



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Zvyšování efektivity letecké údržby se zaměřením na posloupnost
prací**

**Increasing the efficiency of aviation maintenance with a focus
on the sequence of work**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích 2 (B3710)

Studijní obor: Technologie údržby letadel (3708R033)

Vedoucí práce: Ing. Martin Kála

doc. Ing. Andrej Lališ, Ph.D.

Tomáš Hejna

Praha 2023



K621.....Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Tomáš Hejna

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Zvyšování efektivity letecké údržby se zaměřením
na posloupnost prací**

Název tématu (anglicky): Efficiency Improvement of Aircraft Maintenance Focused
on Task Sequencing

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout metodický postup pro stanovování posloupnosti prací v těžké údržbě pro maximalizaci její efektivity.
- Analyzujte procesy plánování a provádění těžké údržby.
- Analyzujte možnosti pro stanovení priorit jednotlivých úkonů.
- Stanovte sekvenci údržby na vybraném letadlovém systému.
- Vytvořte metodický postup pro stanovování posloupnosti prací v těžké údržbě.
- Vyhodnoťte a ověřte navržené řešení.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Doc Palmer, Richard. Maintenance Planning and Scheduling Handbook. Second Edition, The McGraw-Hill Companies, 2006.
U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Aviation Maintenance Technician Handbook - General, 2018

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Kála**
doc. Ing. Andrej Lališ, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **7. srpna 2023**
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 bakalářské práce.

Tomáš Hejna
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 1. prosince 2022



Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce „Zvyšování efektivity letecké údržby se zaměřením na posloupnost prací“ je analýza plánování údržby letadel na úrovni lehké a těžké údržby. Cílem práce je navrhnout vhodný a inovativní postup plánování údržby letadel, který je možné aplikovat jako softwarový program a na základě rozhovorů se zaměstnanci na různých úrovních identifikovat současné problémy a pomocí návazného postupu je eliminovat. Výsledkem celé práce je zjednodušení plánování a možnost použití jednoho postupu pro veškeré práce na všech typech letadel, které podléhají programům údržby. Výsledný návrh odpovídá požadavkům mezinárodních organizací pro letectví jako je ICAO, FAA a EASA, což umožňuje závěr práce uplatnit celosvětově. Tento postup má za následek redukcí nákladů na počet pracovníků plánování údržby, zvýšení efektivity práce oddělení plánování údržby, lepší koordinaci a spolupráci pracovníků oddělení plánování a pracovníků údržby. V neposlední řadě práce přináší nový pohled na celý proces plánování údržby.

Klíčová slova:

Plánování, posloupnost, priorita, údržba letadel, zvyšování efektivity



Abstract:

The subject of this bachelor thesis "Increasing the efficiency of aviation maintenance with a focus on the sequence of work" is analysis of aircraft maintenance planning at the level of operational (line) and thorough (based) maintenance. The aim of the thesis is to propose a suitable and innovative aircraft maintenance planning procedure applicable as a software programme, and, based on interviews with employees at diverse levels, to identify current problems and eliminate them through a follow-up procedure. The work proposes a planning process simplification, and a possibility to use a single procedure to plan all work on all types of aircraft that are subject to maintenance programs. The resulting proposal meets the requirements of international aviation organizations, such as ICAO, FAA or EASA, which allows the conclusions of the work to be applied globally. This process results in a reduction of the number of maintenance planning staff, increased efficiency of the maintenance planning department, and improved coordination and cooperation between planin and maintenance staff. Finally, the thesis provides a new perspective on the whole maintenance planning process.

Keywords:

Planning, sequencing, priority, aircraft maintenance, efficiency improvement



Poděkování

Rád bych zde poděkoval všem, kteří mi poskytli morální, psychickou a odbornou pomoc při zpracování této práce. Zvláště pak bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Andreji Lališovi, Ph.D. a panu Ing. Martinu Kálovi za odborné vedení, konzultace a rady, které mi byly poskytnuty a za materiály ke zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Czech Airlines Technics a.s. za to, že tato práce mohla vzniknout. Je nezbytné, abych zde poděkoval svým rodičům a mým blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Zvyšování efektivity letecké údržby se zaměřením na posloupnost prací“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské 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).

Praze dne 6.8.2023

Podpis



Obsah

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam symbolů a zkratk

Úvod	1
1. Analýza současného stavu	2
1.1 Dělení údržby letadel	3
1.2 Rozdělení pracovních skupin mechaniků	4
1.3 Systémy letadla.....	5
1.4 Postupy a programy údržby letadel	7
1.5 Úkolové karty	8
2. Analýza procesu plánování a provádění těžké údržby	11
2.1 Připravená sada otázek pro zaměstnance údržby a plánování.....	12
2.2 Vyhodnocení připravené sady otázek.....	13
3. Analýza možnosti stanovení priorit jednotlivých úkonů	16
3.1 Vyhodnocení parametrů pro řešení prioritizace úkonů	18
3.2 Systém určování priorit.....	18
3.3 Popis navrhovaného systému údržby.....	19
3.4 Popis určení vnějších priorit	20
3.4.1 Vyobrazení systému určení vnějších priorit	23
3.5 Popis určení vnitřních priorit.....	25
3.5.1 Určení hodnoty vnitřní priority (y)	28
3.5.2 Univerzální sada otázek	29
3.5.3 Určení bodového rozsahu	40
3.6 Celkové schéma systému	42
3.7 Určení konečné posloupnosti	43
3.7.1 Matematické vyjádření konečné hodnoty jedné TC	45
3.7.2 Určení času z hodnoty jedné TC	47



3.8 Určení konečné posloupnosti	49
4. Stanovení sekvence údržby na vybraném letadlovém systému	50
4.1 Základní popis vybraného letadlového celku	50
4.2 Rozbor aktuální sekvence údržby	50
4.3 Osobní zkušenosti s daným letadlovým systémem	52
4.4. Rozbor údržby z dat	52
5. Vytvoření metodického postupu pro stanovování posloupnosti prací v HM	59
5.1 Ověření počtu operací	59
6. Vyhodnocení a validace navrženého řešení	61
6.1 Vyhodnocení teoretické části	61
6.2 Vyhodnocení praktické části	62
6.3 Validace výsledků	63
6.4 Porovnání výsledků validace	66
6.5 Opatření při aplikaci navrženého řešení	68
Závěr	70
Seznam použité literatury:	72
Seznam příloh	76



Seznam obrázků

Obrázek 1: Určení vnějších podmínek.....	23
Obrázek 2: Určení vnějších podmínek.....	24
Obrázek 3: Rozdělení vnějších priorit pro týmy	24
Obrázek 4: Rozdělení pro skupiny a následné rozdělení vnějších priorit	25
Obrázek 5: Schéma zavedení vnitřní priority	26
Obrázek 6: Názorné schéma určení vnitřních podmínek	28
Obrázek 7: Příklad bodového určení vnitřní priority	29
Obrázek 8: Schéma navrženého řešení bodového rozsahu	41
Obrázek 9: Zjednodušené schéma navrženého systému	42
Obrázek 10: Zobrazení navrženého schématu s rozdělením pro týmy	43
Obrázek 11: Určení posloupnosti TC.....	44
Obrázek 12: Diagram zobrazení větve vyhodnocení posloupnosti z vnitřní priority.....	46
Obrázek 13: Určení, jaký den se bude karta provádět	49
Obrázek 14: Zjednodušená sekvence údržby	51
Obrázek 15: Celkové konečné schéma systému	60



Seznam tabulek

Tabulka 0 – Nejdůležitější parametry stanovené z rozhovorů se zaměstnanci.....	18
Tabulka 1 – Rozdělení vnějších priorit dle konfigurace letadlových systémů.....	21
Tabulka 2 – Obálka 1: TC dle kódu úkolových karet.....	30
Tabulka 3 – Obálka 2: Obecné otázky.....	32
Tabulka 4 – Obálka 3: „Nálezy“.....	33
Tabulka 5 – Obálka 4: „Podmínky práce“.....	35
Tabulka 6 – Obálka 5: „Elektrický systém“.....	36
Tabulka 7 – Obálka 6: „Hydraulický systém“.....	37
Tabulka 8 – Obálka 7: „Palivový systém“.....	38
Tabulka 9 – Obálka 8: „Pneumatický systém“.....	39
Tabulka 10 – Obálka 9: „Olejový systém“.....	39
Tabulka 11 – Seznam vyhodnocovaných TC pro letadlový systém ENG.....	53
Tabulka 12 – Možné vyhodnocení priorit TC pro ATA: 71-78.....	54
Tabulka 13 – Sekvence údržby plynoucí z Tabulky 12.....	55
Tabulka 14 – Vyhodnocení priorit TC pro ATA 21.....	56
Tabulka 15 – Vyhodnocení priorit TC pro ATA 28.....	57
Tabulka 16 – Vyhodnocení priorit TC pro ATA 32.....	58
Tabulka 17 – Příklad validace ATA 21 podle dne provedení TC.....	64
Tabulka 18 – Shoda jednotlivých ATA u jednotlivých revizí.....	65
Tabulka 19 – Celková shoda u všech jednotlivých revizí.....	65
Tabulka 20 – Srovnání reálného a predikovaného času.....	66



Tabulka 21 – Procentuální míra difference posloupnosti TC s neplatnými daty	67
Tabulka 22 – Celková míra difference TC bez neplatných dat.....	67
Tabulka 23 – Míra difference a celková míra difference srovnaná podle času reálné a predikované revize.....	68



Seznam symbolů a zkratek

A/C	Střídavý elektrický proud (Alternating Current)
ADM	Převodník mechanického vstupu na digitální výstup (Air Data Modul)
AGB	Skříň náhonů (Accessory Gearbox)
AMM	Manuál pro údržbu letadla (Aircraft Maintenance Manual)
APU	Záložní nebo palubní energetická jednotka (Auxiliary Power Unit or Airborne Power Unit)
ASM	Schematický manuál letadla (Aircraft Schematic Manual)
ATA 100	Norma pro organizaci technických dat, spravovaná organizací IATA
AVIO	Pracovník na systému elektrického nebo elektronického vybavení letadla (Avionic)
CAA	Úřad civilního letectví (Civil Aviation Authority)
C/B	Pojistka v elektrickém obvodu (Circuit Breaker)
CSAT	Czech Airlines Technics
CSD	Jednotka pro výrobu elektrické energie za konstantních otáček. Současnosti v dokumentaci používá IDG (Constant Speed Drive)
D/C	Stejnoseměrný elektrický proud (Direct Current)
DVI	Zaměření úkolové karty na detailní prohlídku (Detailed Visual Inspection)
EASA	Evropská organizace pro bezpečnost v civilním letectví (European Aviation Safety Agency)
ECR	Pravidla pro snadný přístup (Easy Access Rules)
ECU	Řídicí jednotka systému FADEC (Electronic Control Unit)
EEC	Řídicí jednotka systému FADEC (Electronic Engine Control)
ELT	Vysílač polohy v nouzovém stavu (Emergency Locator Transmitter)
ENG	Pracovník na systému motoru nebo systém motoru (Engine)
EXT	Pracovník na systému nebo systém vnějších částí letadla (Exterior)
FAA	Federální úřad pro civilní letectví ve Spojených státech amerických (Federal Aviation Administration)
FADEC	Plně automatický systém řízení motoru (Full Authority Digital Engine Control)
FOD	Poškození cizím předmětem (Foreign Object Damage)
GPU	Pozemní energetická jednotka (Ground Power Unit)
GVI	Zaměření úkolové karty na obecnou prohlídku (General Visual Inspection)
HM	Těžká, hangárová údržba (Heavy Maintenance)
HMU	Jednotka hydromechanického řízení motoru (Hydro Mechanical Unit)
HMV	Program prohlídek těžké údržby (Heavy Maintenance Visit)



HPTTACC	Systém dvouproudového motoru pro řízení vzdálenosti lopatek vysokotlaké turbíny od vysokotlaké skříně turbíny (High Pressure Turbine Active Clearance Control)
IATA	Mezinárodní organizace letecké dopravy (International Air Transport Association)
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví (International Civil Aviation Organization)
IDG	Jednotka vyrábějící elektrickou energii za konstancích otáček (Integrated Drive Generator)
IFE	Palubní systém zábavy cestujících (In-Flight Entertainment)
INT	Pracovník na systému nebo systém vnitřního vybavení (Interior)
IPC	Katalog součástí a sestav letadla (Illustrated Assemblies and Parts Catalog)
LG	Pracovník na systému nebo systém podvozku (Landing Gear)
LMV	Program prohlídek lehké údržby (Light Maintenance Visit)
LPTTACC	Systém dvouproudového motoru pro řízení vzdálenosti lopatek nízkotlaké turbíny od nízkotlaké skříně turbíny (Low Pressure Turbine Active Clearance Control)
<i>Mod</i> (\hat{x})	Modus (určení nejvyšší četnosti)
MRO	Údržbová organizace (Maintenance Repair and Operations)
MSG	Řídící skupina údržby (Maintenance Steering Group)
N1	Nízkotlaká hřídel (Low Pressure Shaft)
N2	Vysokotlaká hřídel (High Pressure Shaft)
ND	Navigační displej (Navigation Display)
PFD	Primární letový displej (Primary Flight Display)
PFR	Záznam o proběhlém letu (Post Flight Report)
P/N	Číslo daného dílu, materiálu, které identifikuje design (Part Number)
PUDLEC	Průběžná údržba letadlových celků
PUOLEC	Průletová údržba letadlových celků
QRE	Rychlá výměna motoru (Quick Replacement Engine)
RPL	Zaměření úkolové karty na výměnu zařízení (Replacement)
SB	Dokument vydaný výrobcem, který informuje o změně (Service Bulletin)
SDI	Zaměření úkolové karty na speciální prohlídku (Special Detailed Inspection)
SDM	Výkresový schematický manuál (Schematic Diagram Manual)
S/N	Jedinečné číslo, které je danému dílu přiřazeno při výrobě (Serial Number)
SVC	Zaměření úkolové karty na servis zařízení (Servicing)



TBS	Odstranění problému nebo nálezu (Troubleshooting Procedure)
TBV	Přepouštěcí ventil (Transfer Bleed Valve)
TC	Úkolová karta (Task Card)
TM	Výcvikový manuál (Training Manual)
T/R	Obraceč tahu (Thrust Reverser)
VBV	Odpouštěcí ventil na nízkotlakém kompresoru (Variable Bleed Valve)
VSV	Ventil pro změnu nastavení statorových lopatek vysokotlakého kompresoru (Variable Stator Valve)
WDM	Výkresový manuál elektroinstalace (Wiring Diagram Manual)
WO	Pracovní příkaz, který je generován na základě nálezu při plnění TC (Work Order)
WX radar	Palubní meteorologický radar (Weather Radar)
ZUDLEC	Základní údržba letadlových celků



Úvod

Tématem a zároveň cílem této práce je zvýšení efektivity letecké údržby se zaměřením na posloupnost údržbových operací, což znamená vytvoření metodického postupu pro stanovení posloupnosti úkolových karet (tzv. TC), který by zjednodušoval plánování a provádění údržby.

Důvodem ke vzniku této práce je stanovení posloupnosti (prioritizace) jednotlivých úkolových karet, které se zakládá na odbornosti a zkušenosti vedoucích skupin údržby. Tento postup je dlouhodobě zavedený, ale přináší i řadu nevýhod, mezi které patří ne zcela efektivní řazení prováděných prací, limitovaná predikce následujících prací a možných nálezů (zejména pro plánování údržby letadel v těžké hangárové údržbě). Z toho plyne omezená možnost efektivního objednávání náhradních dílů, vysoké prodlevové časy i zvýšené náklady na údržbu.

Dalším důvodem je můj osobní zájem o problematiku, protože z mé osobní zkušenosti je určení prioritizace TC problémové a mnohdy zavádějící.

A právě z výše uvedených důvodů si tato práce dává za cíl navrhnout nový postup řešení prioritizace úkolových karet v údržbě letadel.

Práce předkládá nový návrh řešení prioritizace, který stojí na myšlence, že je možné určit posloupnost TC vyjádřením jejich jednotlivých priorit. Z toho plyne, že je možné provést posloupnost všech TC založenou na stavu letadla a obsahu TC samotné.



1. Analýza současného stavu

Letectví podléhá přísným zákonným požadavkům. Tyto požadavky jsou též kladeny na údržbuⁱ letecké techniky. Na každém letadle musí být provedena údržba schválenou údržbovou organizacíⁱⁱ a samotnou údržbu provádí odborní zaměstnanci této firmy.

Údržba letadlových celků je stanovena Nařízením Komise (EU) 1321 z roku 2014 [1], ve zjednodušené verzi pod ECR „Easy Access Rules“ EASA 1321/2014 [2]. V tomto nařízení jsou stanoveny požadavky kladené na organizace provádějící údržbu, techniky a rozdělení údržby jako takové.

Údržba letadlových celků se skládá z úkolů, které byly stanoveny procesem vývoje údržbyⁱⁱⁱ, tyto úkoly jsou logicky seskupeny do dvou celků.

1) Úkoly s podobnými časovými intervaly jsou seskupovány do „maintenance packages“, kde každý údržbový soubor má vlastní časový interval.

2) Pro velká letadla, využívaná pro komerční účely, jsou tyto intervaly od tzv. „daily checks“ (denních kontrol^{iv}) až po rozsáhlou údržbu na technické základně.

Nařízením 1321/2014 v dodatku AMC „Acceptable Means of Compliance“ 145.A.10 je stanoveno rozdělení lehké a těžké údržby [2]. V tomto nařízení ovšem nejsou přesně definovány úkony, které spadají do těžké a lehké údržby. Proto byl zaveden abecední systém provádění údržby. V dnešní době je tento systém sice stále využíván, ale je nahrazován tzv. hodinovým systémem. Tento hodinový systém stanovuje, jak rozsáhlá prohlídka (údržba) má být provedena v rozmezí daných letových hodin. Abecední systém a systém hodinový jsou často kompatibilní nebo zaměnitelné.

ⁱ Údržba: Technický proces, který má zajistit provozuschopnost daného systému.

ⁱⁱ Údržbová organizace: Organizace, která zaměstnává techniky údržby letadel, kteří splňují požadavky na ně kladené leteckým úřadem.

ⁱⁱⁱ Výsledkem tohoto procesu jsou Task Cards (úkolové karty).

^{iv} Daily Check: Údržba provádějí se denně.



Např. je stanoveno, že prohlídka má být provedena po 10 letových hodinách. V této prohlídce se mají zkontrolovat základní funkční prvky. V abecedním systému je stanoveno totéž, ovšem nenazývá se „10 hodinová“ kontrola, ale např. kontrola typu A (A - Check).

Pod dohledem EASA připravuje každý provozovatel program nepřetržité údržby zachování letové způsobilosti (CAMP) podle svých provozních specifikací.

1.1 Dělení údržby letadel

Lehká údržba

Úkolem lehké údržby je zaručit letuschopnost letounu a jeho následný bezpečný provoz.

Lehká údržba provádí rutinní kontroly, ale má za úkol provádět i nerutinní práce, jako je odstraňování závad, které se vyskytly během letu. K tomuto účelu slouží tzv. traťové prohlídky. Do lehké údržby spadá i výměna motoru tzv. QRE „Quick Replacement Engine“. [4] Do lehké údržby se zařazují i některé prohlídky z těžké údržby, např. prohlídky typu A, B.

Nařízení 1321/2014 v dodatku AMC 145.A.10 říká, že všechno, co není zahrnuto do lehké údržby, je údržbou těžkou. [2]

Těžká údržba

Těžká údržba se skládá celkem ze čtyř prohlídek, které jsou seřazeny od časově a výkonově nejméně náročné po nejvíce náročnou. Tyto prohlídky se nazývají „Checks“^v. Při každé kontrole se letoun více kontroluje až do té míry, kdy u posledního typu údržby je z letounu odstraněno a zkontrolováno takřka vše, co se dá demontovat (bez poškození primární nebo sekundární konstrukce) až na úplnou kontrolu konstrukce (drak). Cílem je provádět běžnou, ale i nerutinní údržbu letounu. [4]

^v Checks: kontrolovat



Hledají se skryté závady a poškození, které by mohly vést k leteckému incidentu, případně až k letecké nehodě. Při této údržbě se často provádí modernizace a úpravy letounu^{vi} a bývá využita i k výměně motorů.

Typickým příkladem rozdělení údržby je rozdělení podle abecedy: A – check, B – check, C – check, D – check.

Letoun by měl procházet postupně každou z těchto údržeb, v případě nižších typů i několikrát do roka. Často se ovšem stává, že letecké společnosti používají různé kombinace těchto kontrol (např.: A, B, C nebo A, C, D) a úkony obsažené v neprovedených kontrolách se sdružují do jiných kontrol. [3], [4], [5], [6]

Dnes toto rozdělení provádění údržby ustupuje vzhledem k tomu, že je vázáno na pevně daný časový harmonogram. Úkony obsažené v jednotlivých typech údržby jsou více rozložené v čase. Výsledkem je zkrácení doby, kdy z důvodu údržby není letoun v provozu.

1.2 Rozdělení pracovních skupin mechaniků

V letadlové údržbě jsou pracovníci údržby (mechanici) rozděleni do pracovních týmů či skupin dle zaměření a kvalifikace. Základních pracovních skupin je pět a u většiny údržbových organizací jsou ještě další skupiny se specifickým zaměřením, např. na opravy kompozitních částí, opravy draku letounu apod.

Pracovník na systému podvozek	–	L/G (Landing Gear)
Pracovník na systému interiér	–	INT (Interior)
Pracovník na systému exteriér	–	EXT (Exterior)
Pracovník na systému motory	–	ENG (Engines)
Pracovník na systému avioniky	–	AVIO (Avionics)

^{vi} U CSAT využila těžkou údržbu firma FINNAIR k nové zástavbě WIFI do letounu a ke změně konfigurace kabiny cestujících.



Tyto pracovní skupiny jsou součástí tzv. linky (jedné skupiny), která má za optimálních podmínek na starost vždy jen jedno letadlo (to se mění v závislosti na stavu revize a vytíženosti jednotlivých týmů). V této pracovní skupině je cca 30 pracovníků, kteří jsou rozděleni do skupin (viz výše).

Možné rozdělení 30členné skupiny by mohlo být následující: 4 pracovníci pro ENG systém, 4 pracovníci pro L/G systém, 4 pracovníci pro AVIO systém, 9 pracovníků po INT systém a 9 pracovníků pro EXT systém. Počet a rozdělení pracovníků se může lišit v závislosti na typech letounů, které organizace může udržovat a na organizaci samotné.

Aby bylo rozdělení zcela přesné, je zapotřebí si uvědomit, že na celkové revizi se nepodílejí pouze tyto skupiny, ale i skupiny pracovníků zabývající se strukturálním poškozením hliníkových slitin, kompozitových a ocelových částí. Také se pracovníci zabývají opravou disků a kol, údržbou podvozkových noh, potahů sedaček apod. Pro zjednodušení jsem zde tyto skupiny neuváděl.

Tato rozdělení se mohou lišit v každé jedné MRO. Jsou i MRO, které rozdělení do 4 systémových skupin nemají, pracovníci jsou např. každý den přiděleni na jiný systém apod. Pro popis bylo zvoleno toto rozdělení vzhledem k tomu, že je poměrně jednoduché a snadno vysvětlitelné.

1.3 Systémy letadla

Každé letadlo se jako celek dělí do různých systémů^{vii}. Tyto systémy jsou dány jak historicky, tak novými požadavky na ovládání letounu a též přísnějšími nařízeními týkajícími se bezpečnosti civilního leteckého provozu. [7], [8], [9]

Za účelem unifikace leteckých manuálů byl zaveden systém jednotného čísla. To znamená, že každý ze systémů má své vlastní číslo, které mu bylo přiřazeno systémem ATA 100^{viii}.

^{vii} Systém je obecně soustava komponent a přístrojů, které mají nějakou funkci.

^{viii} ATA 100: Norma pro organizaci technických dat (orientaci a kompatibilitu) v příručkách, norma je stanovená organizací ATA – Air Transport Association. Číslování kapitol dle ATA poskytuje společný standard pro odkazování se na všechny typy letecké dokumentace jako např. AMM – Aircraft Maintenance Manual, IPC – Illustrated Parts Catalog,.



Letadlových systémů je v letounu poměrně velké množství, všechny systémy letounu se dále dělí do subsystémů, které ovládají určité části. Např. hydraulický systém se skládá z podsystemu hydraulického řízení letu, ovládání podvozku, ovládání vztlakové mechaniky. U moderních dopravních letounů je dnes trend tyto subsystémy dále dělit na jejich subsystémy^{ix} tak, aby byl zaručen bezpečný provoz i při výpadku nebo poškození jedné jeho části. Z toho vyplývá, že na letounu je systémů a subsystémů velké množství. [7], [8], [9]

Pro krátký a jednoduchý popis byly vybrány pouze čtyři letadlové systémy (hydraulický, palivový, klimatizační/přetlakový a elektrický) s krátkým popisem pohonných jednotek. Tyto systémy budou v této práci použity (viz kapitola 3).

Hydraulický systém patří do systému silových soustav, tj. do systémů, které přenášejí síly od řízení do výkonných prvků. Je to systém uzavřeného typu, to znamená, že kapalina není vypuštěna ze systému, ale zůstává v něm a vrací se zpět do hydraulických nádrží. [10], [11]

Palivový systém dodává palivo do pohonných jednotek. Je to systém otevřený, u moderních proudových motorů plní i funkci silové soustavy. [7], [8], [9]

U dnešních dopravních letadel je **systém přetlaku kabiny** a regulace teploty kabiny velmi často spojován do jednoho celku, který využívá jeden zdroj energie. Toto spojení je logické vzhledem k tomu, že přetlaková energie je získávána z pneumatického systému, tudíž má tento vzduch určitou teplotu a tlak. Je zbytečné do letounu zabudovávat další samostatný systém s podobnou nebo stejnou funkcí. [7], [8], [9]

Elektrický systém zajišťuje dodávku a rozvod elektrické energie do systémů letounu. Systém je po téměř celou dobu údržby zapnut. Vypíná se většinou pouze okruh, na kterém je údržba prováděna, a to pomocí vysunutí C/B. Avionické systémy jsou konečnými odběrateli elektrické energie. Avionické systémy jsou takové systémy letounu, do kterých je možné zahrnout navigaci, komunikaci, monitorování, systém řízení, systémy bezpečnosti letu apod. [7], [8], [9]

Hlavní pohonné jednotky jsou primární energetické jednotky, které letounu dodávají tah. Tah je vytvářen různými způsoby v závislosti na typu hlavní pohonné jednotky. Zpravidla jsou umístěny pod křídly letounu, ovšem mohou být umístěny i na trupu v ocasní části. Letoun má většinou dvě pohonné jednotky, najdou se i letouny, které mají tři a více pohonných

^{ix} Např. největší civilní dopravní letoun na světě A-380 má hydraulický systém členěn tak že celý systém je v podstatě sadou jednotlivých „malých“ systémů které se dají v případě potřeby izolovat od ostatních, tím i v případě poruchy dojde k zanedbatelné ztrátě média, a poměrně malému omezení letových vlastností.



jednotek. Postupy a kontroly údržby jsou na všech pohonných jednotkách stejné. Samotné kontroly se ale mohou lišit v závislosti na cyklech daného motoru^x. [12]

Obecně lze tvrdit, že všechny prohlídky mají za cíl zjistit stav systémů, agregátů nebo letadlových celků a ověřit těsnost soustav, pokud je to vyžadováno. [13]

1.4 Postupy a programy údržby letadel

Historický vývoj postupů:

Postupy údržby se s vývojem letadel upravovaly a zdokonalovaly. V počátcích letectví bylo hlavním cílem programu údržby opravovat konstrukční vady a strukturální poškození konstrukce draku. [14]

Největší změny byly realizovány krátce před začátkem a během 1. sv. války, kdy postupně narůstal počet vyrobených a provozovaných letadel a letounů. Tato situace si sama vynutila, aby vznikly týmy mechaniků pro údržbu, resp. opravy letounů. Vznikaly dokumenty, které měly mechanikovi poskytnout návod na opravu konstrukčních částí a postupy pro běžnou údržbu.

Tyto dokumenty zaznamenaly značný vývoj v meziválečném období, kdy letečtí výrobci začali poskytovat relevantní technickou dokumentaci k údržbě letadel, která obsahovala postupy pro údržbu, výměnu letadlových částí a informace o prohlídkách v čase. Příkladem takového dokumentu je příručka pro letoun DC-3, modelu 229 od firmy Douglas Aircraft Company, Inc. a její údržbový manuál (AMM – „Aircraft Maintenance Manual“). [15] Tato příručka názorně ukazuje konstrukci letounu a výkresovou dokumentaci, která je doplněna fotografickou dokumentací. [15]

Nejvýraznější posun postupů údržby byl zaznamenán s vývojem letounu Boeing B-747, kdy byl navržen program, který řešil problémy konceptem od jednotlivých komponent k celku (tzn. od zdola nahoru). To umožnilo vyhodnotit problémové komponenty případně systémy. [14]

S nástupem počítačové techniky byly manuály převedeny do elektronické podoby. S rozvojem počítačů někteří výrobci vyvíjí programy pro tablety a jiné přenosné počítače, které jsou

^x Jeden letový cyklus je počítán jako jeden start a přistání.



interaktivní s pracovníkem. Takovéto programy mají za cíl zlepšovat efektivitu práce, snížit riziko omylu pracovníka a nedodržení postupů údržby.

Dále jsou vyvíjeny a používány programy pro výcvik mechaniků. Tyto programy byly do nedávné doby založeny na tom, že zkušený pracovník prováděl a vysvětloval na daném typu letounu probranou teoretickou látku svému kolegovi. Dnešní počítačové programy tento proces převádějí do virtuálního prostředí. Výhodou těchto počítačových programů je to, že si pracovník může otestovat různé chování systému a virtuálně nacvičit postupy práce. První typ letounu, na kterém byl zaveden tento systém údržby, byl Boeing B-747 (jak již bylo zmíněno), pro který byl vyvinut systém MSG-1 (Maintenance Steering Group). [14]

Podle Nařízení 1321/2014 části M.A.302 musí údržba každého letadla podléhat programu údržby, který musí být schválen a musí vyhovovat instrukcím, které vydal příslušný úřad a instrukcím pro zachování letové způsobilosti. Pokud je letoun součástí programu založeném na metodě MSG, musí obsahovat také program spolehlivosti. [2]

Program údržby je hlavním dokumentem, podle kterého se řídí údržba letounu. Primárním zdrojem pro vytvoření těchto programů jsou informace od držitele typového osvědčení. [2]

Cílem programu MSG – 3 bylo vytvořit metodiku pro vypracování úkolů a intervalů plánované údržby, které bylo přijato regulačními orgány, provozovatelem a výrobcem. Hlavní myšlenkou programu je rozpoznat spolehlivost leteckých systémů a jejich komponent, omezit zbytečné úkony údržby a dosáhnout vysoké efektivity. [16]

1.5 Úkolové karty

Úkolové karty (dále jen TC), jsou základním dokumentem pro provádění údržby, který vychází z programu údržby konkrétního typu letounu a seznamu závad poskytnutých provozovatelem letounu. [17], [18]

TC vznikly spojením OAMP (Operator Approved Maintenance Program) a AMM. Jsou používány jako jednoduchý prostředek pro provádění údržby, jakož i pro vedení záznamů o vykonané údržbě. Poskytují detailní a stručné procesní pokyny, které organizují a řídí činnosti související s údržbou. Jsou jednoduchým způsobem zajištění přesné posloupnosti provádění úkonů.



TC jsou úzce provázané s metodikou MSG-3 (a vyšší). MSG-3 definuje 9 kategorií úkonů, mezi které patří například mazání (LUB), obecná vizuální prohlídka (GVI), výměna (DIS nebo RPL). Tyto kategorie se využívají jakožto základní určení TC. Pokud je TC zaměřená na prohlídku, resp. nařizuje prohlídku daného systému nebo jeho části či dílu, pak tato TC má za úkol odhalit možné závady. TC kromě provádění různých typů prohlídek může nařizovat servis určité části nebo dílu (typicky doplnění provozních kapalin) nebo výměnu určitého dílu (např. kvůli naplněnému počtu cyklů).

Na základě TC pracovníci údržby generují nálezové zprávy, též nazývané „Work Orders“ – pracovní příkazy (WO), ve kterých je zaznamenán popis závady a ve většině případů zároveň reference na pracovní postup k odstranění této závady. Na základě pracovních příkazů je následně tento nález odstraněn.

TC obsahuje rozbor požadované operace, relevantní údaje a technické výkresy, které jsou nutné pro pochopení a splnění dané úkolové karty. Pokud TC obsahuje test systému, jsou v této TC údaje pro splnění testu i hodnoty, které by měly být splněny. Příklad typické úkolové karty (TC) je uveden Příloze 1.

Problematika určení priorit TC:

Výrobce letounu předepisuje pravidelné prohlídky, kterými má letoun procházet a kritické úkoly údržby, které mají být plněny (ty jsou zahrnuty v TC). Tyto prohlídky a úkoly jsou řešeny pomocí metodiky MSG-3 (a vyšší). Výrobce nepředepisuje jejich posloupnost, resp. prioritu.

To vede k tomu, že každá údržbová organizace má své vlastní systémy pro určování priority TC. U většiny firem je toto určení ponecháno na vedoucích pracovnících týmů mechaniků.

Současná situace je taková, že i když metodika MSG-3 vytváří skupiny TC s podobnými intervaly, čím dál častěji se využívá zkracování určitých intervalů tak, aby některé prohlídky byly zařazeny do programu lehké údržby. To vede k odlehčení těžké údržby a k možnosti opravovat více letounů současně.

Práce se snaží tuto problematiku rozebrat a navrhnout řešení, které by vedlo ke zvýšení efektivity údržby.



Při zpracování rešerše jsem se pokoušel možnosti řešení těchto problémů najít i v literatuře či odborných člancích. Nenašel jsem žádné veřejné dokumenty, knihy, články nebo vědecké práce, které by tuto problematiku popisovaly. Následně jsem se pokusil kontaktovat několik MRO (Maintenance Repair and Operations) s úmyslem s nimi tuto problematiku probrat. Mé pokusy nebyly úspěšné.



2. Analýza procesu plánování a provádění těžké údržby

Jedním z nedostatků současného stavu je komplikovaná predikce postupů údržby a jejich možných komplikací, což má za následek nižší efektivitu plánování údržby.

Dalším významným nedostatkem je různorodost přístupů pracovníků, což z hlediska plánování je nejméně efektivní přístup, který znemožňuje zavést postup jednotný.

V minulosti (přelom 80. a 90. let min. stol.) se ČSA pokoušelo vytvořit systémy pro záznam a provádění údržby. Tyto systémy se jmenovaly ZUDLEC, PUDLEC a PUOLEC. Jejich cílem bylo zvýšit efektivitu práce, nastavit periodické prohlídky a zjednodušit plánování a provádění údržby. Programy se však nerealizovaly.

Jednou z dnes využívaných aplikací pro řízení a plánování údržby je program od firmy IBM Maximo Aviation Documentation, který se zabývá komplexní problematikou plánování údržby včetně problematiky sledování práce na letadle pomocí otevřených TC a pracovních příkazů (Work-Orders).

Tento software však neposkytuje přímou posloupnost TC a je odkázán na záznamové systémy, jako je např. AMOS (případně samostatný software IBM), kde se zapisují informace o otevřených nebo uzavřených TC, případně nálezy z nich vyplývající. Dle mého názoru systém byl a je užitečný a poskytuje potřebné informace. Na druhou stranu, například pro plánování není zcela vhodný, protože není možné jednoznačně predikovat posloupnost prací.

Podobný problém má software EmpowerMX S1000D. [19], [20], [21] Ten převádí veškeré TC (jak rutinní, tak nerutinní) do elektronické podoby, čímž zkracuje dobu údržby, zjednodušuje práci mechaniků a celý systém MRO dělá jednodušším, dostupnějším a přehlednějším. Ale ani tento software neumožňuje prioritizaci TC.

Tyto programy se souhrnně nazývají záznamové systémy údržby. Jsou to softwarové nástroje pro MRO a poskytují přehled o provedených pracích, dílech, odložených závadách apod. Záznamových systémů je na trhu poměrně velké množství, jedním z nejpoužívanějších a nejrozšířenějších v ČR je systém AMOS od společnosti SWISS Aviation Software^{xi}.

^{xi} <https://www.swiss-as.com/>



Tento software poskytuje vysokou integraci záznamových systémů údržby, má snadné použití a rozsáhlé funkce. Je vhodný pro všechny typy údržbových organizací. Umožňuje řídit potřeby údržby, oddělení logistiky a inženýringu a zároveň zajišťuje jejich soulad s komplexními systémy leteckých předpisů. Celé řešení systému AMOS se skládá ze základních modulů, které jsou jádrem systému (např. materiály, inženýring, plánování, údržba/výroba, řízení údržby, údržba komponent, zajištění kvality) a dalších doplňkových modulů (např. lidské zdroje a ekonomika apod.). [22]

Celou práci jsem původně chtěl porovnat s dnes používanými obdobnými systémy. Za tímto účelem jsem kontaktoval několik zahraničních MRO (Air France Group, STS Aviation, Lufthansa Technik). Od žádné z nich jsem neobdržel odpověď. Vycházím ze skutečnosti, že obdobný systém zatím nefunguje a pokud ano, tak je ve fázi vývoje či zkušebního zavedení. To jsem si ověřil z několika zdrojů včetně internetových komunit zabývajících se problematikou údržby i od svých bývalých kolegů, kteří dnes pracují v zahraničí a o žádném podobném systému neslyšeli.

Aby bylo možné analyzovat proces údržby, bylo nutné zjistit aktuální informace o vyskytujících se problémech v plánování a provádění údržby.

Za tímto účelem byla navržena sada otázek, které byly pokládány pracovníkům provádějícím údržbu a pracovníkům oddělení plánování. Tyto otázky byly sestaveny tak, aby co nejlépe zhodnotily aktuální stav a po vyhodnocení odpovědí bylo možné navrhnout optimální řešení postupu údržbových prací.

2.1 Připravená sada otázek pro zaměstnance údržby a plánování

Otázky byly pokládány se záměrem zjistit aktuální stav a názory na postupy určování priorit TC. Na základě odpovědí je navržen postup zvýšení efektivity tak, aby reagoval na stávající problémy prioritizace TC v provádění údržby.

Otázky jsou seřazeny dle jejich důležitosti.



1: Existují nějaké problémy v současném rozhodování o prioritách^{xii} TC?

1.1: Jaké problémy jsou dle vás nejdůležitější?

1.2: Navrhujete nějaké řešení vámi uvedených problémů?

2: Jak dnes rozhodujete o tom, která karta bude prováděna dříve či později?

2.1: Dáváte přednost řešení problémů, které nebyly pokryty v plánované údržbě (jako například odstranění závad, které byly napsány posádkou, případně byly odhaleny PFR (Post Flight Report)) nebo postupujete systémem kontrol dle TC?

3: Je pro vás při rozhodování o prioritě dané karty důležitá vaše osobní zkušenost nebo zavedený postup?

3.1: Proč preferujete právě toto vaše rozhodnutí?

4: Při určování priority TC: domlouváte se s ostatními kolegy z jiných letadlových systémů na společném postupu? Případně synchronizujete svoje postupy?

4.1: Jakým způsobem se domlouváte nebo synchronizujete postup?

5: Můžete popsat typickou posloupnost TC?

6: Zkoušeli jste v minulosti jiné programy pro zlepšení efektivity plánování údržby?

6.1: Pokud ano, používáte je dodnes a proč?

6.2: V čem jsou lepší než do té doby používané programy?

7: Myslíte si, že dnes zavedený systém je správný a neměl by se měnit?

7.1: Proč by se neměl měnit?

2.2 Vyhodnocení připravené sady otázek

Na stanovené otázky odpovídalo 6 vedoucích pracovníků z organizace MRO.

Následující vyhodnocení je subjektivní interpretací odpovědí oslovených pracovníků a jejich představ o tom, jak by jim výsledky této práce mohly pomoci.

^{xii} Priorita: ve smyslu určení důležitosti dané TC



Z rozhovorů, resp. odpovědí na mnou kladené dotazy vyplývá, že prioritizaci TC pracovníci provádějí zejména podle vlastní zkušenosti. Byly zkoušeny programy na zefektivnění, ale tyto programy se velmi rychle ukázaly jako nefunkční, nerepresentovaly realitu. U všech programů se ukázalo, že se nepředpokládalo zdržení údržby kvůli nepředvídatelným nálezům, případně stanovily nevhodnou posloupnost práce.

Pracovníci upřednostňují řešení závad, které vyplývají např. z PFR „Post Flight Report“ a až následně provádění standardních TC.

Největším problémem, který se pracovníkům jeví je to, že mají obecně málo času na přípravu dané revize, zejména tehdy, když je zaváděna nová TC (např. řešení problému se zámky krytů dmychadlové části motoru a reverzů na letounech rodiny Airbus A320FAM). Tato skutečnost je nad rámec této práce a již nebude dále uvažována.

Obecně si pracovníci vybírají dané TC zejména podle jejich zkušeností a velmi často též záleží i na počtu pracovníků, kteří jsou k dispozici. To je v současné době velký problém (v době pandemie Covid-19 bylo cca 20 % zaměstnanců propuštěno). Tato skutečnost je také nad rámec této práce a již nebude dále uvažována.

Pracovníci na pozici provádění údržby si obecně myslí, že by program měl zahrnout:

stáří letounu, letové hodiny, letové cykly, historii letadla (životopis)

Tyto body by dle jejich názoru reagovaly na skutečnost, že mezi provozovateli je velká diference v provádění údržby. Viz jejich citace příkladu z praxe:

„Je rozdíl mezi 20 let starým letounem, který létal pouze u jedné společnosti v Evropě a mezi stejně starým letounem, který létal v Asii a mezi stejně starým letounem, který za dobu své životnosti létal u několika různých společností po celém světě. TC by u prvního letounu pravděpodobně vyšly bez nálezu, případně s málo nálezy a u posledního s více nálezy na jednu a tutéž TC“.

Dále si pracovníci myslí, že by bylo dobré, kdyby program zahrnoval údaje ze systému AMOS a zavedla se i tzv. nálezovost TC. Ta by jim řekla, že jedna konkrétní TC má ve většině případů nálezovost nulovou nebo minimální a v malém počtu případů má nález, kvůli kterému je nutné prodloužit revizi nebo přidat počet pracovníků.



Tato přidaná nálezovost by se ke každé jedné TC musela přiřadit na základě podkladů z údržbového systému AMOS.

Sami pracovníci souhlasí, že by jim to velice pomohlo. Současně ale toto vyhodnocení může být zavádějící proto, že mnoho mechaniků neumí správně zapisovat WO.

Zároveň dle nich je problém v určení toho, kolik času se má na danou TC vykázat. Např. pokud je karta na T/R „Thrust Reversal“, která je na 4 hodiny, pokrývá tato karta samotnou práci nebo jen daný typ prohlídek? To by mohlo vést k mylnému vyhodnocení pracovní náročnosti dané TC.

Zazněl i názor, že by bylo vhodné, kdyby u každé TC bylo uvedeno, zda jsou k dispozici veškeré potřebné přípravy a materiál na její provedení.

Soubor s odpověďmi jednotlivých pracovníků je uveden v Příloze 2.

Limitace:

Práce se nezabývá následujícími tématy: určení TC na strukturální poškození draku letadla a kompatibilitou navrženého řešení se záznamovými softwary. V práci není zohledněna kvantifikace těchto parametrů: stáří letounu, letové hodiny, letové cykly a životopis letounu.

Práce se bude zabývat jen problémem určení posloupnosti TC a zvýšením efektivity údržby tak, aby reagovala na nedostatky dnes používaných softwarových aplikací.



3. Analýza možnosti stanovení priorit jednotlivých úkonů

Analýza poskytuje informaci o tom, jakým způsobem je možné provést určení priorit jednotlivých úkolů a o nejdůležitějších parametrech, které následně budou využity v řešení prioritizace.

Pokud se na analýzu díváme jako na komplexní záležitost, pak se ukazuje, že existuje poměrně velké množství metod od čistě analytických, které jsou založeny na matematických modelech a předpokladech, které se určují statisticky, až po metody založené na určení stavů dle podmínek práce. Tyto metody se dají obecně najít pod anglickým názvem: Decision Making (rozhodování).

Metody systémové analýzy

Jsou založeny na systematickém shromažďování, třídění a členění myšlenek a zpracování všech prvků vztahujících se k problému a následné systematické kombinaci a variaci. Patří sem např. rozhodovací strom, morfologická analýza atd. [23]

Popisná statistická analýza

Popisná statistika je nejjednodušší formou statistické analýzy (používá čísla k popisu vlastností souboru dat). Pomáhá redukovat velké datové sady do jednoduchých a kompaktnějších forem pro snadnou interpretaci. S její pomocí lze shrnout data ze vzorku nebo reprezentovat celý vzorek ve zkoumané populaci dat. Používá nástroje pro vizualizaci dat, jako jsou tabulky a grafy, které usnadňují analýzu a interpretaci. Není však vhodná pro vyvozování závěrů. [24]

Popisná statistika může využívat měřítka centrální tendence, která používá jednu hodnotu k popisu skupiny. Průměr, medián a modus se používají k získání centrální hodnoty pro daný soubor dat. Ke zjištění průměrného zpracování TC je možné například použít popisnou statistiku. [24]

Asociační statistická analýza

Asociační statistika je nástroj, který se používá k předpovědím a hledání příčin. Využívá se k nalezení vztahů mezi více proměnnými a také k vyvozování závěrů a předpovědí o souboru dat z charakteristik jiné sady dat. [24]

Asociační statistika je nejpokročilejším typem statistické analýzy a vyžaduje sofistikované softwarové nástroje pro provádění odpovídajících matematických výpočtů. K měření asociace



výzkumníci používají variační metody s celou škálou variačních koeficientů (měr variability), korelační a regresní analýzu. [24]

Prediktivní analýza

Prediktivní analýza využívá výkonné statistické algoritmy a nástroje strojového učení k předvídání budoucích událostí a chování na základě nových a historických trendů dat. Spoléhá se na širokou škálu pravděpodobnostních technik, jako je dolování dat, velká data, prediktivní modelování, umělá inteligence a simulace pro odhad toho, co se pravděpodobně stane v budoucnu. Prediktivní analýza může vytvářet pouze hypotetické předpovědi a kvalita předpovědí závisí na přesnosti podkladových datových souborů. [24]

Průzkumná analýza

Průzkumná analýza dat je technika, která se používá k identifikaci vzorů a trendů v datovém souboru. Je možné ji také použít k ověření předpokladů, testování hypotéz a nalezení chybějících datových bodů. Díky ní je možné vytvářet přehledy založené na datech a ověřovat data. [24]

Testování hypotéz

Testování hypotéz je účinným prostředkem k posouzení teorií a předpokladů. Nulová hypotéza (označená H_0) je tvrzení o daném problému obecně založeném na historických datech. Test hypotézy začíná předpokladem, že nulová hypotéza je pravdivá a následně se testuje. Druhá hypotéza (označená H_1) představuje alternativu k testované hypotéze (teorii nebo předpokladu) a je opakem nulové hypotézy. Pokud data účinně anulují nulovou hypotézu, pak lze alternativní hypotézu zdůvodnit. [24]



3.1 Vyhodnocení parametrů pro řešení prioritizace úkonů

Nejdůležitější parametry byly stanoveny tak, aby reagovaly na stávající problémy v praxi údržby letadel.

Tabulka 0 - Nejdůležitější parametry stanovené z rozhovorů se zaměstnanci

Nejdůležitější parametry	
1	Preference řešení PFR – TBS
2	Počet pracovníků ve skupině
3	Letové cykly, stáří a historie letounu
4	Procentuální nálezovost

Tabulka 0 ukazuje nejdůležitější parametry, které byly stanoveny z rozhovorů se zaměstnanci.

Pracovníci upřednostňují řešení PFR-TBS před plánovanými kartami. Prioritu určují podle aktuálního počtu pracovníků, kteří jsou k dispozici. Ocenili by, kdyby byly zapracovány údaje o letových cyklech, stáří, historii letounu apod. Tyto údaje by jim pomohly predikovat závady. Též by byli rádi, kdyby k posloupnosti byla přidána procentuální nálezovost, která by pomohla určit pravděpodobnost závažného nálezu. Toto jejich přání bylo zapracováno a vyhodnocováno na základě TC (podkapitola 3.5.2, Tabulka 4), ale jako samostatnou výstupní hodnotu jí nebylo možné určit bez součinnosti se záznamovým systémem (podkapitola 6.5).

3.2 Systém určování priorit

Systém jako celek byl navržen tak, aby byl co možná nejjednodušší a nejefektivnější, tj. aby se dal aplikovat v jakékoliv organizace, aniž by bylo zapotřebí měnit současné softwarové vybavení, a tím minimalizovat náklady na jeho zavedení. Tyto požadavky jsou předem očekávány u takřka všech nově vyvíjených programů.

Pokud je cílem práce vytvořit posloupnost TC, je nutné vytvořit koncept, který takovéto uspořádání umožní. V této práci je využit koncept priorit (je z teorie rozhodování „Decision Making“). Říká, že součet dílčích priorit, které splňují určité okolnosti, je prioritou konečnou.

Z podkapitoly 3.1 je zřejmé, že z uvedených metod nebyla použita žádná metoda rozhodování v plné specifikaci. Důvodem nevyužití uvedených metod rozhodování je nepřímá aplikovatelnost na stanovené postupy, a to z důvodu, že bylo nutné nejprve určit samotný rozhodovací proces, podle kterého bylo možné stanovit posloupnost.



K posouzení priority TC je třeba definovat, co je priorita a co je podmínka priority. Priorita je pořadí, v našem případě číslo, které určí, jak je daná TC důležitá v programu údržby. Stanovení posloupnosti TC je dáno vnitřními podmínkami a jejich vyhodnocením, které je podrobně rozebráno v následujících kapitolách a podkapitolách. Podmínka priority je předpokladem, který je nutné splnit.

Dále je nutné definovat vnitřní a vnější priority a jejich podmínky.

Vnější priorita je stav, ve kterém se letadlo nachází. Její podmínky jsou dány stavy systémů letounu, jejichž činnost je pro tento stav nezbytná. Každé jedné TC je přiřazen stav, v jakém se letoun musí nacházet, aby se TC mohla provádět. Stanovil jsem interval.

Vnitřní priorita je určení důležitosti TC v daném okamžiku. Její podmínky jsou pak otázky, na které se nalézá odpověď v konkrétní TC. Tímto krokem bylo určeno přesné pořadí v daném intervalu.

Konečná priorita je součtem vnější a vnitřní priority, které jsou dány jejich podmínkami. Tato konečná priorita bude reprezentována jednou určitou hodnotou, která může být neceločíselná. Ta „na první pohled“ ukáže důležitost karty a též definuje, kdy bude prováděna.

Výhodou využití neceločíselné části hodnoty priorit TC je toto: navrhovaný systém (podkapitola 3.3–3.8) má navržený rozsah číslování konečné posloupnosti TC $< 0 - 100 >$. Pokud se podíváme na množství TC pro letouny, např. typu Boeing B-737NG a Airbus A-320F, zjistíme, že celkové množství TC pro jeden typ letounu převyšuje hodnotu 1 000 TC. Pokud zavedeme neceločíselnou hodnotu výsledné priority, pak hodnot v rámci tohoto rozsahu je více než 101 v závislosti na počtu desetinných míst. To umožňuje vyhodnotit veškeré TC pro všechny typy letounů a letadel.

3.3 Popis navrhovaného systému údržby

Podstatou systému je pomocí určení vnějších a vnitřních priorit a jejich podmínek udělit každé TC bodové ohodnocení stanovující její prioritu. Následně jsou TC seřazeny podle jejich bodových hodnot (priorit) od nejnižší po nejvyšší. Tato posloupnost je výstupem celého navrhovaného údržbového systému.



3.4 Popis určení vnějších priorit

Jednotlivé TC lze rozřadit do skupin vnějších priorit. Tyto skupiny jsou dány stavem jednotlivých letadlových systémů a zároveň tyto stavy jsou podmínkami vnější priority.

Pro tuto práci byly pro jednoduchost uvažovány pouze 4 nejdůležitější systémy (elektrický, hydraulický, palivový, přetlakový). Stavy těchto 4 systémů jsou potom podmínkami skupin vnějších priorit. Podmínka je dána tím, zda je systém při údržbě provozuschopný (zapnutý) nebo neprovozuschopný (vypnutý). To určuje vnější podmínky každé jedné skupiny vnějších priorit.

Pokud je zohledněna možnost kombinací podmínek vnějších priorit pro jednu skupinu, pak existuje 16 možných kombinací. Každá kombinace odpovídá jedné skupině vnějších priorit. Z těchto 16 podmínek bylo vybráno 11, o kterých se domnívám, že jsou podstatné, tudíž hodnotím 11 skupin vnějších priorit. Zbylých 5 se ukázalo jako nadbytečných. Důvodem bylo, že ukazovaly stavy: stav elektrického systému jako vypnutý a zbylé systémy v různých kombinacích. Po konzultaci s pracovníky provádějícími údržbu jsem dospěl k názoru, že jsou nerealistické (bez zapnutého elektrického systému se nedají provádět), a tudíž nebyly zahrnuty do řešení.

Aby celý proces bylo možné automatizovat, každé jedné skupině vnější priority byl přiřazen bodový rozsah. Kvůli jednoduchosti má celý systém vnějších priorit v součtu 100 bodů, každá jednotlivá skupina má bodový rozsah 9,09 bodů (viz Tabulka 1).



Tabulka 1 – Rozdělení vnějších priorit dle konfigurace letadlových systémů

	Konfigurace letadlových systémů					Body priority		
	Skupina	Elektrický systém	Hydraulický systém	Palivový systém	Přetlakový systém	Začátek	Konec	Rozsah
1	A	ON	ON	ON	ON	0	9,090909	9,090909
2	B	ON	ON	ON	OFF	9,090909	18,18182	9,090909
3	C	ON	ON	OFF	OFF	18,18182	27,27273	9,090909
4	D	ON	OFF	OFF	OFF	27,27273	36,36364	9,090909
5	E	ON	OFF	OFF	ON	36,36364	45,45455	9,090909
6	F	ON	OFF	ON	OFF	45,45455	54,54545	9,090909
7	G	ON	OFF	ON	ON	54,54545	63,63636	9,090909
8	H	ON	ON	OFF	ON	63,63636	72,72727	9,090909
9	I	OFF	ON	OFF	OFF	72,72727	81,81818	9,090909
10	J	OFF	ON	ON	OFF	81,81818	90,90909	9,090909
11	K	OFF	OFF	OFF	OFF	90,90909	100	9,090909

Tabulka 1 znázorňuje rozdělení vnějších priorit podle funkčních systémů letadla, přiřazení skupiny vnějších priorit a následné bodové ohodnocení každé jedné vnější priority. Znázorněním Tabulky 1 je Obrázek 1.

Výsledných skupin vnějších priorit je 11, pro každou jednu skupinu jsou 4 podmínky a každé skupině je přiřazen bodový rozsah. Bodové ohodnocení skupin vnějších priorit je provedeno tak, že čím více letadlových systémů musí být vypnuto, tím širší je škála bodového intervalu, a tím menší je priorita. Toto je logický požadavek TC, která se bude provádět. Pokud jsou všechny systémy vypnuté, není nutná součinnost jiných systémů.

Strukturální prohlídky do problematiky nebyly zahrnuty, protože jsou komplexní a musely by se hodnotit zcela odděleně. Jako částečnou náhradu jsem zvolil hodnocení strukturálního poškození, které je zahrnuto ve vnitřní prioritě, na základě TC (podkapitola 3.5.2).

Pro většinu testů musí být letoun v plně funkční konfiguraci. Testy by se měly provádět jako první, protože skupina, do které spadají má nejvyšší prioritu. Tato logika byla použita pro určení vnější priority všech TC. Podle toho, do jaké skupiny bude úkol patřit, je zřejmé, jakou vnější prioritu má (Tabulka 1 a Obrázek 1).



Zjednodušeně řečeno: každá skupina vnějších priorit je pomyslná nádoba, kde jsou všechny TC, které splňují podmínky dané skupiny. Aby je bylo možné rozřadit a stanovit jejich důležitost, bylo nutné provést určení vnitřních priorit.

Pro každý pracovní tým (případně letadlový systém) je vytvořena podle výše popsaného „tabulka“ TC (to znamená, že toto prvotní rozdělení je nutno dále dělit do skupin pro každý jeden pracovní tým. Pro tyto menší skupiny je vytvořena priorita pro každou jednu TC). Tímto krokem je vytvořeno rozdělení pro právě každý jeden pracovní tým. Tím je zamezeno nedorozuměním mezi jednotlivými týmy.

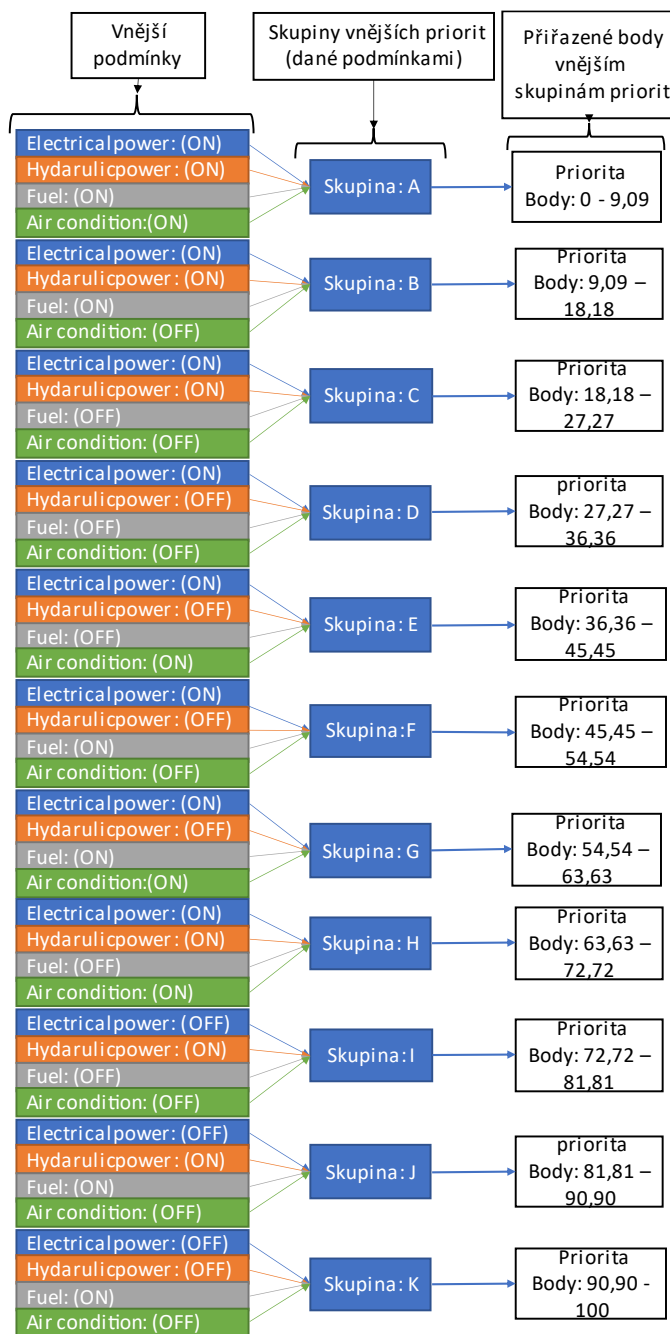
Díky tomuto systému je možné určit přibližnou časovou náročnost práce pro jednotlivé skupiny. Bude tedy znám časový interval, ve kterém se TC bude pohybovat.

Vnější priorita nestanoví, kdy přesně bude úkon proveden. Určí, jaké všechny systémy musí být v provozuschopném stavu, aby se daná TC mohla provést. Z toho lze stanovit časovou platnost rozmezí, ve kterém by se měla provádět.

Příklad: Pokud bude skupina (X) obsahovat cca 5 TC, přičemž na každou budou přiřazeny 4 pracovní hodiny, pak celá skupina bude mít časovou náročnost 20 hodin.

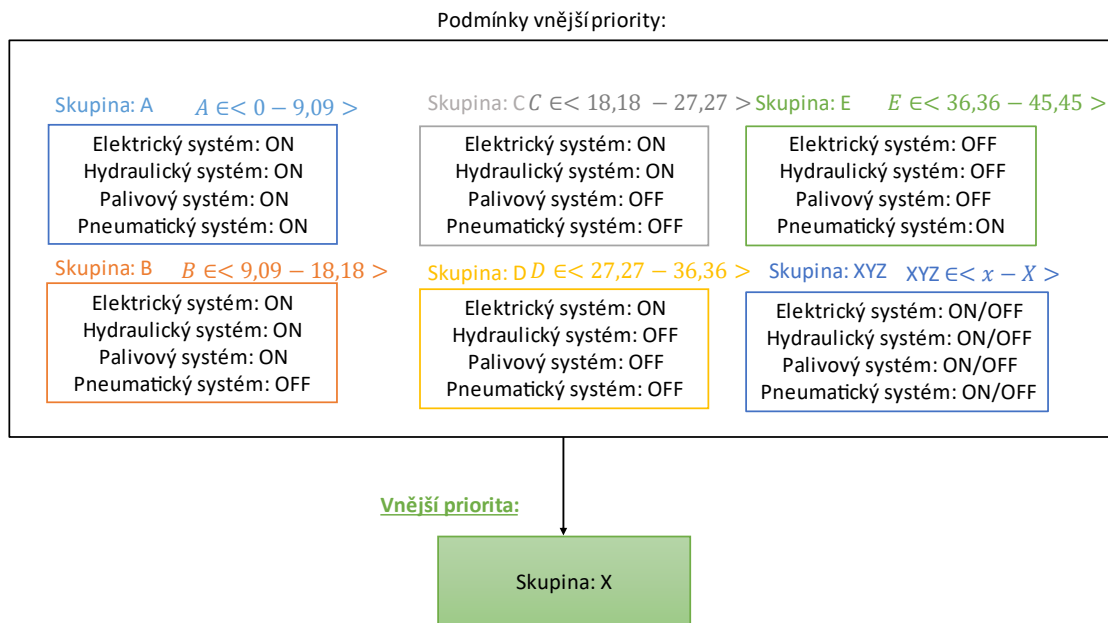
3.4.1 Vyobrazení systému určení vnějších priorit

Obrázek 1: Určení vnějších podmínek



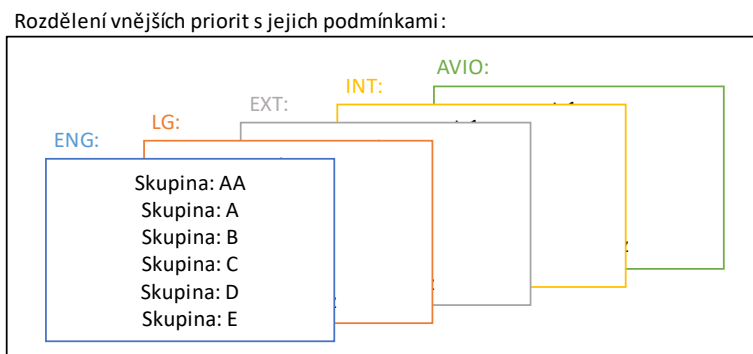
Obrázek 1 ukazuje souvislost mezi vnějšími podmínkami, které jsou dány jak stavem jednotlivých systémů, tak skupin vnějších priorit, které z těchto podmínek vycházejí a příslušným bodovým rozsahem, který náleží každé skupině.

Obrázek 2: Určení vnějších podmínek



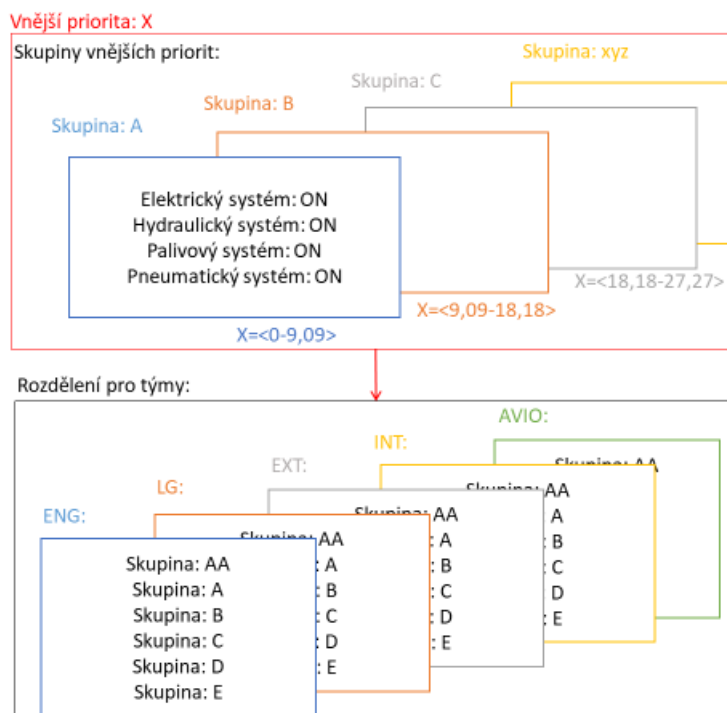
Obrázek 2 ukazuje souvislost mezi podmínkami vnějších priorit (stavem jednotlivých systémů) a skupinou vnějších priorit. Jedná se o zobecněný Obrázek 1.

Obrázek 3: Rozdělení vnějších priorit pro týmy



Obrázek 3 ukazuje, že navržené řešení vnějších priorit je nutné provést pro každou jednu pracovní skupinu (resp. pro každý jeden letadlový systém). TC se rozdělují právě pro tyto týmy.

Obrázek 4: Rozdělení pro skupiny a následné rozdělení vnějších priorit

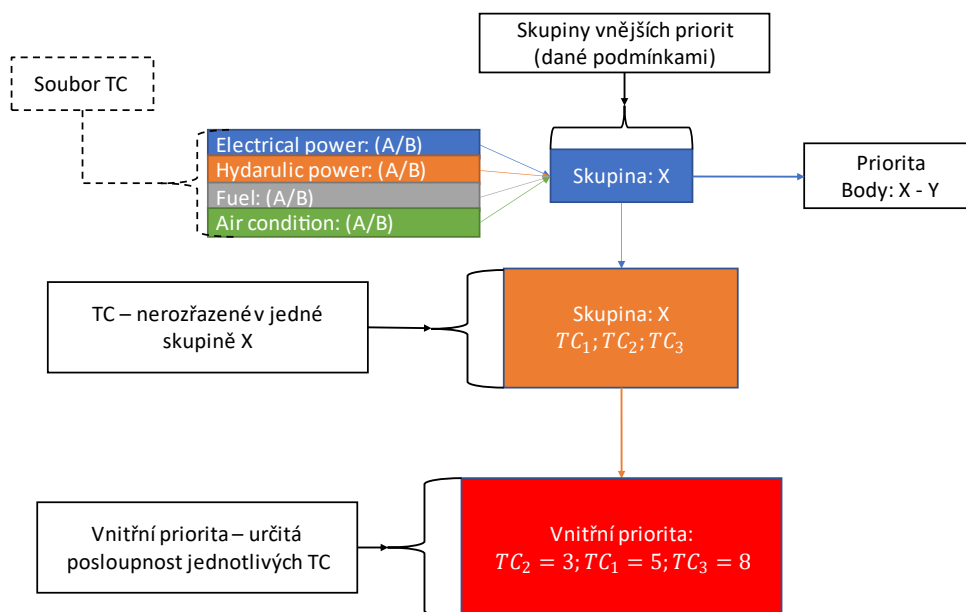


Obrázek 4 ukazuje souvislost mezi systémem určení vnějších priorit (viz popis výše) a pracovními skupinami (letadlovými systémy), přičemž každé jedné pracovní skupině (letadlovému systému) je přiřazena jedna „tabulka“ určení vnějších priorit.

3.5 Popis určení vnitřních priorit

V jedné skupině vnějších priorit jsou všechny TC, které splňují podmínky dané skupiny. Aby bylo možné mezi sebou rozlišit a určit jejich posloupnost v dané skupině, je třeba zavést vnitřní prioritu. Ta stanoví posloupnost jednotlivých TC v dané skupině (viz Obrázek 5).

Obrázek 5: Schéma zavedení vnitřní priority



Obrázek 5 ukazuje, proč je nutné mít zavedenu vnitřní prioritu, kde v jedné skupině (X) jsou všechny TC, které splňují podmínky dané skupiny (X). Vnitřní priorita tyto TC rozřadí a určí jejich posloupnost ve skupině (X).

Zavedená vnitřní priorita je reprezentována bodovým systémem, u kterého se dosahuje bodového zisku, pokud je zodpovězena sada otázek, která je podmínkou vnitřní priority. V následujících textech jsem vnitřní prioritu nazval obálky. Tyto obálky reprezentují určité spektrum prací, letadlových systémů nebo podmínek na pracovišti. Podmínkou každé jedné obálky jsou jí přiřazené otázky z daného tématu konkrétní obálky. Každá jedna vnitřní priorita (obálka) s jejími podmínkami tvoří jednu skupinu. Obálkou se rozumí vnitřní priorita a otázkou se pak rozumí její podmínka.



Sada otázek: (určení vnitřních priorit pomocí sady otázek, které byly kladeny zaměstnancům údržby)

Tato sada je řazena podle logicky členěných otázek do jednotlivých obálek.

Sada otázek obsahuje přes 5 skupin s více jak 20 otázkami (podmínkami vnitřní priority), jejichž počet lze v případě potřeby zkrátit nebo rozšířit. Toto rozšíření nebo zkrácení je možno provádět i za provozu. Pokud by byl systém realizován v praxi, je možné ho po dobu jeho využívání dále upravovat a dále rozvíjet. Každá jedna obálka (vnitřní priorita) by měla obsahovat alespoň 3 otázky (vnitřních podmínek). Otázek musí být lichý počet.

Tyto otázky jsou dány logikou rozhodovacích procesů. Sudý počet otázek (4, 6, 8 apod.) je v rozhodovacím procesu vždy považován za nesprávný. Mohou totiž nastat případy, kdy se velikosti porovnávaných skupin rovnají ($n_L = n_R$), a proto se v rozhodovacím procesu doporučuje používat lichý počet otázek.

Veškeré otázky a práce s nimi jsou popsány v části 3.5.1.

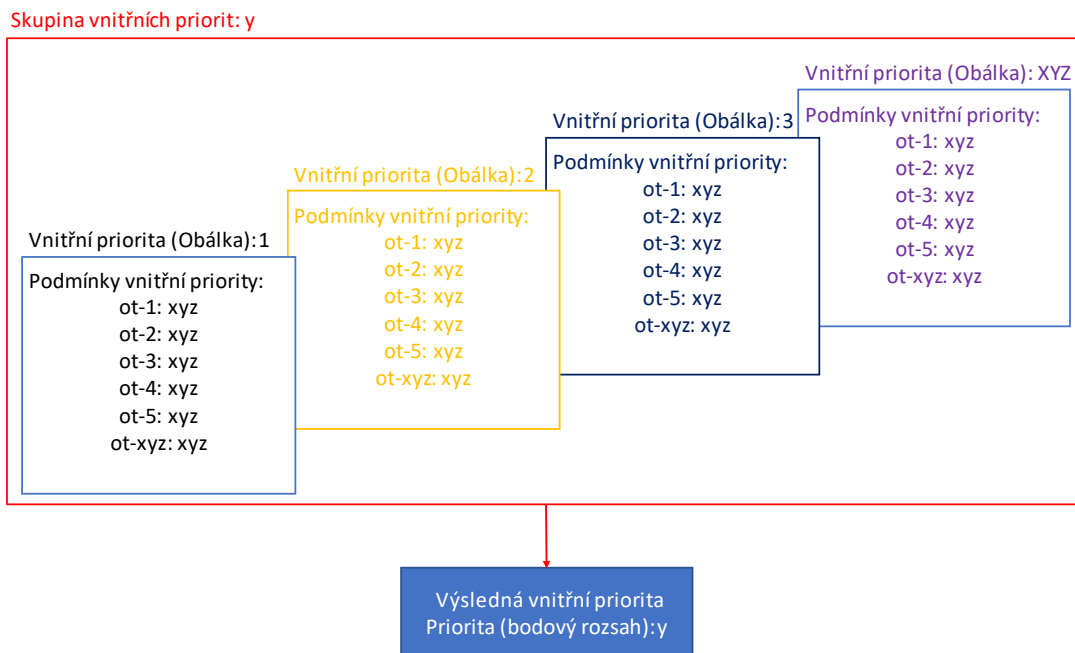
Ilustrační otázky:

- Je to plánovaná karta (od výrobce) nebo neplánovaná karta (od provozovatele)?
- Obsahuje TC požadavky na spotřební materiál?
- Kolik pracovníků je potřeba na provedení daného úkonu?

Je zde jedna výjimka, a tou je Obálka 1 s otázkou na TC kód dané karty (viz Tabulka 2). Tato výjimka byla vytvořena na základě zkušeností s vyhodnocováním TC a je dána tím, že Obálka 1 má pouze jednu otázku, na kterou se dá odpovědět, tudíž nespadá do podmínky 3 a více otázek.

Podmínky vnitřní priority (otázky) v jednotlivých obálkách (vnitřních prioritách) by měly mít stejné téma a každá vnitřní priorita (obálka) by měla mít svoji určenou a neměnnou pozici. To znamená, že v případě dopsání dalších otázek, nedojde k záměně obálek, které jsou psány systematicky, aby co nejlépe zastoupily celek.

Obrázek 6: Názorné schéma určení vnitřních podmínek



Obrázek 6 ukazuje souvislost mezi jednotlivými obálkami (vnitřní prioritou) a otázkami, které tyto obálky obsahují (podmínkami vnitřní priority) a výslednou vnější prioritou. Obrázek 6 je pouze ilustrační, obálky v něm znázorňují, že otázek může být více než je v práci použito.

3.5.1 Určení hodnoty vnitřní priority (y)

Aby bylo možné proces zcela automatizovat, byl každé jedné vnitřní prioritě přiřazen bodový rozsah. Kvůli jednoduchosti má celý systém vnitřních priorit v součtu 100 bodů, každá jednotlivá obálka má bodový rozsah 11,1 bodů.

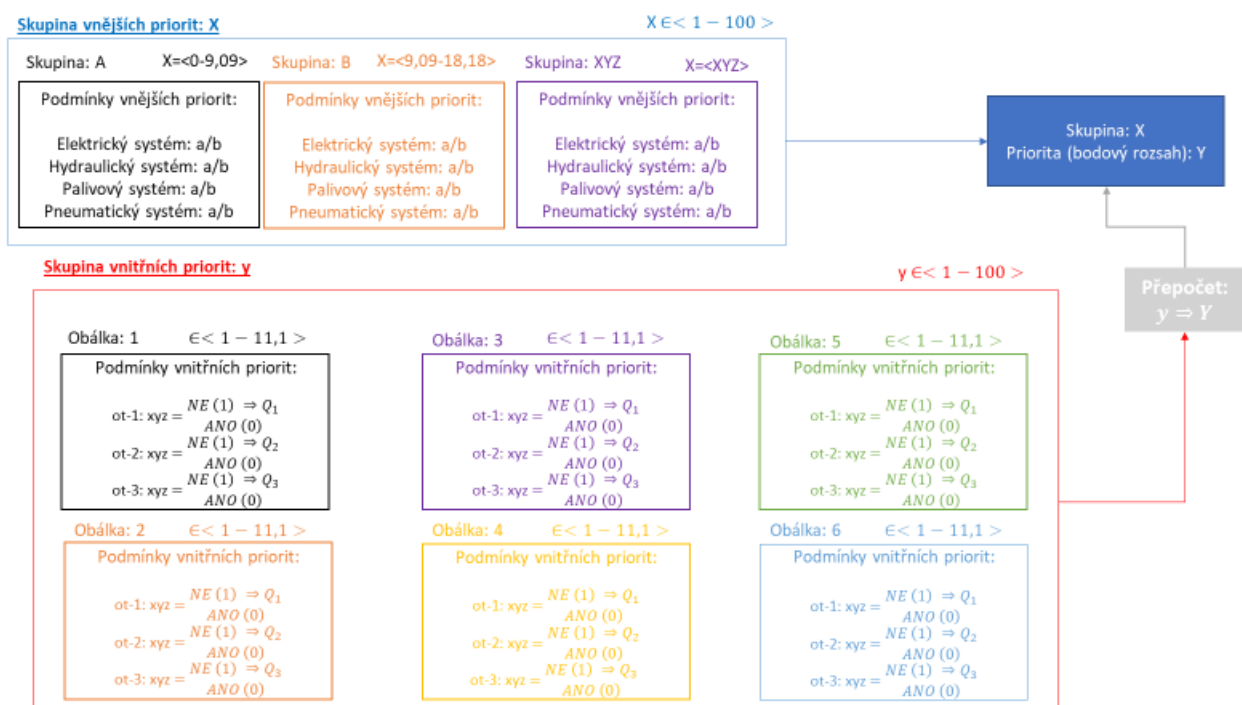
Bodový rozsah 11,1 bodů vychází z poměru celkového bodového součtu (100) a počtu 9 obálek (vnitřních priorit). Těchto 9 skupin zahrnuje letadlové systémy (elektrický, hydraulický, palivový, pneumatický), motorový systém oleje, obecné předpoklady TC, nálezovost, podmínky práce a TC podle kódu.

Obálka „Nálezovost“ byla přidána na základě vyhodnocení rozhovorů se zaměstnanci. Patří do ní hrozba nálezu, který by měl vliv na systém. Důvodem je, že pokud existuje takováto karta, měla by mít přednost, aby byla možnost dodatečný nález opravit. Obálka Nálezovost byla vyhodnocována na základě pracovních upozornění v TC a osobních zkušeností s rizikem

možných nálezů. Při aplikaci navrženého řešení do reálného provozu je vhodné obálku Nálezovost spojit se zdrojem dat, např. ze záznamových systémů údržby (kapitola 6.5).

Těchto 11,1 bodů je maximální bodový zisk, který je možné získat při všech záporně zodpovězených otázkách v jedné obálce. Pokud je odpověď záporná, znamená to, že otázka není tak důležitá, tudíž čím více záporných odpovědí, tím později se bude provádět. Toto nastavení plyne z myšlenky: čím více bodů, tím později, tím nižší priorita.

Obrázek 7: Příklad bodového určení vnitřní priority



Obrázek 7 popisuje určení bodového zisku vnitřní priority z dílčích obálek (dílčích vnitřních priorit) a jejich otázek (podmínek). Každé jedné otázce (podmínce) dané obálky (dané dílčí vnitřní prioritě) je přiřazen bodový zisk za každou záporně zodpovězenou otázku.

3.5.2 Univerzální sada otázek

V následujících tabulkách jsou sepsány veškeré otázky a možné odpovědi. K těmto odpovědím jsou přiřazeny priority, které jsou určeny na základě logiky problematiky a odpovědí



dotazovaných pracovníků. Dále jsou v tabulkách vzorce pro výpočet bodů pro danou otázku. Tyto vzorce jsou vysvětleny pod každou tabulkou zvlášť.

Otázky v jednotlivých obálkách ani obálky nemusí být přesně v tomto pořadí. Ale toto pořadí bych doporučoval zachovat. Důvodem je jeho logické uspořádání. Pokud by došlo ke změně pořadí a zároveň k doplnění, mohlo být dojít k chybnému výsledku.

Otázky v jednotlivých obálkách byly vytvořeny několika základními způsoby: na základě rozhovorů s pracovníky údržby, na základě samotné práce s TC, kdy byly vytyčeny jejich základní body, na které je potřeba znát odpověď, logických úvah – otázek (resp. odpovědí), které je potřeba vědět, aby bylo možné ohodnotit riziko.

Tabulka 2 – Obálka 1: TC dle kódu úkolových karet, tj. každá TC má svůj specifický kód, který určuje, o čem samotná TC je

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Ohodnocení priority	Body
1: TC podle typu kódu						x = 11
1	1	Jaký je typ TC dle task code? ^{xiii}	OPE/TEST	Nejvyšší	0	
			GVI		$1 * \left(\frac{x}{6}\right)$	
			RPL		$2 * \left(\frac{x}{6}\right)$	
			DVI	Střední	$3 * \left(\frac{x}{6}\right)$	
			SDI		$4 * \left(\frac{x}{6}\right)$	
			RES		$5 * \left(\frac{x}{6}\right)$	
			SVC	Nejnižší	x	

Tabulka 2 je tvořena pouze jednou otázkou, jaký kód TC má.

^{xiii} Task codes jsou: **GVI** – (General Visual Inspection) – inspekce, která se provádí pouze vizuálně bez jakýchkoliv pomůcek. **DVI** – (Detailed Visual Inspection) – inspekce, která se provádí za pomoci základních pomůcek (za použití osvětlovacích zařízení, zrcátka, zvětšovací čočky, atd...) **SDI** – (Spacial Detailed Inspection) – inspekce, která se provádí za pomoci speciálních pomůcek, jako je např. boroskop. **RPL** – (Replacement) – výměna určité části nebo celku. **SVC** – (Servicing) – servis, např. doplnění provozních kapalin.



Priorita je určena tak, že čím menšího čísla vyhodnocovaná TC dosáhne, tím dříve se bude provádět. Ohodnocení jednotlivých TC-kódů bylo určeno na základě rozhovorů s mechaniky, kde testovací TC mají nejvyšší prioritu a TC zaměřené na servis mají nejnižší prioritu.

$$Q_n = g * \left(\frac{x}{l}\right) \quad (1)$$

Kde Q_n je hodnota podmínky vnitřní priority (bodová hodnota n -té otázky), g je číslo, které vyjadřuje prioritu (určuje důležitost), nabývá hodnot od 0 do maxima bodového zisku. Pokud má odpověď nejvyšší prioritu $g = 0$, pokud má nejnižší prioritu potom je $Q_n = \frac{x}{l}$. x je maximální bodový zisk celé obálky (viz rovnice 2), proměnná l je počet možných odpovědí mínus 1. U následujících tabulek (3–10) se bude v této rovnici hodnota proměnné l lišit. Příkladem je rovnice (1.1).

$$Q_{n_1} = g * \left(\frac{x}{6}\right) \quad (1.1)$$

Tato rovnice je příkladem adaptace rovnice (1), liší se pouze proměnou l . Ta v této rovnici nabývá hodnoty 6.

$$x = \frac{100}{s} \quad (2)$$

Kde v rovnici (2) je: x maximální bodový zisk celé obálky, konstanta 100 je počet možných bodů celkové vnitřní priority, s je počet otázek v obálce. Hodnota, kterou x nejčastěji nabývá, je $11, \overline{11}$. Proměnná x je zavedena v rovnici (1).

$$y = \sum_{n=1}^{n_{max}} Q_n \quad (3)$$

Kde v rovnici (3) je: y vnitřní priorita, Q_n hodnota podmínky vnitřní priority (bodová hodnota n -té otázky), n_{max} maximální počet otázek ve všech obálcích (nyní $n_{max} = 44$). Tato hodnota (y) je použita v kapitole 3.7.



Tabulka 3 – Obálka 2: Obecné otázky, tj. obecné informace ohledně TC samotné

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Body
2: Obecné						$x = 11$
2	1	Je to: plánovaná karta (od výrobce) nebo neplánovaná karta (od provozovatele)? ^{xiv}	Provozovatel	Vyšší	0	
			Výrobce	Nižší	x	
	2	Obsahuje TC požadavky na spotřební materiál?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	3	Kolik je potřeba pracovníků?	4	Nejvyšší	0	
			3		$1 * \left(\frac{x}{3}\right)$	
			2		$2 * \left(\frac{x}{3}\right)$	
			1	Nejnižší	x	
	4	Kolik je potřeba hodin?	„Hodně“	Vyšší	0	
			„Málo“	Nižší	x	
	5	Je možné s TC provádět jinou TC?	ANO	Nižší	x	
			NE	Vyšší	0	
	6	Jsou potřeba přípravy k provedení TC?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	

Tabulka 3 je složena z následujících otázek: původ karty, spotřebního materiálu, počtu pracovníků, potřebných hodin, souběžnosti prací s jinou TC, přípravy.

Podmínka otázky č.5: se musí porovnat se všemi systémy.

Pokud je karta dána výrobcem, vychází z aktuálního problému letadlové flotily provozovatele, dle pracovního úkolu může mít TC přednost. Tato priorita je určena na základě rozhovorů s mechaniky. Množství pracovníků opět vychází z požadavků mechaniků. Ostatní priority jsou určeny základní logikou problému. Někteří provozovatelé mohou mít i vlastní TC, protože očekávají závady. Tyto specifické TC nebyly vyhodnocovány.

^{xiv} Jedná se o kartu, která je standardně zařazována do programu údržby nebo je to karta, která vychází z „aktuálního“ stavu letadla. Např. když provozovatel objevil závadu, jejíž řešení bylo odloženo a následně je zařazena do programu údržby.



(1)

$$Q_n = g * \left(\frac{x}{3}\right)$$

Rovnice (1) se nyní liší pouze hodnotou proměnné l . Ta zde nabývá hodnoty 3, kde: g je číslo, které vyjadřuje prioritu, x je maximální bodový zisk celé obálky, proměnná l je počet možných odpovědí minus 1.

Otázka č.2 na „spotřební materiál“ v podobě, v jaké je v této práci formulována, může celkovou prioritu ovlivnit minimálně. V případě aplikace této metody do provozu by bylo vhodné upravit formulaci takto: je požadovaný materiál na provedení TC na skladě? Pokud by se z AMM podařilo získat odpověď (načíst potřebná data), kladně by to ovlivnilo prioritu (kapitola 6.5).

Otázka č.4 je zařazena na žádost pracovníků údržby. Ruční vyhodnocení této otázky je poměrně náročné vzhledem k velkým souborům, se kterými by bylo potřeba pracovat. Při aplikaci v provozu by mohla být data získána ze záznamových systémů údržby, jako je například systém AMOS.

Tabulka 4 – Obálka 3: „Nálezy“, tj. jaká je pravděpodobnost vyskytnutí nálezu (případně jeho vytvoření)

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Body
3: Nálezovost						$x = 11$
3	1	Hrozí riziko nálezu, který má vliv na systém?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	2	Hrozí riziko sekundárního nebo terciálního nálezu	Sekundárního	Vysoká	0	
			Terciálního	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
			NE	Nízká	x	
	3	Při provádění úkonu je možné poškodit vedení systému?	ANO	Vyšší	0	
		NE	Nižší	x		

Tabulka 4 je složena z následujících otázek: riziko nálezu, který by ovlivnil systém letadla, nálezy sekundárního a terciálního druhu, zda může dojít k nálezu, tzn. jestli je možné daný systém/součást či agregát neúmyslně poškodit (např. nesprávnou manipulací).



Logika ohodnocování je taková, že čím větší je riziko nálezů, tím vyšší je i potenciálního zdržení revize. Pak takový úkol musí být prováděn dříve. Sekundární a terciální nálezy jsou podružné, případně souvisí s již zjištěným stavem.

Příkladem sekundárního nálezů může být koroze způsobená únikem kapaliny z vedení, terciální pak může být ucpaný drenážní otvor, kvůli kterému nedocházelo k odvodnění daného sektoru, a tím napomohl k vytvoření zmíněné koroze.

Pokud hrozí poškození jakéhokoliv vedení kteréhokoliv systému, pak by taková karta měla být provedena dříve. Důvodem je to, že výměna může být značně zdlouhavá, např. čekáním na dodání specifického náhradního dílu.

$$Q_n = g * \left(\frac{x}{2}\right) \quad (1)$$

Rovnice (1) se nyní liší pouze hodnotou proměnné l . Ta zde nabývá hodnoty 2, kde: g je číslo, které vyjadřuje prioritu, x je maximální bodový zisk celé obálky, proměnná l je počet možných odpovědí minus 1.



Tabulka 5 – Obálka 4: „Podmínky práce“, tj. za jakých okolností se práce provádí, zda je potřeba speciální vybavení apod.

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Body
4: Podmínky provedení TC na letadle:						$x = 11$
4	1	Musí se vytvořit přístup k provedení karty?	Demontáž aerodynamických krytů	Vyšší	0	
			Bez použití náradí	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
			NE	Nižší	x	
	2	Může se práce provádět, když letadlo NENÍ na vlastním podvozku?	ANO	Nižší	x	
			NE	Vyšší	0	
	3	Může se práce provádět, i když letadlo bude mít sundaný/né motor/ry?	ANO	Nižší	x	
			NE	Vyšší	0	
	4	Ovlivní provádění úkolu konstrukci letadla?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	5	Zasahuje úkon do konstrukce?	Primární	Vyšší	0	
			Sekundární	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
			Žádné	Nižší	x	
	6	Musí se provést po dokončení servis nebo test?	Test	Vyšší	0	
			Servis	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
			NE	Nižší	x	
	7	Musí se letoun uvést do určité konfigurace?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	8	Pokud se sundává motor, proč?	Kvůli plánované jiné kartě nebo opravě	Vysoká	0	
		Kvůli výměně motoru	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$		
		Nesundává	Nízká	x		
9	Vyžaduje karta speciální vybavení?	ANO	Vysoká	0		
		NE	Nízká	x		

Tabulka 5 zahrnuje následující otázky: přístupy, zda je letadlo na vlastním podvozku, zda má sundané motory, vliv na konstrukci, na testy po provedení TC, na konfiguraci letounu, důvod sundání motoru, vybavení.

Pokud je potřeba vytvořit přístup pro provedení TC, takováto karta by měla být upřednostněna z důvodu možnosti sekundárního nálezu. Pokud letadlo není na vlastním podvozku a máme práci, kterou je nutné provést, když je letadlo na vlastním podvozku, tak takováto karta



musí být upřednostněna z důvodu toho, aby se další práce mohly provádět co možná nejdříve. To stejné platí pro sundaný motor. Ostatní je dáno základní logikou problematiky.

Rovnice (1) se nyní liší pouze hodnotou proměnné l . Ta zde nabývá hodnoty 2, kde: g je číslo, které vyjadřuje prioritu, x je maximální bodový zisk celé obálky, proměnná l je počet možných odpovědí minus 1.

Tabulka 6 – Obálka 5: „Elektrický systém“

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Body
5: Elektrický systém						$x = 11$
5	1	Je zapotřebí pro provedení vytáhnout jističe?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	2	Musí se demontovat el. zařízení?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	3	Musí se po dokončení práce provést speciální test na elektrické obvody?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	4	Má práce (nefunkčnost určitého elektrického obvodu) vliv na jiné probíhající práce?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	5	Musí se demontovat nebo odpojit část systému?	Demontovat	Vysoká	0	
			Odpojit	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
		NE	Nízká	x		

Tabulky č.6-10 řeší otázky systémů. Otázky, které nastávají při práci s určitým letadlovým systémem. I když se může jevit, že tuto problematiku částečně řeší vnější priorita, je to pravda jen z části. Vnější priorita nepokryje všechny možné alternativy (např. zapnutý hydraulický systém jen částečně na jednu konkrétní operaci).

Všechny následující Tabulky 7, 8, 9 a 10 mají stejnou konstrukci: otázka na jističe, na demontáž zařízení, na speciální testy, vliv na jiné systémy a demontáž nebo odpojení části systému apod.

Pokud je zapotřebí vytáhnout elektrické jističe, pak by karta TC měla být upřednostněna. Je sice pravda, že to určuje vnější priorita, ale tato podmínka zde musí být kvůli předcházení



rizika lidského činitele. Pokud má nefunkčnost určitého okruhu vliv na jiné práce, pak by takováto práce měla být upřednostněna.

Jestliže se musí demontovat část systému (vyjmout z letadla nebo letadlového celku), pak taková práce musí být upřednostněna. Pokud se musí pouze odpojit nebo rozpojit část systému, pak takováto práce má střední prioritu. Demontování určitého zařízení má vyšší prioritu. Důvodem je možné riziko dalších nálezů a lidský faktor.

Pokud je zapotřebí provést po dokončení test, má tento úkol vyšší prioritu, protože může ovlivnit následující práce.

Použitá rovnice (1) se nyní liší pouze hodnotou proměnné l . Ta zde nabývá hodnoty 2, kde: g je číslo, které vyjadřuje prioritu, x je maximální bodový zisk celé obálky, proměnná l je počet možných odpovědí minus 1.

Tabulka 7 – Obálka 6: „Hydraulický systém“

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Bod y
6: Hydraulický systém						$x = 11$
6	1	Je zapotřebí deaktivovat určitý hydraulický okruh?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	2	Je zapotřebí vyjmout hydraulické zařízení?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	3	Musí se provést speciální test na hydraulický systém?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	4	Má práce (nefunkčnost určitého hydraulického vedení) vliv na jiné probíhající práce?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	5	Musí se demontovat nebo odpojit část systému?	Demontovat	Vysoká	0	
			Odpojit	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
		NE	Nízká	x		

Vysvětlení této tabulky je shodné s vysvětlením Tabulky 6.



Tabulka 8 – Obálka 7: „Palivový systém“

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Body
7: Palivový systém						$x = 11$
7	1	Je zapotřebí deaktivovat určitý palivový okruh?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	2	Je zapotřebí přístup do palivových nádrží?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	3	Provádí se taková práce, při které je riziko vzplanutí výparů paliva?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	4	Je zapotřebí vyjmout palivové zařízení?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	5	Musí se provést speciální test na palivový systém?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	6	Má práce (nefunkčnost určitého palivového vedení) vliv na jiné probíhající práce?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	7	Musí se demontovat nebo odpojit část systému?	Demontovat	Vysoká	0	
			Odpojit	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
		NE	Nízká	x		

Vysvětlení této tabulky je shodné s vysvětlením Tabulky 6. Vyjma otázky č.2: Pokud je zapotřebí vytvořit přístup do palivových nádrží, má tato práce přednost. Důvodem je zejména bezpečnost a také poměrně dlouhé odvětrávání palivových nádrží.



Tabulka 9 – Obálka 8: „Pneumatický systém“

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Body
8: Pneumatický systém						$x = 11$
8	1	Je zapotřebí deaktivovat určitý pneumatický okruh?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	X	
	2	Je zapotřebí vyjmout pneumatické zařízení?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	X	
	3	Musí se po provedení práce provést speciální test na pneumatický systém?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	X	
	4	Má práce (nefunkčnost určitého pneumatického vedení) vliv na jiné probíhající činnosti	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	X	
	5	Musí se demontovat nebo odpojit část systému?	Demontovat	Vysoká	0	
			Odpojit	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
		NE	Nízká	X		

Vysvětlení této tabulky je shodné s vysvětlením Tabulky 6.

Tabulka 10 – Obálka 9: „Olejový systém“

Obálka	Číslo otázky	Otázka	Odpověď	Priorita	Přiřazení	Body
9: Olejová soustava motoru						$x = 11$
9	1	Je zapotřebí vyjmout olejové zařízení?	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	2	Má práce (nefunkčnost určitého olejového vedení) vliv na jiné probíhající činnosti	ANO	Vyšší	0	
			NE	Nižší	x	
	3	Musí se demontovat nebo odpojit část systému?	Demontovat	Vysoká	0	
			Odpojit	Střední	$1 * \left(\frac{x}{2}\right)$	
			NE	Nízká	x	

Vysvětlení této tabulky je shodné s vysvětlením Tabulky 6. Tato tabulka je oproti Tabulce 6 zkrácena. Důvodem k tomuto zjednodušení je, že není zapotřebí tolik priorit.



3.5.3 Určení bodového rozsahu

Hodnota dosažených bodů z podmínek vnějších priorit určuje, jaké systémy jsou nebo nejsou aktivní. Určuje, v jakém časovém rámci bude karta prováděna.

Suma všech bodů z Tabulek 3-10 je vyjádřením vnitřní priority každé jednotlivé TC.

Aby se TC mohly uspořádat, bylo zapotřebí převést získané body z vnitřní priority do vnější. To bylo provedeno za účelem zjednodušení výpočtu a tzv. metody jednoho čísla, díky které jsme schopni stanovit prioritu dané karty přímo.

Pro převod byla použita následující logika. Maximum vnějšího bodového rozsahu (každé jedné skupiny) je rovno maximálnímu rozsahu vnitřní skupiny. Pro minima platí totéž.

Potom platí, že hodnota $\langle 1 - 100 \rangle_{\text{vnitřní}} = \langle 0 - 9,19 \rangle_{\text{vnější}}$. Z toho plyne, že na jeden bod vnějšího rozsahu připadá 11 bodů vnitřního rozsahu.

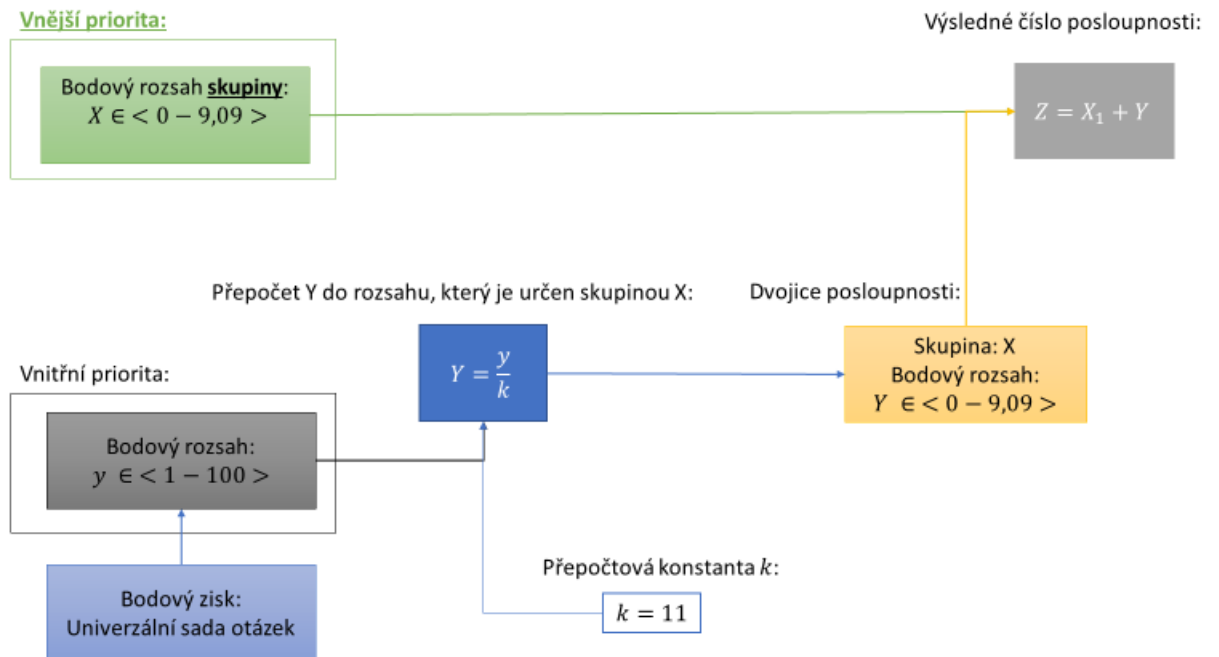
Této hodnotě (11 bodů) budeme dále říkat přepočtová konstanta (k).

Rozsah $\langle 1 - 100 \rangle$ je ohodnocen dle výsledku celkové sady otázek (všech obálek). Každá obálka má celkovou hodnotu např. 9,19 bodů. Z toho plyne, že každá otázka v obálce má přibližně hodnotu 11 bodů (pokud upravíme bodový rozsah, potom i počet těchto bodů bude rozdílný). Součtem bodů z různých obálek (Tabulky 3-10) je dosaženo bodového ohodnocení (y). Tuto hodnotu vydělíme přepočtovou konstantou (k). Tím je získána přepočtová hodnota (Y), kterou je možno sečíst s vnějším bodovým výsledkem (viz Obrázek 8, kde (k) je rovno 11). Matematické vyjádření je popsáno v Kapitole 3.7.1.

Tento přepočet je proveden se záměrem získat jedno číslo. Tato myšlenka říká, že je mnohem efektivnější, pokud tzv. „souborové číslo“ je převedeno na jedno většinou necelé číslo. Zejména proto, že na první pohled je zřejmé, kam toto číslo bude patřit, což zmenšuje riziko pochybení člověka na základě lidského faktoru. Oproti tzv. „souborovému číslu“, které je tvořeno např. písmenem a číslem, kdy není na první pohled patrné, kam se dá zařadit. Pracovník by musel mít neustále na paměti, jaký význam má abecední hodnota, což není efektivní. Je pravdou, že pro počítačové vyhodnocení je vhodnější „souborové číslo“, ale musíme brát v úvahu, že konečným uživatelem bude pracovník na pozici mechanik. Tím snížíme pravděpodobnost chyby lidského činitele. Proto jsem zvolil metodiku jednoho čísla.

Čím vyššího bodového zisku karta dosáhne, tím později se karta bude provádět.

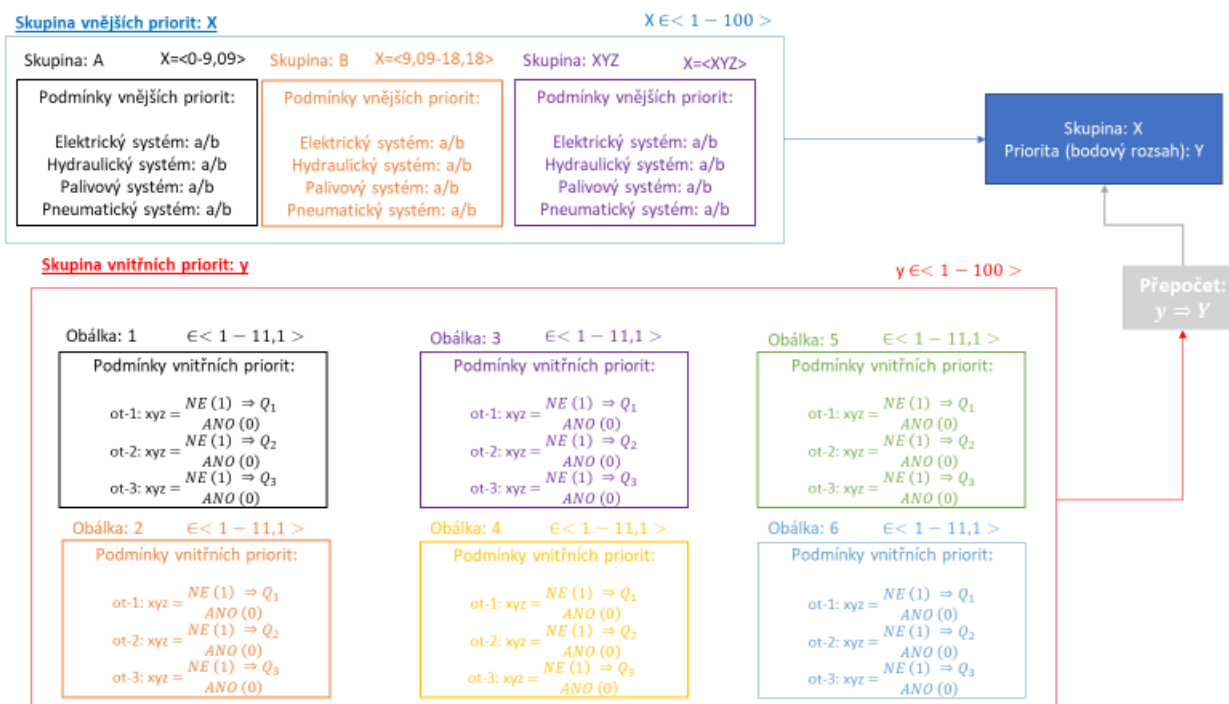
Obrázek 8: Schéma navrženého řešení bodového rozsahu



Obrázek 8 ukazuje souvislost mezi určením bodového rozsahu vnějších a vnitřních priorit. Na obrázku je vidět i zobrazený přepočet Y , s přepočtovou konstantou (k), která je zde rovna 11. Zobecněný přepočet bude vysvětlen v podkapitole 3.7.1.

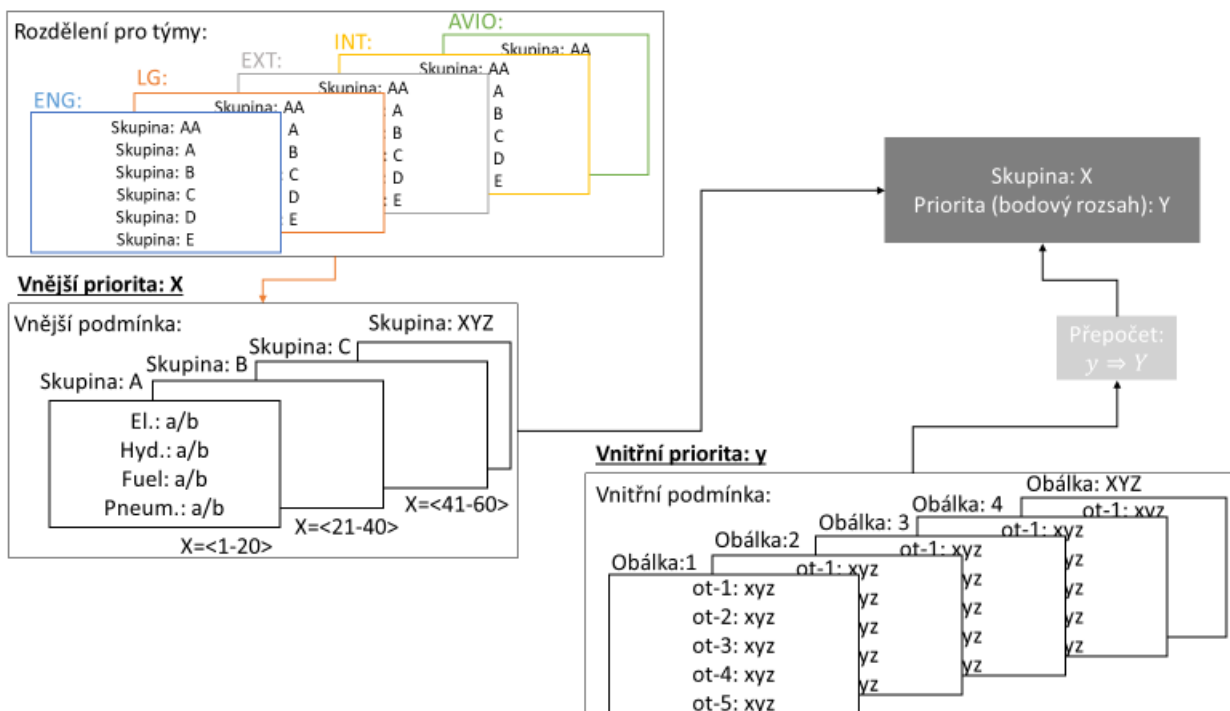
3.6 Celkové schéma systému

Obrázek 9: Zjednodušené schéma navrženého systému



Obrázek 9 ukazuje vztah mezi vnější a vnitřní prioritou se vztahem vnitřní priority k přepočtu. Skupina XYZ ve vnější prioritě je zástupná pro jakoukoliv jinou a zároveň pro všechny skupiny vnější priority.

Obrázek 10: Zobrazení navrženého schématu s rozdělením pro týmy

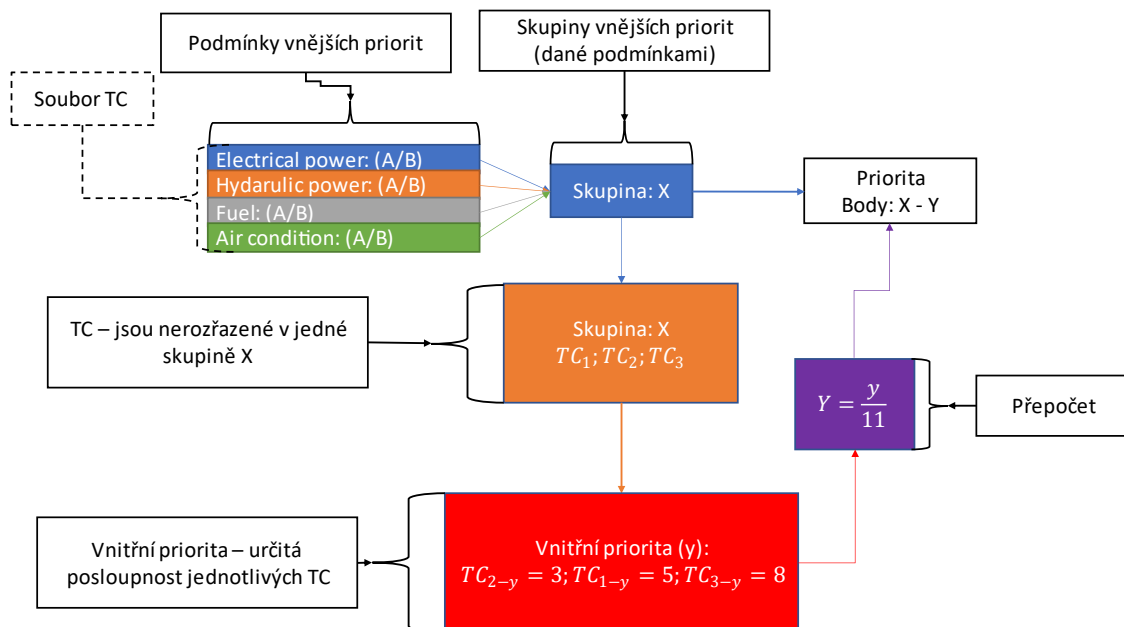


Obrázek 10 ukazuje vztah mezi vnější a vnitřní prioritou s přepočtem a rozdělením pro jednotlivé pracovní týmy. Pro každý jeden pracovní tým bude vytvořen takovýto postup.

3.7 Určení konečné posloupnosti

Každá jedna TC bude ohodnocena na základě podmínek vnější priority, bude zařazena do určité skupiny, které je přiřazen bodový rozsah. Dále každá jedna TC bude ohodnocena na základě podmínek vnitřní priority, které určují pořadí v dané skupině. Dosažená hodnota vnitřních priorit po převodu (Y) stanoví přesnou pozici ve skupině vnějších priorit. Čím vyššího bodového ohodnocení TC dosáhne, tím později se bude provádět.

Obrázek 11: Určení posloupnosti TC



Obrázek 11 ukazuje zjednodušený celkový návrh určení posloupnosti TC.

Na základě nalezení odpovědí (YES/NO) na podmínky vnitřní priority je určena celková vnitřní hodnota (y) jako suma všech bodových určení (Q_n), která je následně převedena na vnější rozsah^{xv}. Převod (Y) vnitřního rozsahu na vnější je proveden podílem celkové vnitřní hodnoty (y) a přepočtové konstanty (k).

$$Y = \frac{y}{k} \quad (4)$$

Kde: Y je výsledná hodnota vnitřního bodového rozsahu, který je přepočítán do vnějšího, y je celková hodnota vnitřní priority (dosaženého bodového zisku), k je přepočtová konstanta, která je rovna 11 (viz aplikace vzorce 7).

^{xv} Navržené řešení by na základě výpočtu provedlo seřazení od nejmenšího po největší v každé skupině (např.: v Matlabu by toto seřazení bylo provedeno pomocí příkazu: `x=sort(A)`)



Každá skupina má reálný časový rozsah. Na základě konečného vyhodnocení můžeme určit, kdy bude karta provedena.

3.7.1 Matematické vyjádření konečné hodnoty jedné TC

Konečné číslo priority jedné TC je určeno následovně:

$$Z = X + \frac{y}{k} \quad (5)$$

$$Z = X + \frac{y}{11} \quad (6)$$

Kde: Z je hodnota konečné priority jedné úkolové karty (TC), X je dosažený bodový zisk vnější priority (X je vždy první hodnotou dané skupiny), y je celková hodnota vnitřní priority, k je přepočtová konstanta, která je rovna 11 (viz aplikace vzorce 7).

Přepočtová konstanta (k) je získána podílem vnitřního a vnějšího rozsahu.

$$k = \frac{Y_{rc}}{X_{rc}} \quad (7)$$

Kde: k je přepočtová konstanta, Y_{rc} je celkový vnitřní rozsah, X_{rc} je celkový vnější rozsah.

Aplikací vzorce (7) je získána konkrétní hodnota přepočtové konstanty. Z každé jedné vnější a vnitřní skupiny je vybrána nejvyšší hodnota, která reprezentuje celkový rozsah.

$$k = \frac{\langle 1 - 100 \rangle}{\langle 0 - 20 \rangle} \Rightarrow \frac{100}{9,09} = 11$$

Výsledkem je získání jednoho čísla určujícího prioritu konkrétní TC.

Aplikací vzorce (5) je vyhodnocení TC ATA 71-077-010-01-01. Je třeba stanovit hodnotu konečné priority karty (Z), která spadá do vnější skupiny A ($A = \langle 0 - 9,19 \rangle$), X je první hodnotou z intervalu vnější skupiny ($X = 0$). Celková hodnota vnitřní priority je 90,12 ($y = 90,12$). Přepočtová konstanta je rovna 11 ($k = 11$).

$$Z = X + \frac{y}{11}$$

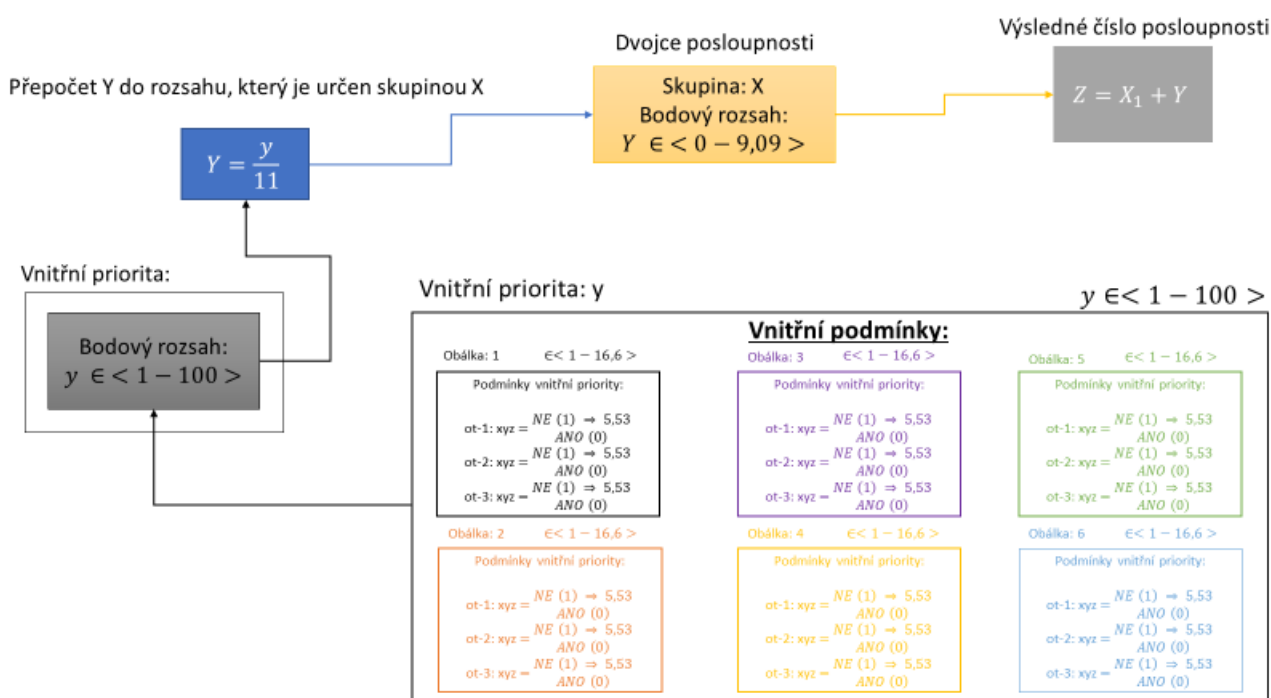
$$Z = 0 + \frac{90,12}{11}$$

$$Z = 0 + 8,19 = 8,19$$

Tato aplikace je uvedena v Příloze 3.

Součtem přepočtu (Y) a hodnoty vnější priority (X) získáme číslo konečné posloupnosti (Z), a tím i konečnou prioritu.

Obrázek 12: Diagram zobrazení větve vyhodnocení posloupnosti z vnitřní priority



Obrázek 12 ukazuje diagram získání výsledného čísla vnitřní priority se zahrnutým přepočtem z vnitřního rozsahu na vnější rozsah.



3.7.2 Určení času z hodnoty jedné TC

Nejprve je vhodné definovat výpočet zbylé doby údržby, tj. doby zbývající do plánovaného uvolnění letadla do provozu ($t_{zbylý}$). Díky tomu je možné ad hoc reagovat na neočekávané problémy. Umožňuje přesněji rozplánovat jednotlivé doby a kroky, které jsou potřebné na provedení celkové údržby.

Je nezbytné si uvědomit, že pro tuto operaci je zapotřebí převést body karty či skupiny na čas.

Odečtení určité doby (T_t) od doby celkové (x_t) lze provést jako jednoduchý rozdíl časů daných skupin.

$$t_{zbylý} = T_t - x_t \quad (9)$$

Kde: $t_{zbylý}$ je výsledný celkový zbývající čas pro údržbu, T_t je celková doba plánované údržby, x_t je určitá doba pro danou skupinu či operaci.

Aplikace vzorce (9): Pokud budeme mít TC, která spadá do určité skupiny, např. AA (testy), tak tato karta dosahuje určitého bodového zisku na den. Přepočtením skupiny AA byla vypočtena např. hodnota 2 dnů. Pro převod hodnoty jedné karty (resp. jejích bodů) na čas je zapotřebí získat hodnotu bodu na den. Např. celkový čas do ukončení plánované údržby (revize) je 14 dní. Výsledek získáme dosazením do rovnice (9) a hodnota výsledku bude 12 dnů.

Výpočet bodů na den (viz rovnice (10)) je uskutečněn poměrem hodnoty dané skupiny, do které tato karta spadá a předpokládaného času ($t_{predpoklad}$), kdy je tato skupina aktivní. Předpokládaný čas je dobou platnosti vnější priority. Pokud se bude uvažovat, že skupina TC spadá do skupiny vnější priority, např. A, potom je předpoklad, že skupina A je po dobu 1 až 3 dnů platnou (aktivní).



$$BD = \frac{X_{rc}}{t_{predpoklad}} \quad (10)$$

Kde: BD je výsledná hodnota bodů na jeden den, X_{rc} je celková hodnota rozsahu dané skupiny, do které karta patří, $t_{predpoklad}$ je předpokládaný čas, po který bude skupina platná.

Aplikace rovnice (10): Skupina A má uzavřený bodový rozsah 1 až 20 bodů. Celková doba údržby je plánovaná na 14 dní. Po odečtení doby pro testy (z aplikace rovnice (9)) činí celková zbylá doba revize 12 dní. Předpoklad plně funkčního letounu činí 4 dny ze zbývajících 12 dnů.

Konečný přepočítání hodnoty karty na čas získáme podílem celkové hodnoty TC (Z) (z rovnice (5)) a výsledkem rovnice BD (z rovnice (10)).

$$T_{karty} = \frac{Z}{BD} \quad (11)$$

Kde: T_{karty} je čas, který je potřebný pro provedení úkonů dané karty TC, Z je výsledek priority karty, BD je hodnota bodů na jeden den.

Aplikace rovnice (11): Je třeba určit, kdy se bude daná karta provádět. Karta dosáhla konečného bodového zisku (Z) např. 12 bodů (z aplikace rovnice (6)). Hodnota bodů na jeden den je např. 5 (z aplikace rovnice (9)).

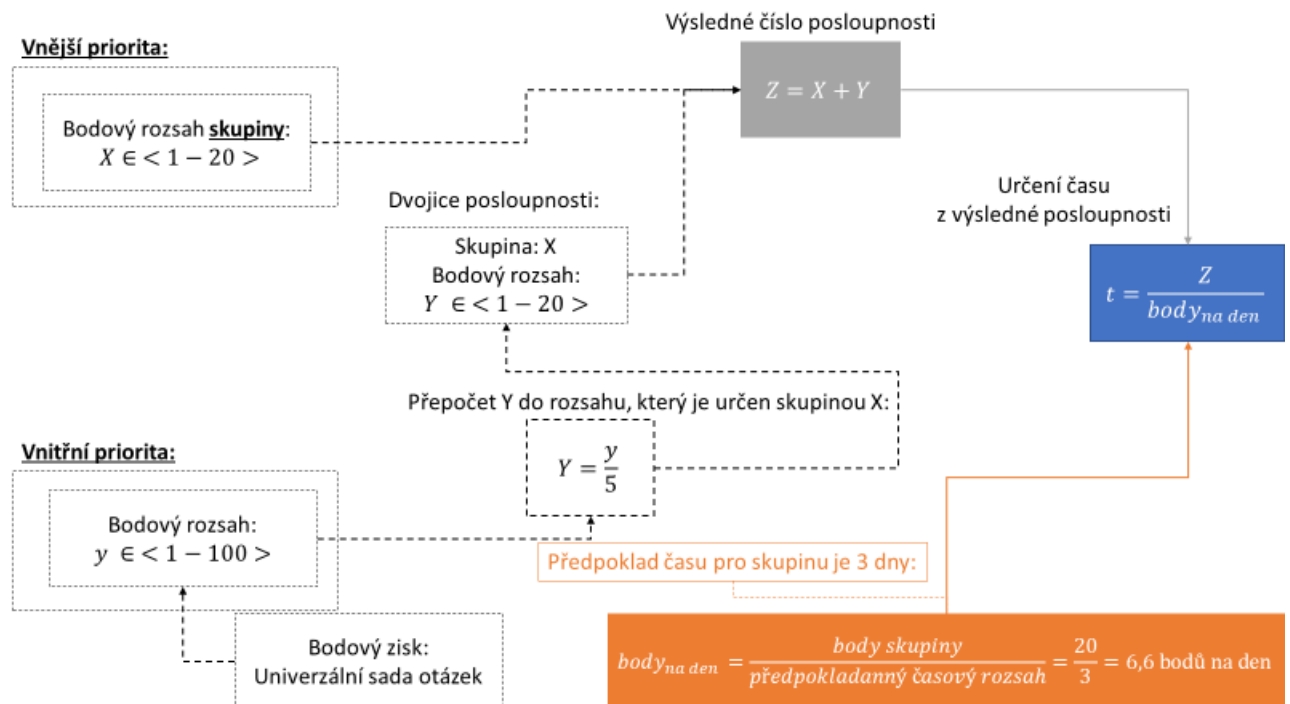
Slovní vyhodnocení aplikace rovnice (11): Karta se bude provádět druhý den cca ve třetí hodině pracovní doby (za předpokladu 12hodinové směny).

Z výše uvedeného vyplývá, že jediná proměnná pro určení doby, kdy se bude karta provádět, je plánovaný počet dnů revize.

Nastává zde otázka, co se stane v případě, že se sejdou dvě karty se stejnou nebo podobnou hodnotou.

- V případě podobné hodnoty se první bude provádět karta s nižší hodnotou.
- V případě stejné hodnoty: Tato situace by neměla nastat díky doplněné Otázce č.5 v Obálce 2. Pokud by i tak nastala, situace by se řešila porovnáním hodnot priority daných TC. TC s nižší prioritou má přednost.

Obrázek 13: Určení, jaký den se bude karta provádět



Obrázek 13 zobrazuje řešení určení času pomocí poměru výsledného čísla posloupnosti a přiřazených bodů na daný den. To pomůže určit, kdy je optimální čas pro provedení dané TC v revizi.

3.8 Určení konečné posloupnosti

Následným krokem je určení konečné posloupnosti, tj. seřazení TC s přiřazenou hodnotou (Z) od nejnižší po nejvyšší s tím, že toto seřazení respektuje počáteční skupiny (vnější skupiny, resp. vnější podmínky a rozdělení pro dané týmy).

Při implementaci navrženého postupu bude nutné vybrat všechny TC s přiřazenou hodnotou Z pro danou vnější prioritu a danou pracovní skupinu. Následně se provede vzestupné seřazení, např. pomocí zaměňování čísel, algoritmem Bubble Sort. [25], [26]



4. Stanovení sekvence údržby na vybraném letadlovém systému

Vybraný systém pro analýzu je systém ENG (Engines – motory), který zahrnuje hlavní pohonné jednotky (ATA 70+) a záložní energetickou jednotku APU „Auxiliary Power Unit“ (ATA 49).

Posloupnost neboli sekvence údržby, by měla být reprezentativní, co se úkolů týče, logická, co se návaznosti jednotlivých úkolů týče a efektivní. Cílem této práce je navrhnout univerzální posloupnost údržby systému ENG tak, aby splňovala všechny požadavky na ni kladené.

V rámci zefektivnění stávající nebo navržení zcela nové posloupnosti bylo spolupracováno s organizací MRO. Výsledek této spolupráce je popsán v podkapitole 4.2, návrh je uveden v kapitole 5.

4.1 Základní popis vybraného letadlového celku

Pracovníci systému ENG mají za úkol provádět údržbu na pohonných jednotkách, záložních energetických jednotkách, jejich systémech a systémech s nimi spojených, případně částmi těchto systémů (pneumatika, hydraulika, palivo^{xvi}). Viz kapitola 1.3.

4.2 Rozbor aktuální sekvence údržby

Sekvence TC jako taková je v základu poměrně jednoduchá. Nejprve se provádějí testy za účelem zjištění stavu systému jako celku, následně nebo souběžně se provádějí práce pro zpřístupnění prohlídkových míst (odstranění přístupových panelů). Následují jednoduché testovací TC, ke kterým bylo nutné vytvořit přístup, např. testy průchodnosti drenáže.

Další postup je rozdílný dle priorit a zkušeností jednotlivých vedoucích týmů. Někteří upřednostňují práce, které souvisí s neplánovanými úkoly, které vyplývají z PFR (Post

^{xvi} Např. o systém paliva se údržbáři starají jen v omezeném měřítku (o části, které jsou buď přímo na motoru nebo v motorovém pylonu).



Flight Report), a tudíž z TBS (Troubleshooting Procedures). Někteří naopak upřednostňují práce dle aktuálního počtu pracovníků, které mají k dispozici.

V zásadě se dá říci, že práce se vykonávají dle základní logiky (dle vyjádření pracovníků údržby). To znamená, že postupují od celků k jednotlivým komponentám.

Příkladem může být hasící systém motoru, kdy pracovníci nejprve testují (testovací TC), zda má systém závadu, resp. nález (nejčastěji prasklé potrubí). Následně provádějí TC, které jsou k tomuto systému určeny, většinou to jsou karty, které se zabývají RPL hasících láhví. Pokud je zjištěna závada systému, pak řeší dané závady jako první a RPL hasících lahví provádějí následně.

Pracovníci dále provádějí TC dle zkušeností. Většinou upřednostňují TC, u kterých ze zkušenosti vědí, že je zde vyšší pravděpodobnost nálezu. Teprve poté provádějí TC, u kterých je nižší pravděpodobnost nálezu. Tento postup může vést k prodloužení revize.

Celý proces by se dal zmapovat následně: Testy, sundání přístupových panelů, inspekce (dle typu inspekce, závažnosti inspekce a dohody s ostatními kolegy z jiných systémů).

Obrázek 14: Zjednodušená sekvence údržby

Úkol	Den	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test		■	■	■							
Nálezy TBS		■									
Sundání přístupových panelů		■									
Prohlídky / inspekce			■	■	■	■	■	■			
Řešení TBS				■	■	■	■	■	■	■	
Řešení nálezů z prohlídek a inspekcí				■	■	■	■	■	■	■	
Uzavření prohlídky/inspekcí									■	■	
Instalace přístupových panelů										■	
Kontrola											■
Předání zákazníkovi											■

Obrázek 14 znázorňuje zjednodušenou a zkrácenou sekvenci údržby



4.3 Osobní zkušenosti s daným letadlovým systémem

Letadlový systém ENG je nejdůležitějším systémem na letounu. Odůvodnění je jednoduché. Bez motoru se z velkého dopravního letounu o váze několika tun stává pouze velký a těžký kluzák s malou klouzavostí.

Největší objem prací, které byly spojeny s tímto systémem, byly běžné TC, které se zabývaly rutinními úkoly, jako například výměna těsnění, kontrola funkčnosti systému, kontrola opotřebení určitých částí apod.

Běžná sekvence, která byla prováděna za dobu mého působení na tomto systému, se shoduje s výše popsanou sekvencí (kapitola 4.2).

I přesto, že celý systém je spolehlivý, byl jsem svědkem nejednoho případu, kdy se musely řešit nestandardní záležitosti typicky strukturálního poškození části dmychadlové skříně nebo strukturálního poškození výstupního ústrojí dmychadla nebo APU.

Tato poškození však byla způsobena externími vlivy, se kterými údržba nemohla počítat.

Další faktor, se kterým jsem se setkal, byla špatně provedená předchozí údržba. Tyto chyby nebyly nijak fatální, jejich příčinou byl nejčastěji jiný návyk provádění daného úkonu.

4.4. Rozbor údržby z dat

Od firmy CSAT mi bylo poskytnuto několik záznamů již dokončených revizí. Z těchto dat bylo vybráno několik systémů a podsystémů, na kterých následně proběhla analýza, ze které vyplynula sekvence posloupnosti prací na vybraných letadlových systémech.

Pro stanovení sekvence bylo aplikováno navržené řešení (kapitola 3). Použitá data jsou z letounů řady Boeing 737 NG řady 800. Vyhodnocované systémy dle systému ATA-100 byly 21, 28, 32 a 4 podsystémy systému ENG 71, 73, 74 a 78.



Tabulka 11 – Seznam vyhodnocovaných TC pro letadlový systém ENG:

ATA TC	Engine side	Classification	Name
71-010-01-01	Left	Inspection	Inlet Cowl-Inner Surface
71-010-02-01	Right	Inspection	Inlet Cowl-Inner Surface
71-040-01-01	Left	Operation	Check Drain
71-040-02-01	Right	Operation	Check Drain
73-010-01-01	Left	Replace	Fuel Filter
73-010-02-01	Right	Replace	Fuel Filter
73-020-01-01	Left	Operation	FMC CDU
73-020-02-01	Right	Operation	FMC CDU
73-030-01-01	Left	Restore	Remove Hydromechanical Unit for Inspection
73-030-02-01	Right	Restore	Remove Hydromechanical Unit for Inspection
74-020-01-01	Left	Inspection	Ignition Leads
74-020-02-01	Right	Inspection	Ignition Leads
78-011-01-01	Left	Inspection	Exhaust Nozzle
78-011-02-01	Right	Inspection	Exhaust Nozzle
78-050-01-01	Left	Visual Check	T/R Fan Duct Walls
78-050-02-01	Right	Visual Check	T/R Fan Duct Walls
78-060-01-01	Left	Inspection	Drag Links spherical Bearing
78-060-02-01	Right	Inspection	Drag Links spherical Bearing
78-070-01-01	Left	Visual Check	Blocker Doors
78-070-02-01	Right	Visual Check	Blocker Doors
78-080-01-01	Left	Visual Check	Bullnose Seal And Retainer
78-080-02-01	Right	Visual Check	Bullnose Seal And Retainer
78-100-01-01	Left	Inspection	T/R fire Seal
78-100-02-01	Right	Inspection	T/R fire Seal
78-110-01-01	Left	Operation	T/R sync Lock
78-110-02-01	Right	Operation	T/R sync Lock
78-120-01-01	Left	Operation	Bite Check The EAU
78-120-02-01	Right	Operation	Bite Check The EAU
78-130-01-01	Left	Operation	„Reverser“ Light Indication System
78-130-02-01	Right	Operation	„Reverser“ Light Indication System

Tabulka 11 je seznam vyhodnocovaných TC pro systém ENG.

Pro vytvoření posloupnosti jsem vybral jen TC, které byly pro levý motor, tj. všechny TC, které byly ve formátu: XX-YYY-**01**-ZZ. Důvodem bylo, že karty dosahovaly stejných hodnot priority (konkrétní TC pro levý motor má stejnou prioritu jako pro pravý motor). Tento výsledek byl očekávaný a o tom, která konkrétní karta bude prováděna, rozhodují pracovníci údržby.

Původně bylo zamýšleno toto vyřešit přidáním otázek do vnitřní priority a to tak, že by se zohledňoval počet cyklů, počet hodin, životnost apod. Tyto faktory, jak mi bylo řečeno, ale není



možné znát dopředu, tudíž do výsledného řešení nebyly zahrnuty. V případě realizace by tyto otázky bylo možné zodpovědět propojením se záznamovým systémem údržby (např. AMOS). Ze záznamového systému používaného údržbovou organizací by mohla být vyfiltrována data, kterým by byla přiřazena číselná hodnota stejně jako v kapitole 3. Tím by bylo dosaženo změny konečné priority.

Při postupu řešení (kapitola 3) jsem došel k posloupnosti, která je uvedena v Tabulce 12.

Tabulka 12 – Možné vyhodnocení priorit TC pro ATA: 71-78

Číslo	Číslo posloupnosti	TC	Skupina (vnější priorita)	Vnitřní priorita	Konečná priorita
13	1	78-110-01-01	A	69,01	6,27
15	2	78-130-01-01	A	73,95	6,72
4	3	73-020-01-01	A	76,17	6,92
14	4	78-120-01-01	A	78,02	7,09
2	5	71-040-01-01	A	79,62	7,23
9	6	78-060-01-01	A	80,86	7,35
8	7	78-050-01-01	A	81,48	7,4
11	8	78-080-01-01	A	82,71	7,51
10	9	78-070-01-01	A	83,95	7,63
12	10	78-100-01-01	A	85,8	7,8
1	11	71-010-01-01	A	90,12	8,19
5	12	73-030-01-01	I	69,56	79,05
3	13	73-010-01-01	I	72,09	79,28
7	14	78-011-01-01	I	86,66	80,6
6	15	74-020-01-01	K	74,44	97,67

V Tabulce 12 platí, že: Číslo – určení pořadí, ve kterém byly TC řešeny, Číslo posloupnosti – **číslo sekvence údržby, tj. číslo podle kterého by se TC měly provádět.** Toto seřazení bylo provedeno ručně, v softwarovém řešení by byla tato sekvence provedena např. pomocí algoritmu jako je Double Sort (kapitola 3.8). Vnější priorita – je stanovena z TC podle požadavku na funkční systémy (viz *). Vnitřní priorita – je číselným vyhodnocením sady otázek viz rovnice (1). Konečná priorita – je číselné určení priority každé jedné TC (kapitola 3.7). Ukázka vyhodnocení jedné konkrétní TC je uvedena v Příloze (3).

* Pokud nebylo možné přímo určit vnější prioritu, byla použita základní logika problematiky.
"Pokud provádím test, při kterém je nutné být v pilotní kabině s funkčním elektrickým



a hydraulickým systémem, potom se u takovéto TC může změnit určení z původní skupiny vnějších priorit do jiné skupiny vnějších priorit, která toto testování umožňuje (tzn. může se lišit od původního zařazení vnější priority). Toto zařazení bylo možné rozeznat několika způsoby, avšak nejčastěji bylo rozhodnuto podle požadavku AMM (kapitola 3.4).“

Tabulka 13: Sekvence údržby plynoucí z Tabulky 12

Operation
Visual check
Restore
Replace
Inspection

Tabulka 13 ukazuje sekvenci údržby plynoucí z výše uvedených Tabulek 11 a 12, přičemž se logicky postupuje od celků k jednotlivým komponentám.

Následující tabulky jsou příklady možného vyhodnocení TC jiných systémů než ATA 70-78, a to ATA: 21 (klimatizační systém), 28 (elektrický systém), 32 (systém podvozku).



Tabulka 14: Vyhodnocení priorit TC pro ATA 21

Číslo	Číslo posloupnosti	TC	Skupina	Vnitřní priorita	Konečná priorita
12	1	21-120-00-01	A	76,41975	6,94725
13	2	21-130-00-01	A	78,88889	7,171717
3	3	21-020-00-01	A	85,67901	7,789
5	4	21-050-00-01	A	86,2963	7,84511
6	5	21-060-00-01	A	92,46914	8,406285
2	6	21-015-00-01	D	77,03704	34,27337
14	7	21-150-00-01	D	90	34,4518
7	8	21-070-00-01	E	86,91358	44,26123
11	9	21-110-00-01	K	72,09877	97,45443
1	10	21-010-00-01	K	74,1975	97,64
8	11	21-080-00-01	K	78,02469	97,99315
10	12	21-100-00-01	K	82,59259	98,40842
9	13	21-090-00-01	K	84,81481	98,61044
4	14	21-040-00-01	K	80,1235	98,184
15	15	21-190-00-01	K	95,30864	99,56442

Tabulka 14 ukazuje možné vyhodnocení systému ATA-21 a posloupnost TC v průběhu údržby. Popis Tabulky 14 je shodný s popisem Tabulky 12, liší se pouze vyhodnocovanou ATA. TC, které byly duplicitní, byly vybrány vždy pouze jednou. Důvodem by byla stejná hodnota priority, v takovém případě rozhodnutí zůstává na vedoucím pracovníkovi.



Tabulka 15: Vyhodnocení priorit TC pro ATA 28

Číslo	Číslo posloupnosti	TC	Skupina	Vnitřní priorita	Konečná priorita
4	1	28-040-00-01	A	76,79012	6,98092
16	2	28-125-00-01	A	78,0247	7,09315
5	3	28-050-00-01	A	80,8642	7,35129
14	4	28-110-00-01	B	74,6914	15,881
6	5	28-054-00-01	B	76,1728	16,0157
7	6	28-056-00-01	B	76,4374	16,0398
10	7	28-070-00-01	B	77,1605	16,1055
19	8	28-150-00-01	D	78,65961	34,42357
21	9	28-173-00-01	F	75,2028	52,2911
15	10	28-115-00-01	F	78,0247	52,5477
26	11	28-207-00-01	F	77,231	54,3755
22	12	28-199-00-01	F	76,1728	52,3793
18	13	28-140-00-01	K	77,68959	97,97178
25	14	28-205-00-01	K	73,2069	98,0279
20	15	28-170-00-01	K	78,9242	98,08401
11	16	28-080-00-01	K	79,0123	98,092
24	17	28-201-00-01	K	80,2469	98,2043
27	18	28-213-00-01	K	80,9877	98,2716
8	19	28-060-01-01	K	81,11111	98,28283
13	20	28-100-00-01	K	82,5926	98,4175
1	21	28-010-00-01	K	83,3333	98,4848
23	22	28-200-00-01	K	83,5802	98,5073
3	23	28-030-00-01	K	83,59788	98,5089
12	24	28-090-00-01	K	84,5679	98,59708
9	25	28-060-03-01	K	84,04938	98,73176
17	26	28-130-00-01	K	87,28395	98,84399
2	27	28-020-01-01	K	95,06173	99,55107

Popis Tabulky 15 je stejný jako u Tabulky 12, liší se pouze vyhodnocovanou ATA



Tabulka 16: Vyhodnocení priorit TC pro ATA 32

Číslo	Číslo posloupnosti	TC	Skupina	Vnitřní priorita	Konečná priorita
15	1	32-300-00-01	C	78,29506	23,30862
9	2	32-230-00-01	C	77,16049	25,19639
10	3	32-240-00-01	C	78,0247	25,275
14	4	32-290-00-01	C	79,0123	25,3647
27	5	32-480-00-01	C	84,1975	25,83612
16	6	32-310-00-01	C	87,65432	26,15037
4	7	32-040-01-01	D	60,2469	32,7497
24	8	32-420-00-01	D	76,79012	34,25362
5	9	32-050-01-01	D	90,74074	35,52186
22	10	32-390-00-01	G	85,18519	62,28951
23	11	32-400-00-01	G	87,03704	62,45786
6	12	32-110-00-01	G	86,41975	62,40174
28	13	32-490-00-01	H	85,4321	71,40285
3	14	32-030-01-01	J	94,44444	90,40404
8	15	32-200-00-01	K	75,556	97,7778
29	16	32-720-01-01	K	79,0123	98,092
25	17	32-430-00-01	K	80,8642	98,26038
18	18	32-340-00-01	K	81,48148	98,3265
30	19	32-800-00-01	K	83,3333	98,4848
13	20	32-270-01-01	K	82,71605	98,47873
19	21	32-350-00-01	K	83,9506	98,541
26	22	32-440-00-01	K	85,1819	98,6532
7	23	32-120-00-01	K	85,1852	98,6532
21	24	32-380-00-01	K	85,80247	98,70931
12	25	32-260-00-01	K	87,03704	98,82155
20	26	32-360-00-01	K	90,7407	99,1582
11	27	32-250-00-01	K	92,59259	99,3266
17	28	32-330-00-01	K	93,2098	99,38272
1	29	32-010-01-01	K	94,4444	99,49495
2	30	32-020-01-01	K	95,67901	99,60718

Popis Tabulky 16 je stejný jako u Tabulky 12, liší se pouze vyhodnocovanou ATA.

Tabulky (12, 14, 15 a 16) budou následně použity v kapitole 7, kde budou porovnány podle času s daty (údaji) z provedených revizí.



5. Vytvoření metodického postupu pro stanovování posloupnosti prací v HM

Pro vytvoření metodického postupu byla zvolena forma převedení uvedených postupů do formátu standardizovaného vývojového diagramu. Tento diagram reaguje na stanovené a popsané myšlenky řešení prioritizace TC. Je sestaven tak, aby byl co nejefektivnější a odrážel veškeré skutečnosti v této popsané.

Do diagramu byly zahrnuty i kontrolní mechanismy, které v této práci nebyly zmíněny. Tyto kontrolní mechanismy byly přidány za účelem ověření počtu operací nebo správnosti dané operace samotné.

Diagram může být realizován v navržené podobě (Příloha 4), je návrhem implementace samotné. Může být upravován (zkrácen, doplněn) v závislosti na zkušenostech z provozu, na IT specialistovi, který diagram bude aplikovat do softwarového řešení nebo na požadavcích jiných zainteresovaných osob.

Z tohoto důvodu byla zvolena forma tzv. volného formátu diagramu (vývojový diagram), který je možné dále upravovat, doplňovat a obecně dále vylepšovat jak po stránce tzv. strojového času (čas, který je nutný pro počítačové zpracování dané úlohy), tak jeho možné konektivity s jinými zavedenými systémy, jako jsou záznamové systémy pro údržbu (AMOS).

5.1 Ověření počtu operací

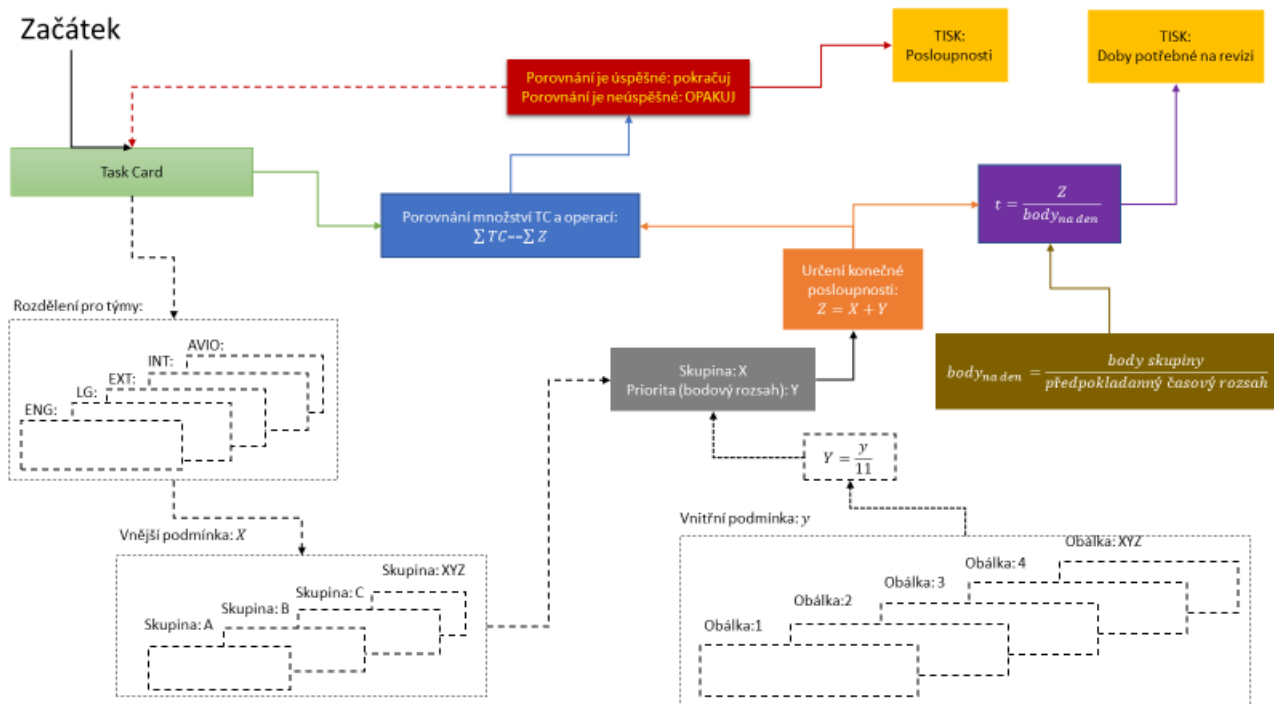
Tato podkapitola se vztahuje k vývojovému diagramu (Příloha 4).

Jedním z nejdůležitějších úkolů je ověření počtu operací, tj. provedení kontroly, zda byly zpracovány veškeré TC, které byly zadány. Důvodem zavedení kontrolního mechanismu je, že jakýkoliv systém musí mít zpětnou vazbu, aby byla zaručena správnost práce tohoto systému.

Tento proces je možné realizovat pomocí rozdílu celkového počtu již zpracovaných TC a TC, které měly být zpracovány.

Procesem projdou všechny karty, které měly být zpracovány, čímž se dosáhne vysoké míry jistoty komplexnosti výstupních hodnot. Poté následuje výstupní proces „TISK“, který může mít formu tisku nebo softwarové tabulky, např. Excel.

Obrázek 15: Celkové konečné schéma systému



Obrázek 15 ukazuje kompletní diagram navrženého systému s vyobrazením všech potřebných vztahů a přepočtů.



6. Vyhodnocení a validace navrženého řešení

Tato kapitola shrnuje veškeré dosažené poznatky. Je rozdělena na dvě části, a to na teoretickou a praktickou část s validací výsledků. V první části se zaměřuji na vyhodnocení navrženého řešení (kapitola 3 a 4). V druhé části se zaměřím na problematiku validace výsledku a její interpretaci.

Následně bude vyhodnoceno, jaká opatření je potřeba přijmout k tomu, aby výsledek této práce byl co nejefektivnější.

6.1 Vyhodnocení teoretické části

V teoretické části jsem komplexně popsal problematiku. Poté jsem provedl rozbor současného stavu. Z rozboru stavu údržby a rozhovorů se zaměstnanci následně vyplynuly požadavky na navržené řešení.

Následně jsem provedl analýzu vhodnosti metod použitelných pro zpracování zadaného tématu. Z těchto metod se ukázala nejvhodnější metoda vnějších a vnitřních priorit, a to zejména proto, že poskytuje poměrně vysokou flexibilitu v roztřídění a uspořádání dat.

Použil jsem metodu, která co nejvíce odráží stav údržby v čase. Jako vnější prioritu jsem uvažoval stav letounu, ve kterém se během údržby nachází a popsal ho pomocí čtyř zvolených letadlových systémů.

Poté jsem určil vnitřní priority. V tom mi velice pomohly rozborů rozhovorů se zaměstnanci. Vnitřní priority jsem určil jako sadu tematických okruhů a otázek, které pomyslně pokládám jednotlivým TC.

Součtem hodnot vnější (X) a vnitřní priority (Y) byla získána celková (konečná) priorita (Z) jedné TC, tj. bodová hodnota v posloupnosti všech TC. Na základě této konečné priority (Z) byla stanovena predikce předpokládaného dne provedení TC (T_{karty}). Tato skutečnost je dále využita v praktické části (6.3 a 6.4).

Při zpracování praktické části se ale projevil relativně malý objem otázek vnitřní priority. To lze vyřešit až použitím v praxi, kde se ukáže, kolik otázek je potřeba skutečně doplnit, případně přehodnotit. Totéž se týká metodiky určení predikce provedení TC (viz podkapitola 6.5).



I přes drobné nedostatky navrženého řešení se ukazuje přínos tohoto nového pohledu na danou problematiku. Jak ukázala praktická část, předpokládané benefity tohoto řešení jsou zejména ve zjednodušení organizace práce a plánování provádění údržby.

Výsledkem teoretické části je určení konečné posloupnosti TC (kapitola 3.8), aplikační schéma (kapitola 5) a ověření počtu operací.

6.2 Vyhodnocení praktické části

Při vytváření konkrétního postupu se ukázala poměrně vysoká náročnost zvoleného řešení, a to zejména v množství částí, které mohou ovlivnit celkové řešení. Na různé TC nelze vždy aplikovat 100% stejný postup, a to zejména u TC, které jsou systémově hlouběji propojeny. U takových TC se ukázalo, že u ručního vyhodnocení je poměrně snadné udělat neúmyslnou chybu, která se následně promítá do všech dílčích částí až nakonec může způsobit neakceptovatelný výsledek. Takový výsledek pak udává vysoké časové hodnoty, které jsou mimo uvažovanou celkovou dobu revize.

Tyto chyby lze eliminovat strojovým vyhodnocením a lepším promýšlením souvislostí, které se na začátku práce jevily jako ne zcela podstatné. Dobrým příkladem je souslednost prací a jejich vliv na údržbu daného letadlového systému.

Při vyhodnocení praktické části se též ukázalo, že není zcela vhodné vyhodnocovat sady TC ručně, a to zejména kvůli časové náročnosti a lidskému faktoru. Tento aspekt jsem vyřešil vytvořením naprogramovatelného návrhu aplikačního schématu.

Dále bylo nutné zohlednit neočekávané chyby validačních dat, jako např. několikanásobné logování zaměstnanců k TC apod. (viz validace výsledků).

Zároveň se ukázalo, že ne všechna navržená řešení jsou zcela vhodná pro tuto problematiku (viz podkapitola 6.5).

I přes tyto nevýhody, které se dají vyřešit za provozu doplněním systému o další vnitřní podmínky, případně jeho spojením s jiným vyvíjeným celkem, má tato práce nesporné výhody.

Hlavní výhodou a důvodem, proč se systém vyvíjel je skutečnost, že je možné dopředu predikovat posloupnost prací. Dále je možné určit přibližnou dobu revize, která je zpracována na základě náročnosti jednotlivých TC. Umožňuje pracovníkům plánování lépe zvládat



přípravy na revize, lépe odhadovat potřebný materiál a lépe organizovat dodání příslušných dílů k danému úkonu.

Pro pracovníky údržby je tento systém přínosný ve zjednodušení rozhodování o posloupnosti prací, lepším plánování revize (zejména v predikci následujících úkonů) a též možnosti lépe odhadovat závažnost jednotlivých TC.

Celkově práce přináší nový pohled na plánování a provádění údržby.

Výsledkem praktické části je vyhodnocení posloupnosti TC, kapitola 5, Tabulky 12, 14, 15 a 16 s výsledky konečné priority, tj. posloupnosti.

6.3 Validace výsledků

Pro validaci výsledků byly použity záznamy z údržby konkrétních letadel, u kterých proběhla těžká údržba. Validace byla provedena na systémech, které byly vyhodnocovány (ATA: 21, 28, 32, 70-78). Validací tabulky jsou v Příloze 5.

Aby bylo možné výsledky validovat, bylo nutné najít data, podle kterých validace mohla vzniknout. Jelikož práce je zaměřená na posloupnost TC, což samo osobě je v podstatě nevalidovatelné bez vnějších dat, musela se najít data, která mohla být validována. Takovými daty se ukázal čas provedení TC. Dle návrhu prioritizace TC je možné čas provedení TC vypočítat dle rovnice (11). Tento vypočítaný čas je možné porovnat s časem provedení TC z reálně provedené revize.

Jako výchozí, tedy validační data, byla použita data z reálných revizí a validovaná data jako data, která byla vypočtena navrženou metodou priorit (kapitola 3). Validovaná data jsou data, která byla vyhodnocena aplikací rovnice (11) na konečnou prioritu TC, která je uvedena v Tabulkách 12, 14, 15 a 16 (kapitola 5). Z těchto dat byly vytvořeny tzv. validační tabulky. Následným porovnáním dat z reálné revize a výsledků navržené metody byla určena jejich shoda, diference a míra diference výsledků.



Tabulka 17: Příklad validace ATA 21 podle dne provedení TC

Porovnání dne provedení TC			
Den provedení reálné	TC	Předpokládaný den provedení	TC
2	21-070-00-01	2,92	21-070-00-01
2	21-080-00-01	4,89	21-080-00-01
2	21-130-00-01	2,36	21-130-00-01
2	21-030-00-01		
2	21-020-00-01	2,57	21-020-00-01
3	21-060-00-01	2,58	21-060-00-01

Tabulka 17 ukazuje příklad validace ATA 21 podle dne provedení TC. Zeleně jsou označeny TC, které se shodují. Červeně jsou označeny TC, které jsou rozdílné. Fialově jsou označeny TC, u kterých nebyla nalezena odpovídající vyhodnocovaná TC (nebyla v souboru vyhodnocovaných TC). Den provedení reálné TC je vybrán ze zdrojových dat (1.sloupec), předpokládaný den provedení (3.sloupec) je aplikací vzorce (11) na konečnou prioritu, která je uvedena v Tabulkách 12, 14, 15 a 16 (kapitola 5).

Předpokládaný den provedení TC je dán výpočtem, jak bylo uvedeno. Číselná hodnota např. u ATA 21-070-00-01 je 2,92. To znamená, že tato TC by měla být prováděna na konci druhého dne. Tato hodnota ovšem neakceptuje jiné TC, před ní nebo po ní. Pokud by tato karta měla mít nejvyšší prioritu, ale výpočet předpokládaného dne by vyšel vysoký a před touto kartou by jiná nebyla, tak by se tato TC měla provádět dříve. Toto číslo se dá ovlivnit buď zpřesněním čísla konečné priority, nebo úpravou počtu dnů na danou skupinu, do které TC spadá.

Následně byla určena shoda TC v čase. Tato shoda je znázorněna Tabulkou 18 pro jednotlivé ATA a Tabulkou 19, kde je uvedena celková shoda na každou jednu provedenou revizi.



Tabulka 18: Shoda jednotlivých ATA u jednotlivých revizí

ATA	Shoda revize 1 [%]	Shoda revize 2 [%]	Shoda revize 3 [%]
21	60	66,66	66,66
28	75	60	62,5
32	50	37,5	70
70-78	40	100	50

Tabulka 18 ukazuje celkovou shodu jednotlivých ATA s reálným časovým průběhem a s předpokládaným časovým průběhem. Z tabulky vyplývá, že u jednotlivých revizí a u jednotlivých ATA, je tato shoda různorodá. To může být důsledkem například: nesprávného logování pracovníků (vícenásobné logování), TC obsahující testy, specifické případy (navržené řešení nevhodně pokrývá danou TC).

Dále z Tabulky 18 vyplývá, že změna posloupnosti oproti reálnému průběhu by u různých ATA měla různý účinek. Například u ATA 21 a 28 by změna měla malý vliv, naopak vyšší vliv by měla u ATA 32 a 70–78, protože se vyskytují shody, které jsou pod 60 %. Díky tomuto srovnání by bylo možné dříve identifikovat nálezy (WO). Z toho vyplývá, že i celková doba revize by byla zkrácena.

Tabulka 19: Celková shoda u všech jednotlivých revizí

Celková shoda revize 1 [%]	Celková shoda revize 2 [%]	Celková shoda revize 3 [%]
56,25	64,54	62,29

Z porovnání validačních tabulek a výsledků vyplývá, že shoda TC u všech tří zkoumaných revizí se pohybuje v rozmezí 56,25 % až 63,54 %. Tato shoda se dala očekávat, protože prioritizace částečně vychází z požadavku pracovníků, tudíž posloupnost se alespoň přibližně musela shodovat. Celková neshoda se pohybuje v rozmezí 36,5 % až 43,75 %.

Aby bylo možné lépe určit efektivitu, bylo zapotřebí vyhodnotit celkovou dobu revize. Tato doba byla vytvořena jako suma všech dob reálné revize a revize predikované. Následně byly z reálné revize vyjmuty všechny TC, ke kterým u predikované revize nebyla nalezena odpovídající TC. Výsledné hodnoty jsou použity u vyhodnocení míry difference. Ze srovnání reálné a predikované celkové doby vyplývá, že **doba u predikované revize je kratší než u reálné.**



Tabulka 20: Srovnání reálného a predikovaného času

Srovnání celkového času [dny]					
Revize 1		Revize 2		Revize 3	
Celková délka reálné revize	Celková délka predikované revize	Celková délka reálné revize	Celková délka predikované revize	Celková délka reálné revize	Celková délka predikované revize
87	82,74	160	67,68	143	110,88

Tabulka 20 ukazuje porovnání součtu jednotlivých časů TC jak u reálných, tak u predikovaných revizí. Z tabulky vyplývá, že **predikovaná doba revize je kratší** než reálná. Využití navržené metody tak vede ke **zkrácení doby revize, a tím zvýšení efektivity** a snížení nákladů na údržbu.

6.4 Porovnání výsledků validace

Aby mohly být výsledky považovány za validované, musela být vypočtena míra difference a celková míra difference (průměr všech měř difference). Pokud celkových měř difference bylo více, byla vypočtena souhrnná míra difference jako průměr všech celkových měř difference.

Kritérium validace

Hladina validace, resp. kritérium validace, je hodnotou minimálního rozlišitelného výsledku, tj. minimální neshody. Je stanovena na 20 %, protože tato hladina již přináší viditelnou pozitivní změnu efektivity. Pokud by byl výsledek pod touto nastavenou hladinou, cíl práce, tj. zvýšit efektivitu, by nebyl dosažen, výsledek by od skutečné revize nebyl rozlišitelný.

Míra difference je dána vztahem: (12)

$$\delta = \left(\frac{Dx}{Xs} \right) * 100 [\%]$$

Vztah (12) je dán rozdílem absolutní chyby Dx k absolutnímu naměřenému číslu Xs .



Pro výpočet je možné použít zjednodušený vztah: (13)

$$\delta = \frac{|r - p|}{r} * 100 [\%]$$

Kde: r je hodnota z reálné revize, p je hodnota z predikované revize.

Celková míra difference: (14)

$$x = \frac{\sum \delta}{n}$$

Vztah (14) je podíl sumy všech měř diferencí k jejich počtu n .

Tabulka 21: Procentuální míra difference posloupnosti TC s neplatnými daty

Revize	Celková míra difference s neplatnými daty [%]
1	49,66
2	62,11
3	33,04

Tabulka 21: ukazuje procentuální míru difference s neplatnými daty. Tato data mohou být např. chyba logování (mechanik je na jednu TC napsán vícekrát v podobný čas, TC je logovaná v různých dnech apod.). Tato data bylo třeba vyřadit z vyhodnocení.

Tabulka 22: Celková míra difference posloupnosti TC bez neplatných dat

Revize	Celková míra difference bez neplatných dat: [%]
1	26,86
2	37,97
3	29,76

Tabulka 22 ukazuje procentuální míru difference bez neplatných dat. Z tabulky je patrné, že došlo ke změně posloupnosti, k největší změně dochází u revize 2. Pro výpočet byl použit vztah (14).



Souhrnná míra difference je průměr všech celkových měr diferencí bez neplatných dat (viz Tabulka 22), činí 31,53 %. Tato souhrnná míra difference je vyjádřením celkového procentuálního rozdílu mezi reálnou a predikovanou revizí vytvořenou podle této práce.

Tabulka 23: Míra difference a celková míra difference srovnána podle času reálné a predikované revize

Míra difference času revize [%]			
	Revize 1	Revize 2	Revize 3
Míra difference	4,90	57,70	22,46
Celková míra difference	28,35		

Tabulka 23 ukazuje míru difference a celkovou míru difference srovnanou podle času reálné a predikované revize. Pro tuto tabulku je výchozí Tabulka 20. Pro výpočet difference byl použit vztah (13) a pro celkovou míru difference vztah (14). Hodnota celkové míry difference splňuje požadované kritérium validace.

Tabulka 20 ukazuje zřetelný pokles časové náročnosti predikované revize. Na tuto skutečnost navazují výsledky z Tabulky 23. **Z nich vyplývá, že predikovaná revize je o 28,3 % kratší, tedy efektivnější než reálná revize.** Výše zmíněné zvýšení efektivity ale nebylo možné ověřit v reálné praxi. Na základě rozhovorů s pracovníky údržby a osobní zkušenosti nicméně vyplývá, že je možné v reálných podmínkách tohoto zefektivnění dosáhnout.

6.5 Opatření při aplikaci navrženého řešení

Z výše uvedených Tabulek 12, 14, 15, 16, 22 a 23 vyplývá, že uvedený postup prioritizace TC je funkční a aplikovatelný na jakýkoliv letadlový celek dle ATA 100.

Ruční vyhodnocení obsáhlejších sad TC (pro celý systém) je časově náročné. Tento postup se však dá nahradit aplikací softwarového řešení, jehož navržená podoba je v Příloze 4.

Přesné logování pracovníků údržby na konkrétní TC je nezbytným předpokladem pro lepší optimalizaci. Tím se omezí pravděpodobnost chyb logování.



Je nutné eliminovat možné chyby ve specifických případech, ať už u TC, které byly chybně zařazeny nebo u jiných TC, kde se mohla vyskytnout chyba vlivem nedostatečného pokrytí dané TC odpovídajícím počtem uvažovaných otázek. Je třeba lepší spolupráce mezi oddělení plánování a provádění údržby s následným doplněním navrženého řešení o další data.

Dále je možné rozšířit uvažované řešení o využití dat z jiných zdrojů, např. záznamového systému údržby a AMM. A to pro zpřesnění posloupnosti TC a predikce doby údržby.

Přepočítání na den zatím nekonkretizuje množství karet pro daný systém ani celkové množství karet. Proto u výpočtu předpokládaného dne provedení TC je možné se setkat s výsledky jako 4,89 dnů. To je správně, pokud je zohledněno, že se má TC provádět na konci čtvrtého pracovního dne. Ale je zavádějící, pokud o TC není uvažováno v souvislosti s jinými TC. To lze ovlivnit níže uvedenými způsoby:

- a) Zpřesněním hodnoty výsledků celkové priority nebo úpravou počtu předpokládaných dnů na danou skupinu, do které tato karta spadá. To by znamenalo navržené řešení propojit se zdrojem dat, jak již bylo uvedeno výše.
- b) Upřesnit výpočet pomocí prediktivních algoritmů. Na základě vstupních dat a jejich provázanosti jsou tyto algoritmy schopné přesněji vypočítat předpokládaný den provedení TC. Souhrnně se takovéto algoritmy nazývají Rate-Predictive Control (RPC). [27], [28]

Z praktické části se dále ukázala nutnost optimalizace vyřešení souběžnosti prací podle TC, resp. souběžných TC, které mají podobné zaměření. To lze změnit přidáním otázek do vnitřní priority.



Závěr

Tématem této práce bylo zvýšení efektivity letecké údržby se zaměřením na optimalizaci posloupnosti prací. Což znamená vytvoření metodického postupu pro stanovení posloupnosti úkolových karet (tzv. TC), který by zjednodušoval plánování, provádění údržby. Následně jsem provedl validaci, která ukázala efektivitu řešení.

Cílem práce bylo navrhnout řešení nedostatků současného stavu plánování a provádění údržby, zejména v oblastech stanovení posloupnosti provádění jednotlivých úkolových karet, které se stále zakládá spíše na znalostech a odbornosti vedoucího pracovníka než na datech z provádění údržby. To vede k omezené možnosti efektivního plánování údržby, objednávání náhradních dílů apod.

Pro dosažení stanoveného cíle byl zvolen postup bodového hodnocení jednotlivých TC na základě tzv. vnějších a vnitřních priorit. Všechny TC, které jsou ohodnoceny, je možné uspořádat od nejnižší po nejvyšší hodnotu. Toto rozdělení je konečnou prioritizací všech TC.

Poté byl tento postup převeden do vývojového diagramu, který je možné dále upravovat a rozvíjet v závislosti na požadavcích jednotlivých provozovatelů.

Z vyhodnocení všech částí práce lze tvrdit, že se podařilo dosáhnout jejího cíle, tj. zvýšit efektivitu provádění posloupnosti TC. Zvýšení efektivity bylo vypočteno z porovnání časů reálné a predikované revize. Došlo k souhrnnému zkrácení času cca o 30 %, což je hodnota nad stanoveným kritériem validace. Zřejmým výsledkem zjištěné úspory času je zvýšení efektivity údržby. Výše zmíněné zvýšení efektivity ale nebylo možné ověřit v praxi. Na základě rozhovorů s pracovníky údržby a osobní zkušenosti nicméně vyplývá, že je možné v reálných podmínkách tohoto zefektivnění dosáhnout.

Díky tomuto zefektivnění je patrné, že je možné nejen celkovou dobu revize zkrátit a snížit náklady na údržbu, ale také dříve identifikovat případné nálezy.

Práce se nezabývala tématy určení TC na strukturální poškození draku letadla a kompatibilitou navrženého řešení se záznamovými softwary. V práci nebyla řešena kvantifikace následujících parametrů jako je stáří letounu, letové hodiny, letové cykly a historie provozu. I tak ale postup uvedený v této práci přináší nový pohled na danou problematiku, který v údržbě letadel ještě nebyl vyzkoušen a je tudíž inovativním řešením založeném na vyhodnocování obsahu každé jedné TC.



Celý navržený postup je možné počítačově zpracovat, což mu dává možnost využitelnosti v širším spektru údržby, lze ho aplikovat i v jiných organizacích MRO. Pro ně lze postup přizpůsobit přidáním otázek řešících vnitřní prioritu, a tím pokrýt specifika jednotlivých organizací. Díky tomu jej lze využít nejen u tuzemských, ale i u zahraničních společností.

V návaznosti má z mého hlediska smysl v tomto tématu pokračovat. Tato práce navrhuje ojedinělou (podle mě známých a dostupných informací) možnost řešení prioritizace a efektivity plánování a provádění údržby. Při rozvíjení celého tématu je možné řešit prozatímně otevřené problémy (např. zpřesnit metodu určení času), a tím dále zvyšovat efektivitu navrženého postupu. Tyto problémy jsou souhrnně popsány v podkapitole 6.5. Výsledky lze zpřesnit využitím některé z matematických metod (např. Asociační statistická analýza) a dále zahrnout navrženou metodu do vznikajících komplexních postupů údržby.



Seznam použité literatury:

- [1] EVROPSKÁ KOMISE. Eur-lex. *Europa.eu* [online]. 2014 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1321>
- [2] EASA. *Easy Access Rules for continuing Airworthiness (Regulation (EU) No 1321/2014)*. European Union, 2022.
- [3] NATIONAL AVIATION ACADEMY. Types of Aviation Maintenance Checks. *National Aviation Academy* [online]. 2020 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.naa.edu/types-of-aviation-maintenance-checks/>
- [4] SKYBRARY. Aircraft Maintenance. *SKYbrary* [online]. [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/aircraft-maintenance>
- [5] QANTAS. The A,C, and D of aircraft maintenance. *Qantas* [online]. 2016 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.qantasnewsroom.com.au/roo-tales/the-a-c-and-d-of-aircraft-maintenance/>
- [6] AIRCRAFT ENGINEER. Aircraft maintenance checks. *Aircraft EngineeR* [online]. 2016 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.aircraftengineer.info/aircraft-maintenance-checks/>
- [7] ČORBA, Stanislav, Karel DRAXLER, Vlastimil JIRÁČEK et al. *Aerodynamika, konstrukce a systémy letadel*. Učební texty pro teoretickou přípravu osvědčujícího personálu údržby letadel dle předpisu JAR-66. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-7204-367-6.
- [8] DRAXLER, Karel, Jiráček VLASTIMIL, Lidvík KULČÁK, Vladimír NĚMEC, Svatomír SLAVÍK a Teichl JAROMÍR. *Aerodynamika, konstrukce a systémy letounů*. Učební texty



pro teoretickou přípravu osvědčujícího personálu údržby letadel dle předpisu JAR-66.
Brno: CERM, 2004.

- [9] REMER, Dale. Aircraft systems for pilots. 4th ed. *Abul* [online]. [cit. 2. 8. 2023]. ISBN 978-1-61954-628-8. Dostupné z: <https://www.abul.org.br/biblioteca/75.pdf>
- [10] AEROSPACE UNLIM. List of ATA 100 Chapter. *Aerospace Unlimited* - [online]. c2023 [cit. 2.8.2023]. Dostupné z: <https://www.aerospaceunlimited.com/ata-chapters/>
- [11] DRAXLER, Karel, Jiráček VLASTIMIL, Ludvík KULČÁK, Němec VLADIMÍR, Svatomír SLAVÍK a Teichl JAROMÍR. *Aerodynamika, Instrukce a systémy letounů: Studijní modul 11, část 1*. Učební texty pro teoretickou přípravu osvědčujícího personálu údržby letadel dle předpisu JAR-66. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005.
- [12] KOCÁB, Josef. *Letadlové motory*. 2. vyd. Praha: Corona, 2008. ISBN 978-80-86116-54-9.
- [13] HANUS, Daniel a Josef MARŠÁLEK. *Turbínový motor*. Učební texty dle předpisu JAR-66. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-7204-369-2.
- [14] NORTH CENTRAL INSTITUTE. The Evolution of Aviation Maintenance. *North Central Institute* [online]. [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://nci.edu/2020/12/09/the-evolution-of-aviation-maintenance/>
- [15] DOUGLES AIRCRAFT COMPANY, Inc. *DC-3 model 229 for PAN American-Grace Airway*. Santa Monica: Douglas Aircraft Company, 1937.
- [16] SKYBRARY. Maintenance Steering Group-3 (MSG-3). *SKYbrary* [online]. [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/maintenance-steering-group-3-msg-3>



- [17] SKYBRARY. Job Card. *SKYBrary* [online]. [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/job-card>
- [18] EASA EUROPEAN. Final report EASA Aeronautics & Space Direction. *Easa European* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/3878/en>
- [19] IBM CORPORATION. Configuring task cards and master task cards. *IBM Maximo Aviation* [online]. 2021 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/docs/en/maximo-for-aviation/7.6.7?topic=management-configuring-task-cards-master-task-cards>
- [20] CARELESS, James. The power of electronic Task Cards For MROs. *Avm-mag* [online]. 2022 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.avm-mag.com/the-power-of-electronic-task-cards-for-mros/>
- [21] EMPOWERMX. Maximize Mechanic Productivity Using Electronic Task Cards. *Empowermx* [online]. [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.empowermx.com/maximize-mechanic-productivity-using-electronic-task-cards/>
- [22] SWISS AVIATION SOFTWARE. AMOS: An MRO software solution to create stories of success. *Swiss Aviation Software* [online]. [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.swiss-as.com/amos-mro>
- [23] MARŠÍKOVÁ, Kateřina a Magdalena ZBRÁNKOVÁ. Úvod do managementu: Rozhodování. *E-learning TUL* [online]. 2013 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=146718>
- [24] INDEED. Career development: 7 Types of Statistical Analysis Techniques (and Process Steps). *Indeed* [online]. 2023 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z:



<https://www.indeed.com/career-advice/career-development/types-of-statistical-analysis>

- [25] MILLER, Kelsey. Business Insights Blog: 3 Statistical analysis methods you can use to make business decisions. *Harvard Business School Online* [online]. 2021 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://online.hbs.edu/blog/post/statistical-analysis-methods>
- [26] CHAVEY, Darrah P. Double sorting. *Proceedings of the 41st ACM technical symposium on Computer science education* [online]. New York, USA: ACM, 2010, 381-384 [cit. 2. 8. 2023]. ISBN 9781450300063. Dostupné z: doi:10.1145/1734263.1734392
- [27] TERZI, Enrico, Marcello FARINA, Lorenzo FAGIANO a Riccardo SCATTOLINI. Robust multi-rate predictive control using multi-step prediction models learned from data. *Automatica* [online]. 2022, 136 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: doi:10.1016/j.automatica.2021.109852
- [28] CONTROL ENGINEERING ČESKO. Co je to rychlostně prediktivní řízení? Vše o *průmyslu* [online]. Trade Media International 2020 [cit. 2. 8. 2023]. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/automatizace/automatizace-procesu/co-je-to-rychlostne-prediktivni-rizeni.html>



Seznam příloh

Příloha 1 – Typická Úkolová karta „TC

Příloha 2 – Odpovědi pracovníků údržby

Příloha 3 – Ukázka vyhodnocení jedné konkrétní TC: ATA 71-077-010-01-01

Příloha 4 – Příklad aplikačního schématu (vývojový diagram)

Příloha 5 – Validací tabulka pro revizi 1