstupu z analýzy letadel, provedené pomocí těchto kritérií. Současným výstupem jsou celkové hodnoty závažnosti a pravděpodobnosti pro dané letadlo (viz podkapitola 1.2.2). Pokud by se podařilo tento výstup shrnout do jedné hodnoty, byl by vyřešen problém prezentovaný v podkapitole 1.4.4 (problém výběru letadel z matice rizik). V případě pouze jedné hodnoty na výstupu by bylo možné letadla jednoznačně seřadit dle této hodnoty, což by zvýšilo přesnost a objektivitu výběru letadel. Tato jediná hodnota na výstupu (pojmenovaná jako *Skóre letadla*) by měla vzniknout kombinací celkové závažnosti a pravděpodobnosti. Jedna z možností kombinování vychází přímo z matice rizik. Tato možnost spočívá ve výpočtu vzdálenosti bodu [0,0] v matici rizik a bodu, ve kterém se nachází dané letadlo. Tato vzdálenost pak může sloužit jako skóre daného letadla. Vzdálenost může být vypočítána pomocí vzorce (8), ve kterém proměnná SL symbolizuje skóre pro letadlo i a proměnné Z a P celkovou závažnost a pravděpodobnost pro dané letadlo.

$$SL_i = \sqrt{Z_i^2 + P_i^2} \quad (8)$$

Podkapitola 2.3 dokumentovala proces hledání kritérií pro hodnocení organizací, přičemž bylo zmíněno hodnocení dokumentace jako možný zdroj hodnocení organizací, nicméně žádný vhodný objektivní způsob hodnocení dokumentace nebyl nalezen. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k subjektivnímu hodnocení jednotlivých dokumentů pomocí určité stupnice (stejný princip jako u kritérií *Zkušenosti s CAMO/provozovatelem*). Přitom je třeba vzít v úvahu, že vyhodnocení dokumentů bude probíhat u každého letadla dané organizace zvlášť a na celkové hodnocení organizace bude mít vliv hodnocení každého dokumentu. Tímto způsobem dojde ke zpřesnění hodnocení organizací a také ke zvýšení objektivity systému.

Na základě výsledků kvantitativní analýzy dat (viz podkapitola 3.2.2) bylo rozhodnuto, že hodnocenými organizacemi budou organizace CAMO. Pro tyto organizace byla navržena celkem čtyři kritéria (parametry). Jedná se o:

- *Stav AMP* V případech, kdy AMP nezpracovává CAMO organizace, by tento parametr neměl být hodnocen.
- *Stav MEL* Dokument MEL je zpracováván provozovatelem, ten je ve velkém počtu případů shodný s organizací CAMO. V takových případech lze tento parametr hodnotit.
- *Stav další dokumentace* Tento parametr by měl hodnotit další dokumentaci zpracovávanou CAMO organizací (popřípadě provozovatelem shodným s organizací



- CAMO), se kterou přijde Oddělení dopravních letadel do styku, např. Emergency Equipment Layout (EEL, schéma rozmístění nouzového vybavení na palubě letadla).
- *Spolupráce* Tento parametr by měl sloužit k zahrnutí veškerých dalších podnětů o kvalitě činnosti CAMO organizace.

U několika navržených kritérií byly při návrhu zmíněny podmínky, za kterých by dané kritérium nemělo být hodnoceno. Této skutečnosti musí být přizpůsobena metodika stanovování hodnot parametrů a stupnice pro možné hodnoty parametrů. Proto se nabízí zvolení určité počáteční (neutrální) hodnoty parametrů, která bude na počátku přiřazena všem letadlům pro všechny parametry. Uživatelé systému následně mohou tyto hodnoty měnit na základě zkontrolovaných AMP, MEL nebo na základě dalších podnětů, přičemž určité hodnoty zůstanou nezměněny (v případech, kdy nemá být parametr pro dané letadlo hodnocen). Tento způsob se zdá vhodný i z hlediska postupného zavádění systému do provozu, kdy v průběhu času budou uživatelé aktualizovat jednotlivé hodnoty, nicméně systém bude funkční již od zavedení.

Stupnice hodnocení zmíněných parametrů by měla být definovaná svým rozsahem (minimální a maximální použitelnou hodnotou), neutrální hodnotou a krokem (minimální vzdáleností dvou použitelných hodnot na stupnici). Jako možné řešení se nabízí použití podobné stupnice jako u kritérií *Zkušenosti s CAMO/provozovatelem*. Taková stupnice by měla rozsah 1–3, neutrální hodnotu 2 a krok 1. U takto navržené stupnice je však problematický omezený počet přidělitelných hodnot. Složitost hodnocení stavu např. AMP vyžaduje podrobnější stupnici, proto byl krok této stupnice následně snížen na 0.1. Autor práce následně vyzkoušel zhodnotit s touto stupnicí 40 programů údržby, přičemž bylo zjištěno, že takto upravená stupnice je naopak příliš podrobná (dodržení jednotné podoby hodnocení pro všechny AMP bylo obtížné). Proto byl krok zvýšen na hodnotu 0.5, která se při následném hodnocení AMP ukázala jako vhodná. Stupnice hodnocení pro zmíněná kritéria bude mít tedy rozsah 1–3, krok 0.5 a v počátečním nastavení budou mít všechna letadla pro všechna kritéria nastavena hodnotu 2.

Celý proces hodnocení organizací by měl vyústit ve výpočet jedné hodnoty, která by byla měřítkem rizikovosti dané CAMO organizace z pohledu Oddělení dopravních letadel. Vzhledem k nutnosti započtení hodnot všech parametrů pro všechna letadla dané organizace by měl vzorec pro výpočet této metriky vycházet ze vzorců pro výpočet průměru. Pro výpočet zmíněné metriky (byla pojmenována *Skóre organizace*) byl tedy navrhnut vzorec (9), ve kterém proměnná S_0 symbolizuje skóre pro organizaci i , proměnná n počet letadel dané organizace, proměnná k hodnoty parametrů letadla j pro kritéria 1–4 a proměnné s síly kritérií 1–4 (zadávány uživatelem). Vzhledem k využití počtu letadel organizace je třeba provést



hodnocení organizací ze všech pěti skupin dohromady. V opačném případě by u organizací, které řídí letadla z více skupin, byla získána nepřesná hodnota parametru *Skóre organizace*.

$$SO_i = \frac{\sum_{j=1}^n k_{1j}}{n} \cdot s_1 + \frac{\sum_{j=1}^n k_{2j}}{n} \cdot s_2 + \frac{\sum_{j=1}^n k_{3j}}{n} \cdot s_3 + \frac{\sum_{j=1}^n k_{4j}}{n} \cdot s_4 \quad (9)$$

3.3.3 Struktura nové verze systému

Strukturu nové verze systému již do značné míry předznamenal výběr kritérií v předchozí podkapitole. Z ní vyplývá že se celý systém bude skládat ze dvou hlavních subsystémů:

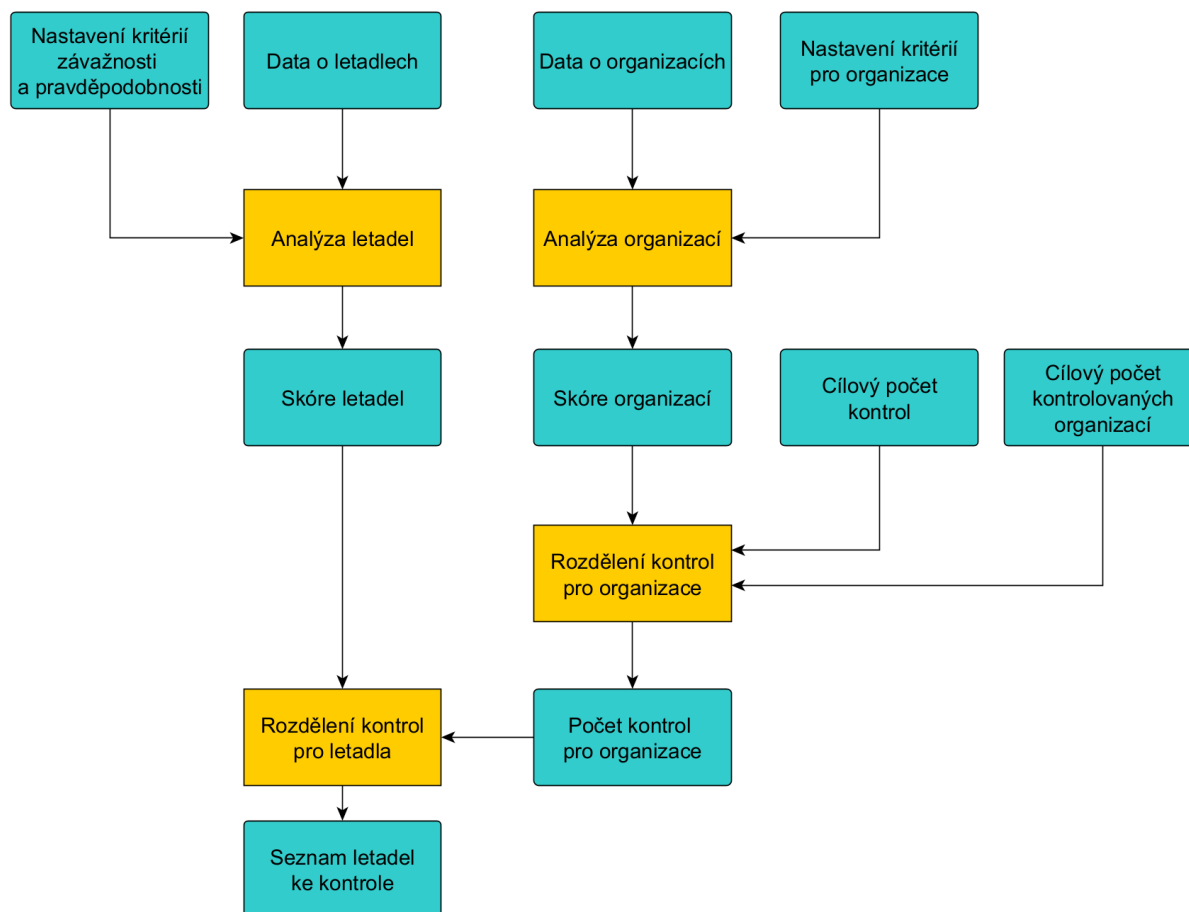
- Hodnocení letadel
- Hodnocení CAMO organizací

Pro vytvoření celého systému je nutné propojit tyto dva subsystémy tak, aby systém dokázal samostatně ze zadaných dat o letadlech a organizacích vytvořit seznam letadel, na kterých má být provedena kontrola ACAM. Toto propojení bylo provedeno, čímž vznikla kompletní nová verze systému. Struktura tohoto systému je zaznamenána na schématu na Obrázku 10, kde oranžové bloky značí automatické procesy v systému a modré bloky symbolizují data a proměnné na vstupech nebo výstupech těchto procesů.

Proces analýzy organizací byl detailně popsán v podkapitole 3.3.2. Proces analýzy letadel vychází ze současného stavu systému popsaného v podkapitolách 1.2.2 a 1.2.3. Změny v analýze letadel jsou popsány v podkapitolách 3.3.1 a 3.3.2. Pro detailní popis systému zbývá dovysvětlit procesy rozdělení kontrol. Blok *Rozdělení kontrol pro organizace* by měl zahrnovat proces, kdy bude jednotlivým organizacím přiřazen určitý počet kontrol na základě jejich skóre. Lze navrhnout více postupů, jak toto rozdělení provést. Jako výhodné se jeví provést rozdělení na základě 2 parametrů, které do systému zadá uživatel:

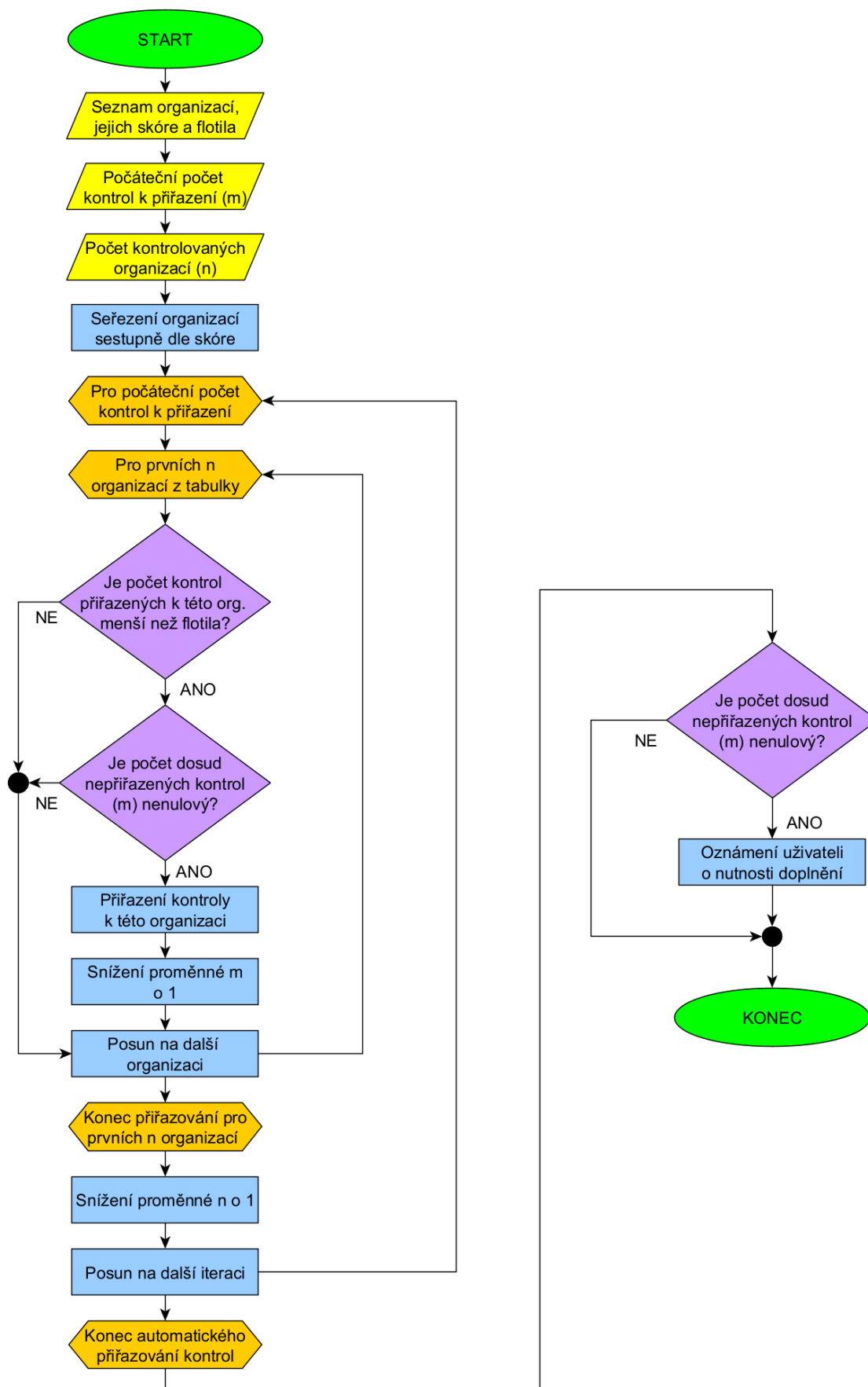
- Cílový počet kontrol pro hodnocenou skupinu
- Počet organizací ve skupině, u kterých má dojít k minimálně jedné kontrole

Pokud proces bude založený na *Skóre organizací* a na zmíněných dvou proměnných, bude mít uživatel systému nad procesem přiřazování značnou kontrolu. Z tohoto důvodu byl navrhnout algoritmus procesu přiřazování právě pro tyto vstupy. Algoritmus byl znázorněn vývojovým diagramem na Obrázku 11.



Obrázek 10: Schéma nové verze systému vyhodnocení rizikovosti

Ve zmíněném vývojovém diagramu jsou jednotlivé kroky popsány slovně, pro větší názornost jsou dva vstupní parametry (počet kontrol pro skupinu a počet kontrolovaných organizací) označeny písmeny m a n . Algoritmus nejprve provede seřazení organizací sestupně podle jejich skóre. Následně již dojde k přiřazování kontrol k jednotlivým organizacím. Toto přiřazování probíhá postupným procházením určitého počtu organizací. Počet procházených organizací se v průběhu přiřazování mění. Poprvé je procházeno prvních n organizací (tedy zadaný počet kontrolovaných organizací), s každým dalším opakováním se počet procházených organizací snižuje o jednu. Pokud je daná organizace procházena, dochází u ní k posouzení, zda je možné organizaci přiřadit další kontrolu (s ohledem na velikost flotily). Pokud ano, kontrola je přiřazena. Přidělování může probíhat do doby, než je počet přiřazených kontrol roven zadanému počtu kontrol pro celou skupinu.



Obrázek 11: Vývojový diagram algoritmu přiřazování kontrol k organizacím



Výstupem algoritmu je seznam organizací s přiřazenými počty kontrol, přičemž algoritmus má zajistit dodržení obou dvou hodnot vstupních parametrů, které zadal uživatel. Seřazení seznamu organizací má zajistit, že organizace s vyšším skóre mají být v průběhu přiřazování kontrol vícekrát nebo stejněkrát vystaveny „hrozbě“ přiřazení další kontroly než organizace s nižším skóre, nicméně s ohledem na různou velikost flotil se může stát, že organizace s nižším skóre budou mít vyšší absolutní počet kontrol než organizace s vyšším skóre.

Zároveň je třeba připustit možnost, kdy algoritmus nebude schopen přiřadit požadované množství kontrol. K této situaci může dojít při zadání relativně malého množství kontrolovaných organizací vůči zadanému počtu kontrol. Algoritmus dokáže tuto situaci identifikovat a následně o tom informovat uživatele systému. Ten může následně doplnit zbývající kontroly manuálně, nebo změnit parametry na vstupu, aby k této situaci vůbec nedošlo.

Posledním procesem, který je třeba popsat, je proces přiřazování kontrol k jednotlivým letadlům. Tento proces je oproti přiřazování kontrol k organizacím podstatně jednodušší, a proto nebyl pro jeho znázornění použit vývojový diagram. Do procesu vstupuje seznam organizací s přiřazenými počty kontrol a seznamy letadel jednotlivých organizací. Následně stačí seznamy letadel seřadit sestupně dle skóre letadel a následně přiřadit kontrolu zadanému počtu letadel z organizace, přičemž jsou vybrána letadla s nejvyšším skóre. Po tomto přiřazení je dosaženo žádoucího výstupu z celého systému vyhodnocení rizikosti, tedy skupiny letadel, na kterých by v následujícím časovém období měla být provedena kontrola ACAM. Letadla byla do této skupiny vybrána na základě porovnání hodnot skóre mezi sebou, z čehož vyplývá, že pro parametr *Skóre letadla*, stejně jako pro parametry celkové závažnosti a pravděpodobnosti, není stanovena žádná prahová hodnota, která by ohraničovala hodnoty skóre, při jejichž dosažení by kontrola ACAM musela být vykonána. Absenci této hodnoty lze vysvětlit způsobem užití systému pro plánování kontrol, kdy má systém zachytit určité trendy (zvyšování rizikosti letadla) v dlouhodobém časovém horizontu. Na okamžitý závažný problém u letadla jsou inspektoři Oddělení dopravních letadel schopni zareagovat provedením okamžité kontroly ACAM mimo plán. Z tohoto důvodu při tvorbě nové verze systému nevznikla potřeba se zabývat možným zavedením zmíněné prahové hodnoty.

Pro praktickou ukázkou celého systému byl vytvořen skript v programovacím jazyce MATLAB, který zahrnuje celou novou verzi systému. Při správně zadaných vstupech je tedy možné po spuštění programu získat seznam letadel ke kontrole, ke kterému program došel přesně podle postupu popsaného na Obrázku 10. Tento skript je prezentován v Příloze 1 této práce.



Zmíněný program obsahuje všechna navrhovaná kritéria pro hodnocení organizací a příklady kritérií závažnosti a pravděpodobnosti s intervalovou i vzorcovou metodou přiřazování hodnot indexů kritérií (*Počet osob na palubě, MTOM, Druh provozu, Datum poslední kontroly ACAM, Rok výroby, Počet technických událostí, Počet nálezů z kontroly ACAM*).

3.4 Validace navrhovaného řešení

V předchozí podkapitole byl popsán kompletní návrh nové verze systému pro vyhodnocení rizikovosti letadel. Aby bylo možné zhodnotit vhodnost navrhovaného řešení a diskutovat výsledky celé práce, je nutné nejprve provést validaci tohoto řešení. Nejprve je nutné určit, jaká část nové verze systému má být validována. Komplexní zhodnocení vhodnosti nové verze systému by vyžadovalo výzkum chování systému v rámci delšího časového úseku (např. pomocí posouzení letadel, která bude systém doporučovat na provedení kontroly ACAM). Vzhledem k intervalu aktualizace dat v systému se takovéto posouzení nejeví jako reálně proveditelné pro účely této práce (při zavedení systému do provozu by jeho celkovou vhodnost šlo posoudit až v řádu jednotek let). Z tohoto důvodu byla validace navrhovaného řešení v této práci zacílena na porovnání míry objektivity a přesnosti v nové verzi systému vůči verzi současné. Tímto výzkumem lze prověřit, zda zavedením nové verze skutečně došlo ke zvýšení objektivity a přesnosti vyhodnocení rizikovosti letadel.

V nové verzi systému existují dvě nové části, na kterých je možné dokázat zvýšení objektivity a přesnosti. Jedná se o:

- Subsystem hodnocení organizací
- Způsob řazení letadel dle jejich skóre

Subsystem hodnocení organizací nahradil v nové verzi systému kritéria *Zkušenosti s CAMO/provozovatelem*. Vůči těmto kritériím bude nyní subsystem porovnáván se zaměřením na objektivitu a přesnost. Je nutné upozornit na fakt, že subsystem je tvořen čtyřmi novými kritérii, přičemž metoda přidělování hodnot těmto kritériím je taktéž subjektivní. Nicméně, rozdělení původního kritéria na čtyři podrobnější může pomoci uživateli systému být při hodnocení více objektivní, protože v nové verzi hodnotí vždy v jednom okamžiku pouze jeden aspekt činnosti organizace, např. kvalitu zpracování AMP, kterou může navíc přehledněji porovnat vůči ostatním AMP.

Zavedení nového subsystemu bude mít znatelnější vliv na přesnost. Původní kritéria *Zkušenosti s CAMO/provozovatelem* umožňovala hodnocení organizací pomocí diskrétní stupnice. Stupnice u nově zavedených kritérií organizací jsou také diskrétní, nicméně k hodnocení organizací dochází pro každé letadlo zvlášť a výpočet výsledného parametru



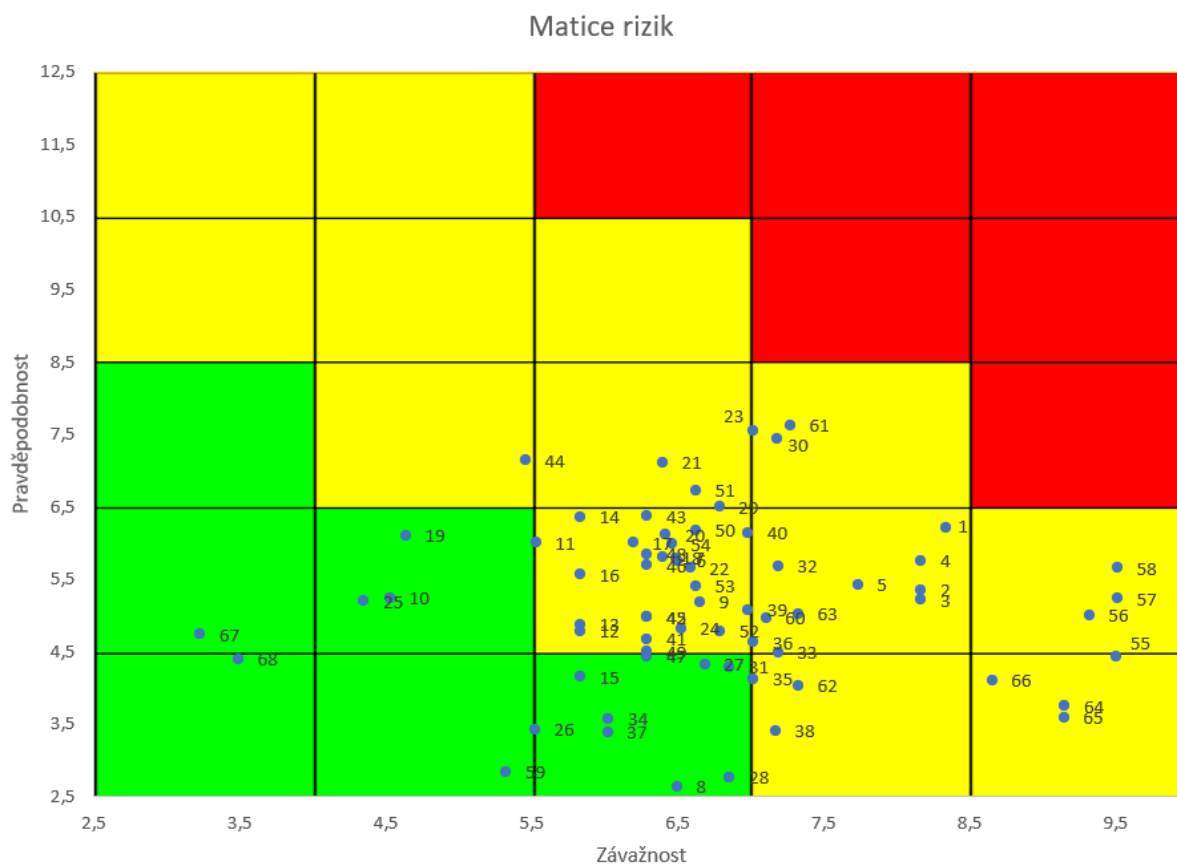
Skóre organizace je založen na výpočtu průměrů těchto hodnot. To by mělo mít za následek spojitost veličiny *Skóre organizace*, čímž by mělo dojít ke zpřesnění vyhodnocení rizikivosti organizací. Předpoklad o spojitosti veličiny *Skóre organizace* byl měl být ověřen na skutečných datech o organizacích. Za tímto účelem provedl autor práce v časovém období od listopadu 2023 do ledna 2024 hodnocení celkem 49 AMP pro letadla z celkem pěti organizací CAMO. Tak byly získány parametry kritéria *Stav AMP*. Parametry kritérií *Stav MEL* a *Stav další dokumentace* byly ponechány na neutrální hodnotě. Pro získání hodnot parametru kritéria *Spolupráce* byly použity hodnoty parametru *Zkušenosti s CAMO* pro dané organizace, přičemž byl využit stejný rozsah obou stupnic. Následně byla vypočtena hodnota parametru *Skóre organizace* pro zmíněných pět organizací dle vzorce (9). Při tomto výpočtu byly nastaveny koeficienty sil pro všechna kritéria na hodnotu 1, aby nebyly zdrojem případné spojitosti veličiny *Skóre organizace*. Jednotlivá skóre jsou v anonymizované podobě uvedena v Tabulce 10.

Tabulka 10: Skóre vybraných organizací

Organizace	Skóre organizace
Organizace 1	6
Organizace 2	8.4167
Organizace 3	8.0385
Organizace 4	8.5
Organizace 5	8.6

Z hodnot parametru *Skóre organizace* je zřejmá spojitost této veličiny. Tohoto ověření bylo dosaženo i přes fakt, že parametry *Stav MEL* a *Stav další dokumentace* byly pro všech 49 hodnocených letadel na neutrální hodnotě. V systému, který bude průběžně aktualizován po delší dobu, může dojít ke změnám i těchto hodnot, což přispěje k ještě vyšší diferenciaci hodnot parametru *Skóre organizace*. Zavedení subsystému hodnocení organizací tedy prokazatelně přispělo ke zvýšení přesnosti hodnocení rizikivosti letadel.

Dále je možné zvýšení přesnosti a objektivity demonstrovat na zavedení parametru *Skóre letadla* a jeho využití pro určení zadaného počtu nejrizikovějších letadel z určité skupiny. K porovnání současného a nového způsobu určování nejrizikovějších letadel bylo vybráno 68 letadel ze současného systému vyhodnocení rizikovosti. Všech 68 letadel bylo vyneseno do matice rizik na základě jejich celkové závažnosti a pravděpodobnosti (pro výpočet těchto parametrů byla použita data z roku 2022). Matice rizik s vnesenými letadly je zobrazena na Obrázku 12.



Obrázek 12: Matice rizik s vnesenými letadly pro validaci systému

Pokud by měl uživatel systému vybrat z této matice určitý počet nejrizikovějších letadel ke kontrole, bude čelit několika dilematům. V současné verzi systému totiž neexistuje žádný exaktní způsob, který by dokázal určit, zda by měl výběr nejrizikovějších letadel začít od skupiny letadel blízko středu matice (letadla 23, 30, 61) nebo od skupiny letadel úplně vpravo dole (letadla 58, 57, 56, 55). Do úvahy také přichází zařazení letadla 1 mezi nejrizikovější letadla. Další dilema by mohlo nastat, pokud by uživatel musel vybrat k zařazení pouze jedno letadlo ze dvojice letadel 21 a 51 (blízko středu matice). Z pouhé vizuální reprezentace totiž nelze nejen u tohoto případu jednoznačně určit, které letadlo je více rizikové.



Výpočet skóre pro všechna letadla dle vzorce (8) a následné sestupné seřazení letadel dle skóre všechny popsané problémy řeší. Uživatel dostane okamžitě jednoznačnou informaci o rizikovosti všech letadel a výběr určitého počtu nejrizikovějších letadel je tak automatický. Za účelem porovnání byl proveden výpočet parametru *Skóre letadel* pro všech 68 letadel z matice rizik na Obrázku 12. Po následném seřazení byl získán seznam, podle kterého by uživatel systému byl schopen okamžitě doporučit určitý počet nejrizikovějších letadel na provedení kontroly ACAM. Mezi 10 nejrizikovějších letadel této skupiny patří (v sestupném pořadí): letadlo 58, 57, 56, 61, 55, 1, 30, 23, 4, 64 a 65.

Z uvedeného případu je patrné, že přechodem od vizuálního hodnocení matice k výpočtu parametru *Skóre letadel* došlo ke zvýšení objektivity v případě řazení letadel dle rizikovosti. Zároveň byla zvýšena i přesnost, protože při seřazení letadel dle skóre rizikovosti jsou zohledněny i velmi malé rozdíly v hodnotách skóre. Pokud bychom uvažovali např. dvě letadla, jejichž skóre se liší až na pozici 5. desetinného místa, tak nová metoda jednoznačně dokáže identifikovat letadlo s nepatrně vyšším skóre. Naproti tomu, pokud by v současném systému byla do matice vynesena dvě letadla, jejichž hodnota celkové závažnosti by se lišila až na 5. desetinném místě, uživatel systému by nebyl schopen tento rozdíl v matici lidským zrakem identifikovat.



4 Diskuse výsledků

Tato kapitola obsahuje podrobné zhodnocení dosažených výsledků. Diskuse se soustřeďuje především na finální produkt této práce, tedy na novou verzi systému, protože výsledky kvantitativní analýzy dat bylo nutné podrobně diskutovat před samotným vytvořením nové verze (viz podkapitola 3.3.1, na kterou je v této kapitole odkazováno).

4.1 Přednosti a limitace nové verze systému

Tato podkapitola obsahuje zhodnocení veškerých prvků nové verze systému, které nebyly obsaženy v současné verzi, a zhodnocení nového systému jako celku dle více hledisek. Na více prvcích systému a pohledech na systém lze současně nalézt jak jeho přednosti, tak i limitace. Proto jsou silné i slabé stránky nové verze prezentovány společně v této podkapitole.

Veškeré provedené změny v systému hodnocení rizikovitosti lze shrnout do následujícího výčtu:

- Přepočítání síly kritérií dle korelačního koeficientu
- Změna složení kritérií v systému na základě kvantitativní analýzy dat
- Zavedení podrobného hodnocení organizací CAMO
- Zavedení automatizovaných procesů přiřazování kontrol k organizacím a letadlům (procesy v blokovém schématu na Obrázku 10)

Přepočítání síly kritérií je kompromisní řešení problémů silně závislých parametrů v systému. Jedná se o drobnou úpravu systému, jejíž výhodou je plná automatizovanost tohoto kroku. Za limitaci může být považováno omezení nabídky softwaru, pomocí nichž může být systém vytvořen, na software, ve kterém je možný výpočet korelačního koeficientu. Tuto funkci však v sobě má zabudovanou nejen výpočetní software MATLAB, ale i tabulkový procesor Microsoft Excel, ve kterém je současný systém vytvořen.

Při rozhodování o zařazení potenciálních kritérií do nového systému byly vzaty v úvahu výsledky kvantitativní analýzy dat. Vzhledem k limitacím této analýzy (problematické parametry metriky pravděpodobnosti, viz podkapitola 3.3.1) však mnohé výsledky působí nejednoznačně (např. u kritérií s doporučeným snížením koeficientu síly). Celkově lze konstatovat, že díky nízké variabilitě dat o počtech negativních jevů na letadlech je kvantitativní analýza vlivu kritérií na rizikovitost málo přesvědčivá. Na druhou stranu však z této analýzy musela vyplynout jednoznačná rozhodnutí ohledně zařazení/nezařazení kritérií do systému, což bylo realizováno pomocí rozhodovacího stromu. Během procesu přiřazování kritérií do nové verze došlo k přiřazení nově objevených kritérií, což lze vzhledem k nedostatku kritérií



hodnotit pozitivně, nicméně se jedná o nová kritéria pravděpodobnosti, přičemž oblast závažnosti trpí nedostatkem kritérií více. V rámci této práce nedošlo k nalezení žádného dalšího kritéria závažnosti.

Podrobné hodnocení organizací CAMO bylo zavedeno na základě poznatků z vědecké literatury a výsledků kvantitativní analýzy dat. Hodnocení organizací CAMO je společně se zavedením parametru *Skóre letadla* nejvýznamnějším zdrojem zvýšení objektivit a přesnosti vůči současnému stavu systému, což je nutné hodnotit jako přednost nové verze. V kontextu návrhu struktury nové verze však došlo k významnému posílení konceptu hodnocení organizací CAMO oproti současné verzi systému, ve kterém byla organizace hodnocena pouze pomocí jednoho kritéria. Zde se nabízí otázka, zda není v nové verzi na hodnocení organizací kladen příliš velký důraz oproti hodnocení samotných letadel, což lze demonstrovat na hypotetických příkladech letadel s relativně vysokým skóre, na kterých nebude provedena kontrola kvůli nízkému skóre jejich CAMO organizace. Zda se jedná o limitaci nové verze systému lze zjistit pouze ze zkušeností uživatelů nové verze systému, proto musí být systém nejprve zaveden. Vhodnost struktury nové verze systému tak v současné době nelze posoudit. V případě prokázání nevhodnosti této struktury se nabízí změna procesu přiřazování kontrol k organizacím nebo změna celé struktury systému.

V podkapitole 1.4 byly zmíněny konkrétní problémy současné verze systému. V rámci diskuse je možné zhodnotit, do jaké míry byly tyto problémy vyřešeny zavedením nové verze systému. Z předchozího textu vyplývá, že problém nedostatku kritérií přetrvává, problémy s vybranými kritérii byly ve větší míře vyřešeny, problémy výběru letadel a potenciální duplicity dat byly vyřešeny zcela. Uvedené limitace byly v podkapitole 1.4.6 zobecněny do problémů nedostatku přesnosti a objektivit v systému. V podkapitole 3.4 bylo dokázáno, že nové prvky v systému zvyšují jeho objektivitu a přesnost. Zároveň nebyl zjištěn případ, kde by zavedením nové verze systému byla přesnost a objektivita systému snížena oproti jeho původnímu stavu. Tento výsledek lze vnímat jako jednoznačnou přednost nové verze systému.

Dále je možné zhodnotit časovou zátěž uživatele nové verze systému oproti zátěži uživatele při práci se současnou verzí. Pokud uvážíme, že subjektivní kritéria *Zkušenosti s CAMO/provozovatelem* byla nahrazena čtyřmi novými subjektivními kritérii, je zřejmé, že proces přiřazování hodnot indexů kritérií bude při práci s novou verzí časově náročnější (navíc je třeba uvážit nutnost posouzení všech kritérií pro každé letadlo). Vzhledem k nedostatku zkušeností s novou verzí systému v reálném provozu nelze uvést ani přibližné hodnoty zvýšení časové náročnosti. Je však velmi pravděpodobné, že nepůjde o významnou hodnotu, protože uživatelé systému budou přiřazovat hodnoty indexů novým kritériím



v souvislosti s jejich pracovní činností mimo správu systému (kontrola AMP/MEL, komunikace s organizací CAMO), což může proces přiřazování hodnot indexů uživatelům do značné míry usnadnit, a tím i urychlit. Zároveň v nové verzi systému již nedochází k výběru letadel ke kontrole na základě vizuálního porovnání v matici rizik, což přinese uživatelům naopak časovou úsporu, která může alespoň částečně kompenzovat zvýšení časové zátěže kvůli novým kritériím. Celkově lze konstatovat, že nová verze systému bude pravděpodobně přinášet nevýznamně vyšší časovou zátěž pro uživatele systému.

4.2 Způsoby implementace nové verze systému

Skript uvedený v Příloze 1 je základem pro plně funkční program nové verze systému. Tento skript, vytvořený v programovacím jazyce MATLAB, může být v případě potřeby relativně nenáročným způsobem přepsán do jiného programovacího jazyka (např. C++). V tomto kontextu je možné uvedený skript vnímat jako základ pro různé možnosti implementace systému, ačkoliv by bylo možné přímo na základě skriptu v jazyce MATLAB vytvořit uživatelsky přívětivé rozhraní (aplikaci), pomocí kterého by uživatel mohl zadat hodnoty nastavitelných vstupů pro systém a aplikace by následně na základě skriptu provedla veškeré procesy systému a následně zobrazila seznam letadel pro kontrolu ACAM.

S ohledem na implementaci současného systému pomocí softwaru Microsoft Excel byl učiněn pokus o implementaci kompletní verze nového systému v rámci tohoto softwaru, přičemž byly využity pouze základní funkce, nikoliv např. příkazy makra z důvodu obtížné realizace v prostředí ÚCL. Autor práce se při implementaci setkal s řadou problémů, které měly za následek nemožnost aplikování některých procesů v rámci tohoto softwaru nebo přílišnou složitost realizace subsystémů a z toho vyplývající uživatelskou nepřívětivost tvořeného systému. Z tohoto důvodu lze považovat samotný software Microsoft Excel jako nevhodný pro implementaci nové verze systému. Jako vhodné řešení se nabízí využití skriptu pro vytvoření již zmíněné aplikace, která by byla přijatelná v prostředí ÚCL, pomocí např. platformy Google Apps Script³. Pro účely této práce byl však systém realizován pouze v podobě skriptu uvedeném v Příloze 1. Při výsledné implementaci by bylo možné přidat do nové verze systému prvek, který by kontroloval dodržování podmínek na provádění kontrol ACAM, které jsou uvedeny ve směrnici *ÚCL-ST-100-10/08*.

³ Informace o této platformě dostupné na: <https://developers.google.com/apps-script/overview>



5 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá systémem vyhodnocení rizikivosti letadel na Oddělení dopravních letadel ÚCL. V práci došlo k analýze současného stavu systému, přičemž byly identifikovány jeho limitace. Poté byla provedena analýza datových zdrojů pro systém a kvantitativní analýza dat a následně byly výsledky těchto analýz použity jako podklady pro vytvoření nové verze systému. Nová verze byla v této práci popsána pomocí blokového schématu a vývojového diagramu a poté kompletně realizována pomocí skriptu v programovacím jazyce MATLAB. Následně bylo ověřeno, že nová verze je přesnější a objektivnější oproti současné verzi. Cíl této diplomové práce byl tedy splněn.

Návrh nové podoby systému vyhodnocení rizikivosti letadel je hlavním přínosem této práce. V diskusi výsledků byly zmíněny jeho přednosti i limitace. Přestože se v nové verzi systému stále vyskytují problémy identifikované už u verze současné, lze konstatovat, že zavedení nové verze má potenciál přispět ke zkvalitnění procesu výběru letadel pro provedení náhodných kontrol ACAM. Alternativně je možné zavést pouze některé úpravy, které tato práce navrhuje (např. pouze úpravu způsobu výběru letadel z matice rizik), čímž by bylo možné také dosáhnout částečného zvýšení přesnosti a objektivity.

Identifikované limitace navrhované verze (nedostatek kritérií, vyšší časová náročnost práce se systémem, omezené možnosti implementace systému) mohou sloužit jako motivace pro další práci na zlepšování systému vyhodnocení rizikivosti. Jedním z možných kroků je modifikace kritérií, která hodnotí organizace CAMO. V případě automatizovaného sdílení dat mezi Oddělením údržby a Oddělením dopravních letadel ÚCL by mohlo dojít k identifikaci dalších kritérií, která by mohla být založena na číselných datech, což by dále zvýšilo objektivitu systému. Nově navrhovaný systém je také možné propojit s dalšími požadavky na plánování kontrol ACAM, které jsou obsaženy v interní směrnici ÚCL.

Vedle vytvořené nové verze systému mohou být i výsledky kvantitativní analýzy dat považovány za samostatný výstup z práce, který by mohl být podkladem pro další výzkum. Jako účelné se zdá pokračovat v průzkumu závislostí mezi vybranými parametry letadel a četnostmi negativních jevů na letadlech. V případě vyššího rozsahu hodnot veličin popisujících negativní jevy by bylo možné dosáhnout přesvědčivějších výsledků než v této práci.

Zvláštní pozornost si zaslouží jev, při kterém letadla s průměrnou mírou využití dosahují nejvyšší četnosti negativních jevů. Pokud by tento jev byl identifikován na datech za další časová období, mělo by být vynaloženo úsilí tento jev uspokojivě vysvětlit z hlediska



spolehlivosti letadel. Dlouhodobé výzkumy zmíněných závislostí by obecně mohly vést k vytvoření pevných pravidel pro vyhodnocování určitých parametrů letadel, což by mohlo přispět ke standardizaci systémů vyhodnocení rizikivosti letadel pro další dozorové orgány.

Diplomová práce tak poskytuje přesnější a objektivnější verzi systému pro vyhodnocení rizikivosti letadel, vytvořenou pro Oddělení dopravních letadel ÚCL, a zároveň může být chápána jako podklad pro obecný výzkum rizikivosti letadel.



Seznam použité literatury

- [1] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Letecký předpis L 8: Letová způsobilost letadel. In: . 2022, s. 260. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-8/index.htm>. [cit. 2023-02-15].
- [2] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Pokračující letová způsobilost*. Online. Dostupné z: <https://www.caa.cz/letadlova-technika/pokracujici-letova-zpusobilost/>. [cit. 2024-02-15].
- [3] KOMISE EU. Nařízení Komise (EU) č. 748/2012. In: . 2023, s. 249. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02012R0748-20230825> [cit. 2023-02-15].
- [4] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Doklady letové způsobilosti (vydané pro transferovaná letadla)*. Online. Dostupné z: <https://www.caa.cz/letadlova-technika/pokracujici-letova-zpusobilost/doklady-letove-zpusobilosti-vydane-pro-transferovana-letadla/>. [cit. 2024-02-15].
- [5] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Emergency PZZ a důležité dokumenty k zachování letové způsobilosti letadel pro letadla zapsaná v Leteckém rejstříku ČR*. Online. Dostupné z: <https://www.caa.cz/letadlova-technika/emergency-pzz-a-dulezite-dokumenty-k-zachovani-letove-zpusobilosti-letadel-pro-letadla-zapsana-v-leteckem-rejstriku-cr/>. [cit. 2024-02-15].
- [6] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Programy údržby pro transferovaná letadla*. Online. Dostupné z: <https://www.caa.cz/letadlova-technika/pokracujici-letova-zpusobilost/program-udrzby-pro-transferovana-letadla/>. [cit. 2024-02-15].
- [7] KOMISE EU. Nařízení Komise (EU) č. 1321/2014. In: . 2023, s. 395. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014R1321-20230825>. [cit. 2023-02-15].
- [8] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Směrnice: CAA-SLP-044-n-14. In: . 2018, s. 16. Dostupné z: https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2019/07/CAA-SLP-044-n-14_Zm2.pdf. [cit. 2023-02-15].
- [9] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Letecký předpis L 6: Provoz letadel. In: . 2022, s. 152. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6i/index.htm>. [cit. 2023-02-15].



- [10] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Sledování zachování letové způsobilosti letadel*. Online. Dostupné z: <https://www.caa.cz/letadlova-technika/pokracujici-letova-zpusobilost/sledovani-zachovani-letove-zpusobilosti-letadel/>. [cit. 2024-02-15].
- [11] European Union Aviation Safety Agency. Easy Access Rules for Continuing Airworthiness (Regulation (EU) No 1321/2014). European Union Aviation Safety Agency, 2022.
- [12] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *ÚCL-ST-100-10/08: Postupy sledování zachování letové způsobilosti letadel v provozu*. Praha, 2009.
- [13] EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. *EASA Ramp Inspection Manual (RIM)*. 3.0. Dostupné také z: <https://www.easa.europa.eu/en/ramp-inspection-manual-rim-issue-30>.
- [14] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *Doc 9859: Safety Management Manual*. 4. 2018. ISBN 978-92-9258-552-5.
- [15] HOUDEK, Adam. *Sběr a analýza dat pro sledování letové způsobilosti složitých letadel*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2022.
- [16] LIPTÁKOVÁ, Martina. *Sběr a analýza dat v sledování letové způsobilosti jiných než složitých letadel*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2021.
- [17] LIPTÁKOVÁ, Martina. *Sledování letové způsobilosti jiných než složitých letadel s pomocí modelu STAMP*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2023.
- [18] LEVESON, Nancy G. a THOMAS, John P. *STPA handbook*. 2018. Dostupné také z: https://psas.scripts.mit.edu/home/get_file.php?name=STPA_handbook.pdf.
- [19] JAYAKODY-ARACHCHIGE, Dhanapala. *Bayesian Model for Strategic Level Risk Assessment in Continuing Airworthiness of Air Transport*. Disertační práce. Cranfield University, 2011.
- [20] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 4. vyd. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). Praha: Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-345-5.



- [21] LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Úvod do statistiky*. Ostrava, 2011. Dostupné také z:
https://bme-data.vsb.cz/download/DXDqaG--FJhZJ2xT_n3J_aC6QeG3v4cHpmHG0KJMPuo-Pf4X9xs9c8werFX2OPh-t5NEWIxOsTgfsqhw52uAxFNcz2RhDTIAwDqcRrMICaRkUTiQEHqxIRNyUolsqH-hvJP9AkopS0p4eQblqmltG6ar4AQunX-VsRyDqD08ifm07r2WoUa0yR_5HnOLtT2DHoTv614gymEyxwn9Sq42BShAKhoBIQGJXI_GWYeayXdT400L0jmhxteAgztAsasqu4R7Y_lg=.
- [22] NAGY, Ivan a PECHERKOVÁ, Pavla. *Statistika*. Praha. Dostupné také z:
<http://staff.utia.cas.cz/uglickich/pdfka/Statistika.pdf>.
- [23] MATHWORKS. *Anderson-Darling test*. Online. Dostupné z:
<https://www.mathworks.com/help/stats/adtest.html>. [cit. 2024-02-15].



Příloha 1: Implementace nové verze systému (skript)

```
% % Načtení dat o letadlech a organizacích
T=readtable("import.xlsx");
% Sloupce dat v tabulce T: 1-Registrace, 2-Provozovatel, 3-CAMO, 4-Počet
% osob na palubě 5-MTOM 6-Druh provozu, 7-Datum poslední kontroly ACAM,
% 8-Rok výroby, 9-Počet technických událostí, 10-Počet nálezů z kontroly
% ACAM, 11-Stav AMP, 12-Stav MEL, 13-Stav další dokumentace, 14-Spolupráce
% % Analýza letadel
T.CAMOID=NaN([height(T),1]);
T.Z1=NaN([height(T),1]);
T.Z2=NaN([height(T),1]);
T.Z3=NaN([height(T),1]);
T.P1=NaN([height(T),1]);
T.P2=NaN([height(T),1]);
T.P3=NaN([height(T),1]);
T.P4=NaN([height(T),1]);
T.Zavaznost=NaN([height(T),1]);
T.Pravdepodobnost=NaN([height(T),1]);
T.Skore=NaN([height(T),1]);
organizace=unique(T.CAMO);
% Překódování názvů organizací CAMO na číselné hodnoty
for m1=1:height(organizace)
    for m2=1:height(T)
        if strcmp(organizace{m1},T{m2,"CAMO"})==1
            T(m2,"CAMOID")=table(m1);
        end
    end
end
% Referenční datum
datum=datetime("today");
% Korelační koeficient pro parametry Počet osob na palubě a MTOM
cmin=0; % Dolní mez koeficientu síly pro kritérium MTOM (zadáváno uživatelem)
cmax=1; % Horní mez koeficientu síly pro kritérium MTOM (zadáváno uživatelem)
[h1,p1]=jbtest(T.PocetOsob);
[h2,p2]=jbtest(T.MTOM);
h=h1+h2;
if h==0
    C=corr(T.PocetOsob,T.MTOM,"Type","Pearson");
else
    C=corr(T.PocetOsob,T.MTOM,"Type","Spearman");
end
% Nastavitelné parametry kritérií (Sloupce: 1-Dolní mez indexu, 2-Horní mez
% indexu, 3-Síla kritéria)
Z(1,:)= [1,4,1]; % Počet osob na palubě
Z(2,:)= [1,4,(cmax-cmin)*(1-C)+cmin]; % MTOM
Z(3,:)= [NaN,NaN,1]; % Druh provozu
P(1,:)= [0,5,2]; % Datum poslední kontroly ACAM
P(2,:)= [1,4,1]; % Rok výroby
P(3,:)= [1,4,1]; % Počet technických událostí
P(4,:)= [1,4,1]; % Počet nálezů z kontroly ACAM
O(1,:)= [NaN,NaN,1]; % Stav AMP
O(2,:)= [NaN,NaN,1]; % Stav MEL
O(3,:)= [NaN,NaN,1]; % Stav další dokumentace
O(4,:)= [NaN,NaN,1]; % Spolupráce
% Výpočet indexů kritérií
```



```

for i=1:height(T)
    T(i,"Z1")=table(((Z(1,2)-Z(1,1))/(max(T.PocetOsob)-min(T.PocetOsob)))...
        *(table2array(T(i,"PocetOsob"))-min(T.PocetOsob))+Z(1,1));
    T(i,"Z2")=table(((Z(2,2)-Z(2,1))/(max(T.MTOM)-min(T.MTOM)))...
        *(table2array(T(i,"MTOM"))-min(T.MTOM))+Z(2,1));
    if strcmp(T{i,"DruhProvozu"},"NCC")==1
        T(i,"Z3")=table(1);
    elseif strcmp(T{i,"DruhProvozu"},"SPO")==1
        T(i,"Z3")=table(2);
    elseif strcmp(T{i,"DruhProvozu"},"CAT")==1
        T(i,"Z3")=table(3);
    elseif strcmp(T{i,"DruhProvozu"},"CAT+SPA")==1
        T(i,"Z3")=table(4);
    else
        warndlg('Chyba zadání paramteru Druh provozu');
    end
    d1=between(datetime(T{i,"PosledniACAM"}),datum);
    [d2,d3]=split(d1,{'months','days'});
    d4=30*d2+d3;
    if (0.005/365)*d4^2<P(1,2)
        T(i,"P1")=table((0.005/365)*d4^2);
    else
        T(i,"P1")=table(P(1,2));
    end
    T(i,"P2")=table(((P(2,1)-P(2,2))/(max(T.RokVyroby)-min(T.RokVyroby)))...
        *(table2array(T(i,"RokVyroby"))-max(T.RokVyroby))+P(2,1));
    T(i,"P3")=table(((P(3,2)-P(3,1))/(max(T.TechnickeUd_)-min(T.TechnickeUd_)))...
        *(table2array(T(i,"TechnickeUd_"))-min(T.TechnickeUd_))+P(3,1));
    T(i,"P4")=table(((P(4,2)-P(4,1))/(max(T.NalezyciACAM)-min(T.NalezyciACAM)))...
        *(table2array(T(i,"NalezyciACAM"))-min(T.NalezyciACAM))+P(4,1));
    T(i,"Zavaznost")=table(sum([T{i,"Z1"}*Z(1,3),T{i,"Z2"}*Z(2,3),T{i,"Z3"}*Z(3,3)]));
    T(i,"Pravdepodobnost")=table(sum([T{i,"P1"}*P(1,3),T{i,"P2"}*P(2,3),T{i,"P3"}*...
        *P(3,3),T{i,"P4"}*P(4,3)]));
    T(i,"Skore")=table(sqrt(T{i,"Pravdepodobnost"}^2+T{i,"Zavaznost"}^2)); % Skóre letadla
end
%% Analýza organizací
CAMO(:,1)=unique(T.CAMOID);
organizace2=[];
flotila=[];
for j1=1:size(CAMO,1)
    Tz=[];
    pocitadlo=0;
    for j2=1:height(T)
        if T{j2,"CAMOID"}==CAMO(j1,1)
            Tz=[Tz;T(j2,:)];
            pocitadlo=pocitadlo+1;
        end
    end
    organizace2=[organizace2;(mean(Tz.StavAMP)*O(1,3))+(mean(Tz.StavMEL)...
        *O(2,3))+(mean(Tz.StavDok)*O(3,3))+(mean(Tz.Spoluprace)*O(4,3))];
    flotila=[flotila;pocitadlo];
end
CAMO(:,2)=flotila; % Počet letadel řízených danou CAMO organizací
CAMO(:,3)=organizace2; % Skóre organizace
%% Rozdělení kontrol pro organizace
CAMO=sortrows(CAMO,3,"descend");
CAMO(:,4)=zeros([height(CAMO),1]);

```



```
NumCheck=17; % Cílový počet kontrol (zadáno uživatelem)
NumOrg=9; % Cílový počet kontrolovaných organizací (zadáno uživatelem)
k1=0;
k2=0;
for i=1:NumCheck
    for j=1:NumOrg-k1
        if CAMO(j,4)<CAMO(j,2) & k2<NumCheck
            CAMO(j,4)=CAMO(j,4)+1;
            k2=k2+1;
        end
    end
    k1=k1+1;
end
if k2<NumCheck
    display("Nebyl dodržen počet kontrol, nutno doplnit ručně")
end
%% Rozdělení kontrol pro letadla
seznam=[];
for l1=1:1:size(CAMO,1)
    Ty=T(T{:, "CAMOID"}==CAMO(l1,1), :);
    Ty=sortrows(Ty,25, "descend");
    for l2=1:height(Ty)
        Ty{l2, "Poradi"}=l2;
    end
    for l3=1:height(Ty)
        if Ty{l3, "Poradi"}<=CAMO(l1,4)
            seznam=[seznam;Ty{l3, "Registrace"}]; % Seznam letadel ke kontrole
        else
            end
    end
    clear Ty
end
```