



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy

**Rozdělení rutinních a dalších prací během inspekcí letadel**

**Distribution of Routine and Other Tasks During Aircraft  
Maintenance Inspections**

**Diplomová práce**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: Ing. Martin Kála

**Bc. Tomáš Ulrich**

---

Praha 2022



**K621.....Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Tomáš Ulrich**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterské – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Rozdělení rutinních a dalších prací během inspekcí letadel**

Název tématu (anglicky): Distribution of Routine and Other Tasks During Aircraft Maintenance Inspections

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout opatření pro zvýšení efektivity postupů údržby pomocí analýzy distribuce jednotlivých prací během inspekcí prováděných na složitých dopravních letadlech.
- Analyzujte současný přístup k těžké údržbě letadel s ohledem na provádění rutinních a dalších prací
- Analyzujte relevantní data z provozu letecké údržbové organizace
- Vyhodnoťte rozdělení rutinních a dalších prací v průběhu údržby
- Na základě analýz vypracujte návrh řešení pro zefektivnění provádění plánování prací během inspekcí složitých dopravních letadel
- Vytvořené řešení ověřte a vyhodnoťte



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: PALMER, Richard D. Maintenance Planning and Scheduling Handbook. Second Edition, The McGraw-Hill Companies, ©2006 DOI: 10.1036/0071457666  
Aviation Maintenance Technician Handbook – General U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2018, FAA-H-8083-30A.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Kála**

Datum zadání diplomové práce: **16. července 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 diplomové práce: **30. listopadu 2022**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Tomáš Ulrich  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 17. května 2022



## **Abstrakt**

Diplomová práce řeší problematiku plánování prací během údržby letadel. Cílem práce je navrhnout opatření pro zvýšení efektivity postupů údržby na základě skutečných dat poskytnutých údržbovou organizací. Práce se dívá na odvedenou údržbu z pohledu jednotlivých úkolových karet, které provozovatelé letadel požadují splnit v průběhu údržbového prostoje letadla. Z analýzy úkolových karet vyplývá, že jsou prováděny v různých částech revize. Na základě této analýzy je v práci navržena metoda pro vytvoření předpovědi časů, ve kterých budou pracovníci údržby pracovat na jednotlivých úkolových kartách v průběhu revize letadla. Metoda funguje na základě nejpravděpodobnějšího průběhu úkolové karty a použití střední hodnoty odpracovaných hodin na jednotlivých údržbových úkonech. Výsledky ukazují, že navrhovaná metoda dosahuje přesnějších výsledků než současně používaný způsob odhadu používaný v údržbové organizaci, která poskytla data pro vznik této práce.

**Klíčová slova:** údržba letadel, plánovaná údržba, těžká údržba, rozdělení prací, predikce



## **Abstract**

The diploma thesis deals with the issue of work scheduling during aircraft heavy maintenance. The thesis goal is to propose ways to increase the efficiency of maintenance procedures based on real data provided by maintenance organization. The thesis considers performed maintenance from the different point of view as usual scheduling, concerning individual task cards that aircraft operators require to be performed during the aircraft maintenance visit. The analysis of task cards shows that these are being processed in different phases of the maintenance visit. Based on this analysis, the thesis proposes a method for creating a forecast of timeframes in which maintenance personnel will work on individual task cards during the aircraft maintenance. The method is based on the most probable progress of the task cards and the use of the mean value of workhours spent on individual maintenance tasks. The results show that the proposed method achieves more accurate results than the currently used estimation method in the maintenance organization that provided the data for the creation of this work.

**Keywords:** aircraft maintenance, planned maintenance, heavy maintenance, task distribution, prediction



## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi byli oporou při tvorbě této práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Martinovi Kálovi a panu doc. Ing. Andreji Lališovi, Ph.D. za jejich cenné rady a vstřícné jednání. Dále bych chtěl poděkovat všem mým blízkým, kteří mi vytvořili vhodné podmínky po celou dobu mého studia.



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Rozdělení rutinních a dalších prací během inspekcí letadel vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

Praze dne 30. listopadu 2022

.....  
*Podpis*



## Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Přístup k údržbě letadel</b> .....	<b>16</b>
1.1 Základní podklady pro provedení údržby letadel .....	16
1.2 Dělení údržby z provozního hlediska .....	19
1.3 Certifikovaný personál.....	20
1.4 Současné vědecké výzkumy .....	21
1.5 Plánování těžké údržby letadel v CSAT .....	24
1.6 Shrnutí .....	27
<b>2 Analýza dat z provozu letecké údržbové organizace</b> .....	<b>29</b>
2.1 Využití software při analýze .....	29
2.2 Záznamy dat o údržbě v CSAT .....	31
2.2.1 Časové logy.....	33
2.2.2 MPD tvar dat .....	36
2.2.3 Odhad času stráveného na úkonech vytvořených CSAT .....	37
2.3 Filtrace a úprava dat .....	38
<b>3 Vyhodnocení rozdělení rutinních a dalších prací v průběhu údržby letadel</b> .....	<b>46</b>
3.1 Rozdělení úkonů v jednotlivých dnech revize .....	46
3.2 Rozdělení úkonů podle odpracovaného času .....	50
3.3 Rozdělení do specializovaných pracovních skupin.....	52
<b>4 Návrh zefektivnění provádění plánování prací během inspekcí složitých dopravních letadel</b> .....	<b>55</b>
4.1 Rozdělení úkonů do fází.....	55
4.2 Predikce odpracovaného času .....	57
4.3 Opatření pro zvýšení efektivity prací na základě návrhu predikce časů v jednotlivých fázích.....	61
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>62</b>
5.1 Predikce odpracovaného času .....	62





5.2	Predikce fáze .....	64
5.3	Predikce časů ve fázi .....	66
5.4	Predikce časů ve fázi očištěná o vliv predikce hodin na jednotlivých úkonech.....	68
5.5	Úspěšnost současného plánování.....	69
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>77</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>80</b>
	<b>Příloha 1 – Kompletní výsledky .....</b>	<b>81</b>
	Predikce s mediánem.....	81
	Predikce s průměrem.....	84
	Predikce s použitím skutečného času trvání úkonu údržby .....	88
	Predikce logů .....	92
	Predikce plánovaných prací podle současné metody CSAT.....	94



## Seznam obrázků

Obrázek 1-1 - Obecný postup při hodnocení kapacitní náročnosti sjednaného balíku prací při údržbě letadel, zdroj: upraveno z [14].....	22
Obrázek 1-2, Plánování revize v CSAT, zdroj: Autor .....	27
Obrázek 2-1 - Rozdělení úkonů v datech, zdroj: Autor .....	34
Obrázek 2-2, kód pro nahrání dat ze excelovských souborů, zdroj: Autor .....	38
Obrázek 2-3, kód pro zjištění konkrétní hodiny během dne, zdroj: Autor .....	39
Obrázek 2-4, Kód pro odfiltrování letadel typu ATR a nevhodně dlouhých revizí, zdroj: Autor .....	41
Obrázek 2-5, Algoritmus popisu funkce hledající název úkolové karty z popisu, zdroj: Autor .....	45
Obrázek 3-1, Rozdělení všech typů práce během jedné z kontrol typu „C“ na Airbusu A320, zdroj: Autor.....	47
Obrázek 3-2, Rozdělení všech typů práce během jedné z kontrol typu „D“ (též označované jako H MV tedy „Heavy maintenance visit“) na Boeingu 737-800, zdroj: Autor .....	48
Obrázek 3-3, Rozdělení práce na jednoznačně definovaných úkonech během jedné z kontrol typu „C“ na Airbusu A320, zdroj: Autor .....	49
Obrázek 3-4, Rozdělení práce na jednoznačně definovaných úkonech během jedné z kontrol typu „D“ (též označované jako H MV tedy „Heavy maintenance visit“) na Boeingu 737-800, zdroj: Autor .....	49
Obrázek 3-5, Závislost hodin a počtu dní, zdroj: Autor .....	50
Obrázek 3-6, Dlouhá revize s prostoji, zdroj: Autor .....	51
Obrázek 3-7, Dlouhá revize ve fázích odpracovaných hodin, zdroj: Autor .....	52
Obrázek 3-8, Poměr celkově odpracovaných hodin dané pracovní skupiny na plánovaných úkonech ve všech revizích, zdroj: Autor .....	54



---

Obrázek 4-1, Fáze, ve které na daném úkonu nastal první časový log, zdroj: Autor .....	56
Obrázek 4-2, poslední log za předpokladu prvního, zdroj: Autor.....	56
Obrázek 4-3, pravděpodobnost dalších logů za předpokladu prvního a poslední, zdroj: Autor .....	57
Obrázek 4-4, celkové počty odvedených hodin na jednom z úkonů ve všech revizích, ve kterých se objevil, zdroj: Autor .....	58
Obrázek 4-5, histogram počtu odvedených hodin na jednom z úkonů ve všech revizích, ve kterých se objevil, zdroj: Autor .....	59



## Seznam tabulek

Tabulka 1-1 – chronologický popis fází údržby letadel, zdroj: upraveno z [14].....	22
Tabulka 2-1, Výhody a nevýhody Pandas, zdroj: Autor.....	29
Tabulka 2-2, Výhody a nevýhody softwaru Matlab, zdroj: Autor.....	30
Tabulka 2-3, Výhody a nevýhody využití SQL databáze, zdroj: Autor .....	31
Tabulka 2-4, informace o časovém logu, zdroj: Autor .....	33
Tabulka 2-5, informace o prováděném úkonu v daném časovém logu, zdroj: Autor .....	35
Tabulka 2-6, informace o balíku prací, ke kterému se daný časový log váže, zdroj: Autor ....	36
Tabulka 2-7, Převodní tabulka na MPD tvar, zdroj: Autor .....	37
Tabulka 2-8, Údaje k vyhodnocení průběhu předchozích revizí, zdroj: Autor .....	37
Tabulka 2-9 - přeměna datových typů, zdroj: Autor .....	38
Tabulka 2-10, Popis expertních skupin, zdroj: Autor.....	41
Tabulka 2-11, možné začátky názvů vedoucích k identifikaci konkrétního úkonu, zdroj: Autor .....	42
Tabulka 4-1, Relativní odpracované hodiny na konkrétním úkonu v jednom z balíčků prací, zdroj: Autor.....	59
Tabulka 4-2, Ukázka predikce pro konkrétní úkon pomocí mediánu, zdroj: Autor .....	60
Tabulka 4-3, Ukázka predikce pro konkrétní úkon pomocí průměru, zdroj: Autor .....	61
Tabulka 5-1, Celková odchylka hodin, zdroj: Autor .....	62
Tabulka 5-2, Odchyly mezi predikcí a skutečně odvedeným počtem hodin na jednotlivých úkonech údržby při použití mediánu času, zdroj: Autor.....	63
Tabulka 5-3, Odchyly mezi predikcí a skutečně odvedeným počtem hodin na jednotlivých úkonech údržby při použití průměrného času, zdroj: Autor .....	64



Tabulka 5-4, Počet správně odhadnutých fází ve dvou fázovém rozdělení, zdroj: Autor.....	65
Tabulka 5-5, Počet správně odhadnutých fází v pěti fázovém rozdělení, zdroj: Autor.....	65
Tabulka 5-6, Vyhodnocení predikce odpracovaných hodin ve dvou fázích, zdroj: Autor .....	66
Tabulka 5-7, Vyhodnocení predikce odpracovaných hodin v 5 fázích, zdroj: Autor.....	66
Tabulka 5-8, Vyhodnocení predikce odpracovaných hodin v 10 fázích, zdroj: Autor.....	67
Tabulka 5-9, Vyhodnocení predikce očištěné o vliv predikce hodin na jednotlivých úkonech ve dvou fázích odpracovaných hodin, zdroj: Autor .....	68
Tabulka 5-10, Vyhodnocení predikce očištěné o vliv predikce hodin na jednotlivých úkonech v pěti fázích odpracovaných hodin, zdroj: Autor .....	69
Tabulka 5-11, Porovnání plánu proti skutečnosti, zdroj: Autor .....	70
Tabulka 5-12, Odchyly mezi predikcí a skutečně odvedeným počtem hodin na jednotlivých úkonech údržby při použití mediánu času, zdroj: Autor.....	71
Tabulka 5-13, Predikce CSAT pro dvě fáze, Zdroj: Autor .....	71
Tabulka 5-14, Predikce CSAT pro pět fází, Zdroj: Autor .....	72



## Seznam zkratek

Zkratka	Původní název	Český název
<b>AD</b>	Airworthiness Directive	Příkaz k zachování letové způsobilosti
<b>AL</b>	Airworthiness Limitation	Omezení letové způsobilosti
<b>AMO</b>	Approved Maintenance Organization	Organizace schválená k údržbě letadel
<b>AMOS</b>	Aircraft Maintenance and Engineering Operating system	Operační systém pro údržbu letadel
<b>ATA</b>	Air Transport Association	Asociace leteckých dopravců
<b>CAMO</b>	Continuing Airworthiness Management Organisation	Organizace řízení zachování letové způsobilosti
<b>CRS</b>	Certificate of Release to Service	Osvědčení o uvolnění do provozu
<b>CSAT</b>	Czech Airlines Technics a.s.	
<b>ČR</b>	Česká republika	
<b>ES</b>	Evropské společenství	
<b>EU</b>	Evropská unie	
<b>FIM</b>	Fault Isolation Manual	Manuál pro hledání příčiny chyb



<b>FRM</b>	Fault Reporting Manual	Manuál pro hledání příčiny chyb
<b>HMV</b>	Heavy Maintenance Visit	Návštěva těžké údržby
<b>MP</b>	Maintenance Program	Program údržby
<b>MPD</b>	Maintenance Planning Document	Dokument o programu údržby
<b>MRO</b>	Maintenance and Repair Organisation	Organizace schválená k údržbě letadel
<b>SB</b>	Service Bulletin	Servisní bulletin
<b>SQL</b>	Structured Query Language	Strukturovaný dotazovací jazyk
<b>TAT</b>	Turnaround Time	Celkový čas revize
<b>TC</b>	Task Card	Úkolová karta
<b>WP</b>	Workpackage	Balík prací



## Úvod

Predikce potřebných kapacit techniků je jeden z problémů, se kterým se potýkají oddělení plánující rozvržení pracovních sil v údržbových organizacích. Provozovatelé letadel objednávají u údržbových organizací celou řadu možných prací. Je administrativně i procesně náročné vyhodnotit pro každý krok z úkolových karet, ve kterém časovém okamžiku údržby letadla se na něm bude pracovat. Tyto predikce jsou však zásadní pro efektivní řízení kapacit pracovníků provádějících údržbu letadel. Vytvoření plánu údržby je jedním z hlavních úkolů, který stojí před údržbovou organizací. [1]

Produkční plánování je jedním z hlavních faktorů ovlivňující celkovou efektivitu organizací provádějící údržbu na letadlech. [2] Údržbové organizace se tak potýkají s problémem, jak efektivně vyhodnotit náročnost a rozložení prací v průběhu revize. V zásadě existují tři možnosti, které se údržbové organizaci mohou stát. V extrémních případech plánují příliš velké množství kapacit pro dané dny nebo naopak příliš malé. V optimálním scénáři může naplánovat přesné množství nutných kapacit v době, kdy jsou potřeba. Při naplánování příliš velké kapacity lidí riskuje neefektivitu při rozložení práce a rovněž je i těžší motivovat zaměstnance ke zvýšení výkonnosti, protože pracovní skupina obvykle zvládá odvést přidělenou práci za nižší výkonnosti. [3] Problém s naplánováním příliš nízké kapacity může vést až ke zpoždění plánovaného data ukončení revize, čímž společnost riskuje svou reputaci a případné penále za nedodržení smluvního data ukončení údržby letadla. Zároveň se tak firma připravuje o čas, který by mohla strávit prací pro další zákazníky. Dalším problémem s naplánováním příliš nízké kapacity je i horší vyhodnocování výkonosti dané skupiny pracovníků. Pro management je pak mnohem těžší se ptát, proč nebyla daná práce stihnuta, což zároveň může vést k nedorozumění mezi vedením organizace a pracovníky údržby. [3]

Údržbové organizace často uchovávají databáze, díky kterým sledují, kolik pracovních hodin bylo odvedeno na konkrétních úkolových kartách a ve který čas revize. Tyto záznamy tak představují velké množství údajů, které je možné analyzovat a vyhodnotit. Tato práce si tak klade za cíl navrhnout opatření pro zlepšení plánování údržby pro jednotlivé části revize na základě dat o provedených úkolových kartách. To má potenciál umožnit i bez zvýšení administrativní náročnosti při vyhodnocování sjednaných údržbových karet plánovat rozdělení odpracovaných hodin na jednotlivých údržbových úkonech v průběhu údržbového prostoje letadla. Práce se tak snaží o automatizované vyhodnocení každé úkolové karty zvlášť a vytvářet predikce pro budoucí údržbu, ve které se příslušná úkolová karta vyskytne.





## 1 Přístup k údržbě letadel

Tato kapitola je zaměřena na současný přístup k údržbě letadel a vysvětlení základních požadavků v mezích nutných pro pochopení analýzy dat ze skutečného provozu údržbové organizace a následného návrhu pro zlepšení plánování údržbových prací.

### 1.1 Základní podklady pro provedení údržby letadel

Každé letadlo se používáním opotřebovává, a tím pádem je na něm nutné provádět údržbu. Pravidla pro její provádění jsou uvedena na úrovni České republiky v předpise L6/I. Dle tohoto předpisu je provozovatel letadla povinen provádět na letadle údržbu podle příručky k řízení údržby. [4] Z Evropského pohledu je velmi důležité Nařízení Komise (EU) č. 1321/2014 o zachování letové způsobilosti letadel a leteckých výrobků, letadlových částí a zařízení a schvalování organizací a personálu zapojených do těchto úkolů. Tento legislativní dokument tvoří spolu se všemi příslušnými dodatky a přílohami důležitý legislativní rámec pro řízení zachování letové způsobilosti. Dle výše uvedeného nařízení se pod pojmem „zachování letové způsobilosti“ rozumějí: *„veškeré postupy, které zajišťují, že kdykoliv během provozní životnosti letadlo vyhovuje platným požadavkům letové způsobilosti a je ve stavu pro bezpečný provoz“* [5] V ČR je Osvědčení letové způsobilosti vydáváno Úřadem pro civilní letectví, a to na základě uspokojivé kontroly letové způsobilosti podle předpisu L8/A. Pro zachování letové způsobilosti letadla a jeho provozuschopnosti je nutné provádět údržbu podle standardizovaných plánovaných a neplánovaných úkonů. Údržbu lze rozdělit na dvě části podle toho, o jak detailní prohlídku se jedná na traťovou údržbu a údržbu na základně (též známou pod pojmem těžká údržba). [6; 7]

Vlastník letadla nebo jeho případný nájemce je dle přílohy I k Nařízení Komise (EU) č. 1321/2014 [5] mimo jiné povinen zajistit, že je letadlo udržováno ve stavu letové způsobilosti a údržba na něm provedená je v souladu s programem údržby. Dále musí mít letadlo platné osvědčení letové způsobilosti a vybavení na něm nainstalované musí být správně zastavěno a provozuschopné nebo označeno jako neschopné provozu.

Dle hlavy G Nařízení Komise (EU) č. 1321/2014 [3] musí být letečtí dopravci s licencí vydanou dle Nařízení (ES) č. 1008/2008 oprávněni jako organizace k řízení zachování letové způsobilosti (CAMO). Pro každé letadlo, které organizace k řízení zachování letové způsobilosti řídí, pak musí mimo jiné [5]:



- vyvinout a řídit program údržby letadla
- zajistit, že je údržba prováděna v souladu s programem údržby
- zajistit provedení příkazů k zachování letové způsobilosti
- zajistit provedení provozních příkazů s vlivem na zachování letové způsobilosti
- zajistit odstranění závad organizací oprávněnou k údržbě
- zajistit předání letadla kdykoliv je to nutné organizaci oprávněné k údržbě

Pro operátory je tedy nutné mít pro všechna svá letadla program údržby tzv. „Maintenance Program“ (MP). Ten je vytvořen na základě Dokumentu o programu údržby („Maintenance Planning Document“) dále jen MPD. [6] MPD je zhotoven výrobcem letadla a obsahuje úkony, které jsou nutné na letadle vykonávat, a zároveň stanovuje i časové intervaly, během kterých je nutné stanovené práce provést.

Dalšími úkony údržby, které je nutné vykonávat jsou tzv. „Airworthiness Limitations“ (AL) neboli omezení letové způsobilosti. Jedná se o úkony, jejímž cílem je předejít problémům s určitými systémy. Jsou zaváděny jako součást instrukcí pro zachování letové způsobilosti. Zavádí se povinné časové periody pro výměny dílů, inspekční intervaly a inspekční procedury. Příklad takové úlohy představuje kontrolu svazku kabelů u palivové nádrže, jestli nedochází k otěru mezi dráty třením, které by vedlo k jiskření. [8]

Po objevení některých závad, které nemají zásadní vliv na bezpečnost provozu letadla, vydává výrobce tzv. „servisní bulletin“ (SB). Jeho účelem je učinit dané zařízení bezpečnější nebo zvýšit jeho životnost. SB obecně není pro provozovatele letadla povinný. Jeho provedení se stává povinností, pokud se SB odkazuje na Příkaz k zachování letové způsobilosti nebo je nutné jej provést v rámci programu údržby. [7; 9; 10]

V případě zjištění stavu, který brání letadlu splňovat podmínky pro zachování letové způsobilosti, vydá příslušný úřad Příkaz k zachování letové způsobilosti (AD). Tomuto příkazu musí být vyhověno ve specifikovaném časovém období, jinak letadlu není obnoveno osvědčení o letové způsobilosti. AD se vydává z důvodu nápravy chyby, která představuje ohrožení bezpečnosti. [7; 11]

Výrobci letadel poskytují ke svým letadlům celou řadu manuálů, podle kterých technici postupují při údržbě, inspekcích a opravách letadel. Manuál od výrobce je hlavním zdrojem informací, který technici při údržbě používají. Údržbové manuály obsahují informace o rutinních údržbových pracích, popisy systémů včetně jejich funkcí, postupy při manipulaci, instalaci a sejmutí komponentů, základní opravné procedury, návody pro identifikaci



a odstranění běžných problémů. Obecně svým obsahem pokrývají informace o celém letadle a vybavení na něm nainstalovaném. Údržbové manuály používají standardní členění ATA 100, které rozděluje data do individuálních systémů, které jsou očíslované. Například všechny informace o systému protipožární ochrany jsou k nalezení pod kapitolou 26. Každý systém má zároveň i své podsystémy, a proto, pro příklad specifická část o detekčních zařízeních požárů v kapitole 26, je v podkapitole 2610. Díky této organizaci je členění technických dat v manuálech, pro všechna transportní letadla organizováno stejným způsobem. [9; 10]

Na základě svého MP a manuálů od výrobce následně provozovatelé letadel tvoří své vlastní úkolové karty („task cards“). Tyto karty představují způsob, jak vyhovět požadavkům na provádění údržby, a zároveň dávají leteckým technikům instrukce, jak postupovat. Tyto karty jsou zároveň vhodné i pro archivaci provedené údržby na konci revize. [8]

Během údržby a provozu letadla dochází k provádění neplánované a nerutinní údržbě letadla. Potřeba tuto údržbu provést vychází z nálezů provedených během plánované údržby, stejně tak jako z reportů posádky během provozu nebo nepředvídaných událostí jako jsou poškození od blesků, přehřátí motorů a další nenadálé události. K nápravě a odhalení příčin vzniklých problémů se používá celá řada manuálů.

Mezi manuály, které se používají k nápravě chyb se řadí [8; 9; 10]:

- Údržbový manuál letadla (AMM), který stanovuje obecné postupy údržby
- „Structural Repair Manual“, kde lze najít informace k opravám primární a sekundární konstrukce letadla
- „Wiring Diagram Manual“ obsahující schématické diagramy, které pomáhají při řešení závad v elektrickém systému. Dále v něm najdeme čísla dílů komponentů elektrického systému a jejich umístění.
- „System Schematic Manual“, jenž obsahuje schémata systémů jako je například elektrický systém letadla.
- „Fault Reporting and Fault Isolation Manuals“ (FRM & FIM)
- „Illustrated Parts Catalog“, který obsahuje informace o umístění částí v letadle i informace o čísle dílu. Obsahuje rozložené pohledy všech částí letadla, aby pomohl technikům lokalizovat díly.



## 1.2 Dělení údržby z provozního hlediska

Z provozního hlediska lze údržbu dělit na traťovou a údržbu na základně. Mezi údržbu na základně se řadí jakákoliv údržba, kontrola, oprava nebo úprava, kterou určil výrobce, a která vyžaduje specializované školení, vybavení nebo zařízení. Mezi traťovou údržbu se řadí jakákoliv oprava, údržba, plánovaná kontrola, servis, inspekce nebo úprava, která není považována za údržbu na základně a je schválena výrobcem a je specifikována v příručce výrobce pro údržbu. [8]

Vedle traťové údržby existuje ještě třetí druh údržby, který se dá nazvat údržbou komponentů nebo dílenskou údržbou. Tato údržba je prováděna na konkrétním díle letadla, který je pro účely této údržby demontován. Jedná se například o sedačky či pohonné jednotky. Tato údržba se může provádět přímo v organizaci, která zajišťuje údržbu na základně nebo může být prováděna subdodavatelsky. [6]

V praxi jsou úkony definované během tvorby MP sdružovány do tzv. „workpackage“, tedy balíků práce. Úkony, které mají podobné intervaly provedení se tak sdružují a dělají se najednou. Tyto balíky práce se dají rozdělit od denních kontrol, přes úkony dělané během zastávek v rámci traťové údržby až po rozsáhlé inspekce v rámci údržby na základně. Běžně jsou tyto balíky prací označovány vzestupně podle náročnosti v abecedním pořadí. Nejběžněji jsou používány písmena A, B, C a D. Méně rozsáhlé úkony se dělají v rámci tzv. „A-Check“ balíků prací a nejrozsáhlejší práce se vykonávají v rámci „D-Check“ balíku práce. „D-Check“ se též někdy označuje jako „HMV – Heavy maintenance visit“. [8]

Kontrola typu A obecně sestává z celkové prohlídky interiéru/exteriéru letounu s vybranými inspekcemi v prostorech, které jsou nutné rozkrýt. Kontrola A se obvykle provádí jednou za dva týdny až jednou za měsíc. Příklady úkolů A-check jsou kontrola a servis oleje, výměna filtru, mazání, provozní kontroly a inspekce. [8]

Kontroly typu B jsou obvykle konány během doby pro kontrolu typu A. Kontroly typu B se provádí zhruba jednou za 6 až 8 měsíců a obsahují kolem 160-180 hodin práce. Jejich obvyklá délka trvá 1-3 dny. Typické práce pro tuto kontrolu zahrnují nejrůznější kontroly koroze, úniků provozních kapalin či kontroly hydraulického potrubí v podvozkových šachtách. [12]

Kontroly typu C jsou plánovány na zhruba každých 12-20 měsíců. Příkladem úkolů dělaných v rámci „C-Check“ jsou kontroly funkce systémů, čištění, servisování dílů, menší inspekce struktur letadla a implementace servisních bulletinů. [8]



Kontroly typu D se provádí jednou za 6 až 12 let. Letadlo je během provádění příslušného balíku údržbových prací obvykle vyřazeno na několik týdnů z provozu. [8] Při této kontrole se odstraní vnější nátěr a odstraní se velké množství panelů, čímž se odkryje drak letadla, nosná konstrukce a struktura křídla za účelem provedení důkladné kontroly letadla. Během této kontroly je zkontrolováno velké množství vybavení, které mnohdy prochází generální opravou nebo je zcela vyměněno. [8]

Konkrétní rozsah těchto balíků prací se odvíjí od typu letadla, programu údržby, který si zvolil daný provozovatel, čí míry a způsobu využití letadla. Je tedy zřejmé, že každý provozovatel má své potřeby a balíky sjednaných prací se mohou u stejných typů údržbu lišit. [8]

Po splnění veškeré údržby na letadle se vydává osvědčení o uvolnění do provozu (CRS - „Certificate of Release to Service“). [8] Toto osvědčení musí obsahovat základní podrobnosti o provedené údržbě, datum, kdy byla údržba ukončena, totožnost osoby nebo organizace, která toto osvědčení vydala, a pokud existují, tak i omezení letové způsobilosti či provozu. Pokud není možné údržbu dokončit, tak se CRS vydá s poznámkou, že údržba nemohla být provedena společně se všemi omezeními, která z toho plynou.

Údržbu letadel v obchodní letecké dopravě provádějí organizace certifikované dle Part 145 [5] Údržbové organizace jsou někdy označovány pod zkratkou „MRO“ z anglického výrazu „maintenance, repair and overhaul“ či „Maintenance and Repair Organisation“. [6; 13] Další vžitou zkratkou je označení „AMO“, které pochází z anglického „Approved Maintenance Organization“ [13], čímž je přímo referováno na to, že je schválena dle příslušné legislativy.

### 1.3 Certifikovaný personál

AMO musí mít k dispozici certifikovaný personál dle přílohy III (části 66). Pro organizace provádějící údržbu na základně na složitých motorových letadlech tvoří jádro certifikovaného personálu personál s kategorií průkazu způsobilosti B1, B2 a C.

Technici s průkazem kategorie B1 mají práva vydávat osvědčení o uvolnění do provozu a působit jako podpůrný personál při [5]:

- údržbě provedené na draku letadla, pohonné jednotce a elektrických systémech.
- Při práci na avionických systémech mohou vykonávat pouze jednoduché zkoušky k prokázání jejich provozuschopnosti a nevyžadujících odstraňování poruch



Technici s průkazy kategorie B2 mají práva vydávat osvědčení o uvolnění do provozu a působit jako podpůrný personál při údržbě [5]:

- provedené na avionice a elektrických systémech.
- Při úkolech týkajících se elektrických systémů a avioniky v pohonné jednotce
- Při úkolech týkajících se mechanických systémů vyžadujících pouze jednoduché zkoušky k prokázání jejich provozuschopnosti

Personál s průkazem kategorie C má právo [5]:

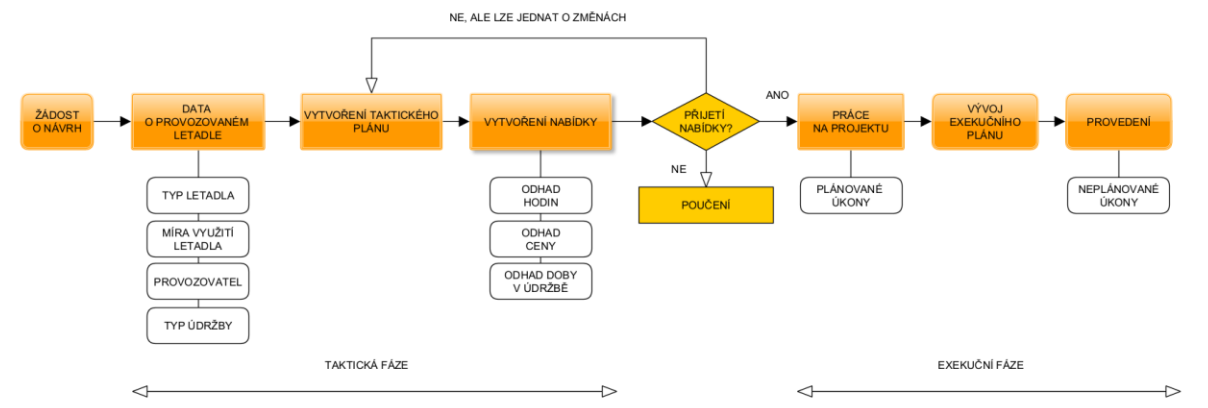
- vydávat osvědčení o uvolnění do provozu po vykonání údržby letadla na základně.  
Toto právo platí pro letadlo jako celek.

Z přílohy I k Nařízení Komise (EU) č. 1321/2014 [3] vyplývá, že před zahájením údržby musí být vytvořena zakázka mezi organizací, která provádí údržbu na letadle a organizací, která tuto údržbu požaduje. Smlouva je sepsána s cílem jasně stanovit, jaká údržba má být provedena.

#### **1.4 Současné vědecké výzkumy**

Jednou z mála prací, která se zabývá plánováním kapacit pro údržbu letadel je práce [14], jenž se zabývá predikcím celkového počtu hodin nutného k dokončení revize. K tomuto účelu používá pravděpodobnostní model založený na Bayesovské síti. Tento model pracuje s pravděpodobnostními vztahy mezi veličinami, které bylo možné získat z dat jedné z portugalských firem provádějící údržbu letadel.

Dle práce se při plánování kapacit pro údržbu obecně implementuje následující postup, který je vidět na Obrázku 1-1. Z něj je patrné, že nejprve dochází k taktické fázi přípravy revize, kdy dochází k vyjednávání mezi zákazníkem a údržbovou organizací. Dochází k výpočtu předpokládaného počtu hodin stráveného během revize letadla a celkové doby revize ve dnech. Pokud je projekt schválen k provedení, dochází k operační fázi, kdy se navrhne přesnější plán rozložení jednotlivých prací během revize letadla.



Obrázek 1-1 - Obecný postup při hodnocení kapacitní náročnosti sjednaného balíku prací při údržbě letadel, zdroj: upraveno z [14]

Z práce [14] dále vyplývá, že během údržby letadla je obecně následován harmonogram prací uvedený chronologicky v Tabulce 1-1.

Tabulka 1-1 – chronologický popis fází údržby letadel, zdroj: upraveno z [14]

Pracovní fáze	Popis fáze
<b>Přijetí letadla</b>	V této fázi se provádí práce spojené se začátkem údržby. Dochází k analýze technické knihy letadla, prvotním testům, odsávání paliva a mytí exteriéru.
<b>Otevírání/demontáž přístupových panelů</b>	V této fázi dochází k demontáži přístupových panelů a dalšího vybavení tak, aby bylo možné provést následující inspekce
<b>Inspekce a modifikace</b>	V této části revize dochází k inspekci systémů letadla a komponent a následné evaluaci zjištěných závad
<b>Opravy</b>	V této části revize se konají především opravy nalezených závad



<b>Pracovní fáze</b>	<b>Popis fáze</b>
<b>Zavírání a zpětná instalace přístupových panelů</b>	V této fázi dochází k zavírání a ke zpětné instalaci přístupových panelů a reinstalaci sejmutého vybavení z letadla
<b>Osvědčení a návrat do provozu</b>	V této fázi dochází k funkčním testům na systémech letadla a k předání letadla zákazníkovi

Tato práce pracovala s daty z minulosti, kde byl známý čas odpracovaných hodin na jednotlivých úkolech údržby v jednotlivých fázích revize tak, jak si je definovalo Portugalské MRO. Tato práce rovněž ukázala, že je možné využít Bayesovských sítí ke tvorbě predikce celkových časů strávených na revizi, a zároveň i časů v jednotlivých fázích revize, pokud máme data o průběhu práce v těchto fázích. Ne všechna MRO potřebná data schraňují a výsledky práce jsou proto v tomto ohledu nepoužitelné. Práce [14] pracovala se specifickými daty, která byla zaznamenávána v období let 2002 - 2015, tedy období 13 let. Ovšem ne každé MRO má k dispozici takové množství dat. Je tedy vhodné najít způsob, jak práce během údržbových prostojů rozdělit do určitých fází, a to bez znalosti skutečně stráveného času pracovníků údržby na konkrétních úkonech v konkrétní fázi údržby definované v Tabulce 1-1.

Jedním z problémů, se kterým se potýká plánování kapacit v letecké údržbě je obtížná předvídatelnost rozložení jednotlivých prací v průběhu revize letadla. Vzhledem k administrativní náročnosti nejsou u všech MRO sbíraná data o konkrétních pracovních krocích na všech pracovních kartách. To vede k tomu, že existují data o tom, ve kterém dni revize došlo k práci na daných pracovních úkonech, ale ztrácí se strojově zpracovatelná informace o tom, na jakém konkrétním kroku pracovní karty daný letecký technik pracoval. Dalším problémem je, že často není zaznamenáváno ve strojové podobě, na jaké části letadla konkrétní technik pracoval. To je z hlediska plánování kapacit rovněž důležité, neboť například při práci v kokpitu mohou pracovat naráz maximálně dva lidi, protože jinak naráží na fyzické rozměry daného místa.

Práce zabývající se problematikou plánování kapacit v dnešní době nezahrnuje členění jednotlivých prací strávených na konkrétním kroku pracovních karet. Nalezením metody, která by s dostatečnou přesností dokázala na základě dat z minulosti rozčlenit práce do





časových bloků by vznikla možnost predikovat provádění jednotlivých prací v budoucnu. Tím by bylo možné zlepšit plánování kapacit pro rutinní práce a známé servisní bulletiny s ohledem na průběhovou dobu revize. Bylo by tak možné predikovat pracovní vytížení na známých úkonech pro více balíků prací běžících vedle sebe najednou a v konečném důsledku tak zlepšit přehled údržbové organizace o pracovní náročnosti jednotlivých projektů v čase a vytvářet tak flexibilnější plán pro využívání kapacit v jednotlivých časových úsecích. Dalším přínosem by rovněž bylo zlepšení predikce bez nutnosti zvyšovat administrativní zátěž pracovníků plánujících průběh revizí.

### **1.5 Plánování těžké údržby letadel v CSAT**

Jelikož se tato práce zabývá zejména analyzováním dat z provozu z údržbové organizace Czech Airlines Technics a.s., je tato podkapitola věnována způsobu, jak jsou data plánována. V řádu měsíců před začátkem údržby obdrží společnost od zákazníka balík prací tzv. „workpackage“ (WP) k vypracování nabídky pro provedení požadované údržby. Obecně následný postup CSAT kopíruje postup ukázaný na Obrázku 1-1. WP obsahuje úkolové karty zákazníka. Vedle rutinních úkolových karet přímo z programu údržby, konkrétní WP obsahuje i další pracovní úkony, jako například práce na specifických servisních bulletinech.

Seznam těchto prací z WP následně přebírá oddělení zabývající se zpracováním a ohodnocením karet z WP. Pro většinu karet byla experty vytvořená šablona, která slouží k vytvoření odhadu, kolik pracovních hodin na dané pracovní kartě bude stráveno. Tento odhad vychází z několika zdrojů. Jedním z nich je „Maintenance Planning Document“, kde je výrobcem letadla stanoveno několik údajů včetně očekávané pracnosti. Tato doba se obvykle dělí na dobu nutnou pro přípravu na práci, otevření přístupových panelů a provedení příslušné procedury. Tyto údaje bývají i součástí servisních bulletinů. V MPD jsou uvedeny i příslušné panely, které je nutné pro daný úkon demontovat. Díky tomu je možné odhadnout, kolik hodin bude stráveno pouze manipulací s panely. Je totiž možné, že v celém balíku prací by se u jedné z karet vyskytl stejný panel vícekrát. [15] Z karet lze také vyčíst, potřebné vybavení, které se musí na revizi připravit.

Celkový čas nutný pro splnění jednotlivých plánovaných úkonů revize je tak vypočítaný na základě dat z MPD a údajích o předchozí údržbě na stejném úkonu údržby. Odborníci na odhad časové náročnosti úkonů pak dále své odhady zpřesňují pomocí speciálních koeficientů, které byly zjištěny na základě expertního pozorování a znalosti prostředí CSAT. Detaily těchto výpočtů však patří mezi firemní tajemství.



Vytváří se i odhad pro samotné otevírání a zavírání panelů. Tento odhad je rozdělen i pro jednotlivá zaměření pracovníků. Jak bylo uvedeno v kapitole 1.3 licence pracovníků, kteří vykonávají údržbu na letadle se dělí do dvou skupin podle odbornosti, a to na B1 a B2. V CSAT jsou ještě nad rámec tohoto základního dělení vytvořeny expertní týmy pro jednotlivé systémy letadla. Mezi hlavní expertní skupiny se řadí:

- specialisté na interiéry letadla
- specialisté na drak letadla
- odborníci na letecké motory
- experti na podvozkové systémy
- odborníci na avioniku
- odborníci na dílenské a strukturální opravy

Pro jednotlivé expertní týmy je pak vytvořen odhad času pro otevírání a zavírání přístupových panelů. Rovněž i odhad času pro jednotlivé úkony je rozdělen podle těchto specializovaných skupin. Na jednom úkonu údržby se může vystřídat i více expertních skupin. To je rovněž bráno v potaz a pro jednotlivé úkolové karty se tak můžou hodiny plánovat pro více expertních skupin najednou.

Další odhadovanou veličinou jsou hodiny strávené při opravování nalezených závad. Predikce těchto pracovních hodin je určena na základě koeficientů, které byly zjištěny experimentálně a na základě předchozích revizí. Je zohledňována celá šíře faktorů ohledně provozovatele a daného typu letadla. Jedním z faktorů je například stáří letadla, provozního prostředí, či zkušenosti s předchozí údržbou na letadlech daného zákazníka. Přesný způsob výpočtu a hodnoty speciálních koeficientů jsou rovněž tajemstvím společnosti, a proto nebudou dále uváděny.

Výsledkem vyhodnocení náročnosti balíku práce je zjištěna celková suma hodin, pro kterou musí být zajištěny potřebné kapacity. O potřebných počtech hodin je informováno oddělení plánování kapacit. To v součinnosti se zpracovateli vyhodnocení náročnosti údržby určí potřebný počet pracovních dní, ve kterých by měla být revize letadla vykonána. Výsledkem je tak návrh, kdy bude možné revizi provést, a jak dlouho bude trvat. Celkový čas revize je označován jako TAT z anglického „turnaround time“.

Všechny výše vytvořené odhady jsou tak při zasazení do kontextu Obrázku 1-1 z kapitoly 1.4 součástí taktické fáze revize, ve které jsou vypočtené hodnoty použity jako jeden z podkladů pro návrh smlouvy s zákazníky, kteří poptávají u CSAT údržbu.



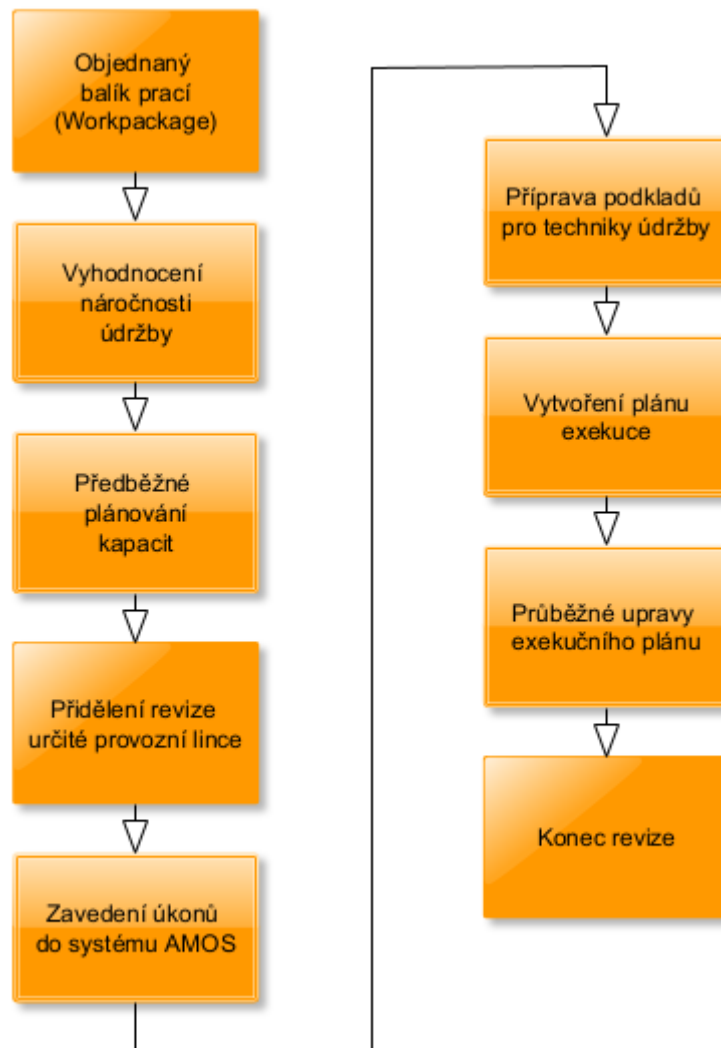
Pokud dojde ke zdárnému vytvoření kontraktu mezi MRO a zákazníkem, tak vytvořené výpočty následně přebírá oddělení produkčního plánování, které se specializuje na plánování průběhu revize. Jeho prvním úkolem po převzetí těchto časových odhadů je jejich zadání do údržbového systému AMOS (více je o tomto systému uvedeno v kapitole 2.2). Rovněž připravují podklady pro techniky údržby, tak, aby se minimalizoval čas, který technici stráví vyhledáváním podkladů pro údržbu a dalších potřebných instrukcí pro provedení údržby. Tyto dva kroky mohou v závislosti na dostupných podkladech k danému balíku prací představovat poměrně značnou administrativní zátěž.

Pracovníci produkčního plánování poté rozdělí úkolové karty pro jednotlivé expertní skupiny leteckých techniků. Do skupin jsou karty rozděleny na základě databáze a podkladů z vypočtených odhadů pro jednotlivé expertní týmy.

Každý balík prací je přidělen „provozní lince“, která představuje celek, jenž sdružuje několik expertních týmů. Expertní týmy dané provozní linky, pak spolupracují na provedení sjednané údržby. Tyto týmy jsou řízeny manažery daných provozních linek.

Několik dní před začátek plánované revize jsou konzultovány aktuálně dostupné kapacity leteckých mechaniků a po poradě se supervizory jednotlivých expertních skupin dané provozní linky je vytvořen exekuční plán revize. Tento plán obsahuje detailnější popis úkonů, které se mají vykonat v naplánovaných dnech. V zásadě jde o rozdělení úkonů do skupin podobných, jako jsou uvedeny v Tabulce 1-1. Plánuje se tak provedení demontáže přístupových míst, provedení inspekcí, modifikací, opravy nalezených závad a závěrečných testů. Obecně je cílem dokončit práce na inspekcích do 40% průběhové doby revize. Neznámé úkony při tvorbě plánu představují práce na nalezených závadách. Před revizí se tak plánuje doba pro jejich odstranění podle základního odhadu. Vytvořením úvodního plánu je ukončena taktická fáze přípravy a následuje fáze exekuční.

V exekuční fázi revize dochází k úpravám plánu dle aktuální situace. Úpravy plánu jsou ovlivněny zejména nalezenými závadami, podle kterých je řízena potřeba expertů pro jejich odstranění. Složitost tohoto plánování je ovlivněna i průběhem prací na jiných projektech v rámci údržby letadel v CSAT. Ačkoliv jsou balíky prací přiděleny jednotlivým provozním linkám, tak dochází k flexibilnímu řízení personálu a pracovníci jsou tak přesouvání podle aktuálních priorit. To představuje komplexitu plánování pro více projektů zároveň. Výše zmíněný průběh činností při plánování revize v CSAT je znázorněn na Obrázku 1-2.



Obrázek 1-2, Plánování revize v CSAT, zdroj: Autor

## 1.6 Shrnutí

Letadla v obchodní letecké dopravě musejí být spravována organizací CAMO. Tato organizace musí mimo jiné zajistit vyvinutí a řízení programu údržbu. Do něj musí zakomponovat všechny legislativou dané podmínky. Tyto programy vychází z MPD, ale jejich konkrétní implementace je na zvážení provozovatelů o konkrétních okolnostech jejich provozu. V praxi provozovatelé vytváří standardizované úkolové karty (task cards), které se odkazují na manuály výrobců a úkoly dané v MPD.

Provedení údržby na základně provádí MRO. Letečtí provozovatelé u nich poptávají provedení svých úkolových karet, tak aby plnili požadavky svého programu údržby. Tyto karty jsou



sdužovány podle náročnosti do balíku prací. Výsledkem provedených prací je posléze vydané osvědčení o uvolnění do provozu.

Různorodost úkolových karet způsobuje pro údržbové organizace problém s rozčleněním kapacit během revize letadla. Úkolové karty mohou obsahovat více kroků, které se provádí v různých částech revize v závislosti na tom, v jaké části revize se jejich provedení očekává. Například na začátku revize očekáváme provedení demontáže dílu, a poté provedení inspekce a na konci revize závěrečný test. Každá z těchto činností může zabrat jiné množství času a taktéž ji může provádět jiný expertní tým. Ohodnocení všech kroků úkolových karet je administrativně náročný úkol, zvláště u MRO, které pracují s úkolovými kartami mnoha různých provozovatelů. Proto je vhodné pokusit se definovat časový průběh karet na základě dat z minulosti. To umožní zlepšit plánování karet pro předem známé úkony plánované údržby.



## 2 Analýza dat z provozu letecké údržbové organizace

Tato část práce se věnuje popisu analýzy rozdělení rutinních a dalších prací v průběhu údržby letadel na základě dat poskytnutých společností Czech Airlines Technics a.s. (CSAT). Použitá data byla sloučena v časovém rozmezí od roku 2016 až do začátku roku 2022 prostřednictvím systému AMOS<sup>1</sup>.

### 2.1 Využitý software při analýze

Celkové množství dat poskytnuté CSAT se pohybovalo v řádu devíti stovek tisíc časových logů. Pro zpracování takového množství dat existuje celá řada možných softwarových řešení. Jedním z nich je vytvoření databáze a data dále zpracovávat pomocí dotazovacích jazyků jakým je například SQL. Takové databáze se dají zpracovávat pomocí programů jako je Microsoft SQL Server<sup>2</sup> či Microsoft Access<sup>3</sup>. Jinou možností je využití programu Matlab<sup>4</sup> od společnosti MathWorks, který se specializuje na práci s maticemi a nabízí skriptovací programovací jazyk, který je pro tuto práci určen. Dalším možným řešením je použití programovacího jazyka Python<sup>5</sup> a využít širokého množství již předem naprogramovaných knihoven. Mezi nejdůležitější knihovny v tomto ohledu lze zařadit knihovnu Pandas<sup>6</sup>. Přednosti a zápory použití knihovny Pandas pro programovací jazyk Python jsou uvedeny v Tabulce 2-1.

Tabulka 2-1, Výhody a nevýhody Pandas, zdroj: Autor

Výhody Pandas	Zápory Pandas
Vhodné pro práci s větším počtem dat a provádění analytických výpočtů	Obecně delší výpočetní čas oproti jiným programovacím jazykům jako je C++
Široká dostupnost mnoha knihoven	větší náročnost pro paměť počítače
Možnost vizualizace dat	

<sup>1</sup> <https://www.swiss-as.com/>

<sup>2</sup> <https://www.mssql.cz/>

<sup>3</sup> <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/access>

<sup>4</sup> <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

<sup>5</sup> <https://www.python.org/>

<sup>6</sup> <https://pandas.pydata.org/>



<b>Výhody Pandas</b>	<b>Zápory Pandas</b>
Oproti jiným jazykům snadnější vytváření kódu a tím pádem i obecně rychlejší vytváření prototypů	
Bezplatné využití	

Dalším možným softwarem, který by se dal využít je Matlab od společnosti MathWorks. Jeho přednosti a zápory jsou uvedeny v Tabulce 2-2.

Tabulka 2-2, Výhody a nevýhody softwaru Matlab, zdroj: Autor

<b>Výhody Matlab</b>	<b>Zápory Matlab</b>
Relativně snadná implementace a práce s algoritmy	Zpoplatněné využití
Celá řada externích knihoven	Pomalejší provedení výpočtů oproti využití programovacího jazyka jako je C++
Vizualizace dat	

Další možností je vytvoření databáze, ve které by byla potřebná data analyzována pomocí dotazovacího jazyka SQL. Výhody a nevýhody využití SQL databáze jsou uvedeny v Tabulce 2-3.



Tabulka 2-3, Výhody a nevýhody využití SQL databáze, zdroj: Autor

Výhody SQL databáze	Zápory SQL databáze
Rychlá exekuce dotazů	U některých řešení jako například při použití SQL serveru zpoplatněné využití
Prostředí optimalizované pro práci s velkým počtem dat	Nemožnost vizualizace dat bez použití dalšího softwaru
	V některých případech je nutné vytvořit robustnější kód než při využití knihovny Pandas pro programovací jazyk Python

Na základě parametrů uvedených v Tabulce 2-1 a porovnáním s Tabulkou 2-2 a Tabulkou 2-3 byl pro další zpracování dat v práci použit programovací jazyk Python s využitím knihovny Pandas. Jako vývojové prostředí byl využit Jupyter Notebook<sup>7</sup> vyvíjený neziskovou organizací Project Jupyter. Tento software umožňuje využít webového rozhraní k psaní počítačového kódu.

## 2.2 Záznamy dat o údržbě v CSAT

Analyzovaná data představují časové vstupy ze systému AMOS. Jedná se o komplexní software vyvíjený společností Swiss-AS<sup>8</sup>, který je určen jak pro aerolinie, tak i pro MRO. Jeho hlavní funkcí je řízení údržby letadel. To umožňuje široké množství modulů, které systém nabízí. Je možné jej například využít pro sledování spotřeby materiálu na jednotlivých úkolových kartách. Rovněž je možné jej využívat i pro poptávku pro náhradní díly a tvoří tak spojnici mezi skladem a techniky provádějícími údržbu letadel. Dalším využitím je sledování pohybu dílů mezi jednotlivými letadly, kdy je možné sundat díl z jednoho letadla a nainstalovat jej v jiném letadle a při tom sledovat, jak tento díl mezi letadly migruje. Pro CAMO organizace slouží ke spravování programů údržby. Výčet výše není kompletní, protože software AMOS

<sup>7</sup> <https://jupyter.org/>

<sup>8</sup> <https://www.swiss-as.com/>





obsahuje celou řadu modulů vytvořených pro řízení údržby letadla. AMOS má tedy široké využití pro sběr a distribuci dat o údržbě letadel.

Pro účely této práce je hlavní funkcí, kterou AMOS nabízí plánování údržbových úkonů. Po naplánování údržbových úkonů do sjednaných WP lze sledovat, kolik práce bylo odvedeno na jednotlivých úkolových kartách. Na tyto karty jednotliví technici údržby logují svůj odpracovaný čas během údržbového prostoje letadla. Díky softwaru AMOS, tak lze vytvořit širokou databázi průběhů jednotlivých úkonů údržby.

AMOS také nabízí možnosti vytvářet pro jednotlivé úkolové karty tzv. workstepy, tedy kroky údržby. Na úkolových kartách tak může být vytvořeno několik specifických kroků s rozdílným typem práce. Například se může jednat o krok sundání komponenty, provedení příslušné údržbové procedury a zpětné instalace dílu. V praxi je však údržba objednávána provozovatelem letadla a MRO musí všechnu sjednanou práci zadávat do svého systému. To představuje administrativně náročný úkol jednak pro oddělení plánování údržby, kde je nutné do systému AMOS vkládat jednotlivé kroky údržby, a jednak to představuje větší administrativní zátěž pro samotné letecké mechaniky, kteří by museli v systému vyplňovat splnění každého jednotlivého kroku údržby zvlášť. Výsledkem tak je, že jednotlivé kroky údržby mnohdy nejsou do systému zadávány a o práci na jednotlivých krocích údržby tak neexistují elektronické záznamy. Obvykle se zaznamenává práce na fyzické kopii karty jako na celku (v systému existuje pouze jeden krok, kterým je potvrzeno splnění celé úkolové karty). Tento problém se týká zejména dat z plánované údržby. U neplánované údržby jsou příslušné úkoly tvořeny přímo údržbovou organizací, která hledá postupy dle platné dokumentace letadla a provádí údržbu. Plánované úkony jsou však již připraveny od provozovatele a jako podklad slouží jeho úkolové karty, ve kterých mechanici potvrzují splnění jednotlivých předepsaných kroků údržby. AMOS v tomto ohledu slouží MRO zejména ke sledování času, který posléze účtuje zákazníkům podle příslušného kontraktu o údržbě.

Jednou z limitací systému AMOS je, že i když jej využívá provozovatel a údržbová organizace, tak neexistuje jednoduchá cesta, kterou by bylo možné jednoduše transferovat data ze systému provozovatele do systému údržbové organizace, protože každá organizace si svá data spravuje dle svých nastavených pravidel. Úkony se tak musí předávat do systému provozovatele komplikovanou cestou za pomoci transformací nebo manuálně.



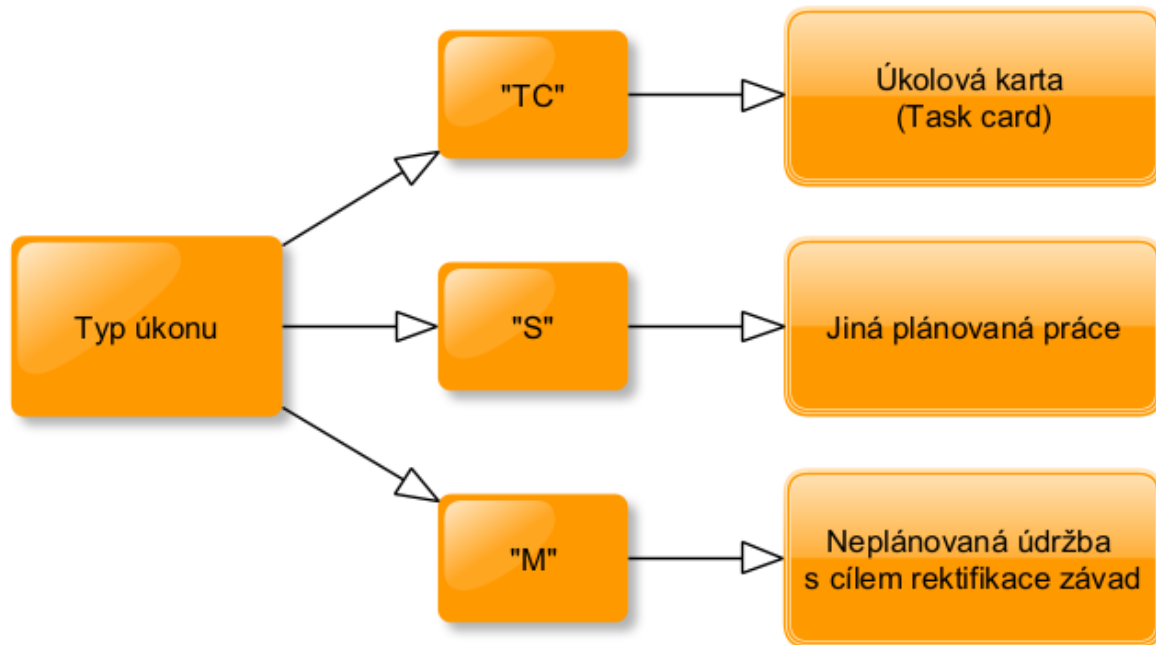
## 2.2.1 Časové logy

Nejdůležitější informací pro vznik této práce jsou časové vstupy pracovníků údržby ze systému AMOS. Informace z těchto časových vstupů jsou rozděleny podle druhu do několika tabulek. V Tabulce 2-4 je obsažen seznam informací o časovém logu.

Tabulka 2-4, informace o časovém logu, zdroj: Autor

název datového údaje	Vysvětlení
<b>Bookingno_i</b>	unikátní klíč každého časového logu
<b>Start Date</b>	datum vytvoření časového logu
<b>Start Time</b>	čas vytvoření časového logu
<b>End Date</b>	datum ukončení časového logu
<b>End Time</b>	čas ukončení časového logu
<b>Duration Full</b>	celkový čas strávený prací na časovém logu v hodinách

Informace uvedené v Tabulce 2-5, pak obsahují data týkající se konkrétního úkonu, ke kterému se vázal daný časový log. V této tabulce se vyskytuje informace o identifikátoru daného úkonu, kterým je buď konkrétní číslo úkolové karty nebo unikátní číslo pracovního příkazu. Konkrétní identifikátory úkolových karet se vyskytují u časových logů odvedených na úkolových kartách. Těmito logy jsou ty, které mají ve sloupci „Type“ uvedenou hodnotu „TC“, tak jak je vidět na Obrázku 2-1. Ten zobrazuje rozdělení jednotlivých typů prací. Jedná se tak o rutinní práce, které se běžně opakují. U prací, které ve sloupci „Type“ nabývají hodnoty pro typ úkonu „S“ a „M“ se ve sloupci „WO/TC“ vyskytují pouze unikátní čísla pracovního příkazu v systému AMOS.



Obrázek 2-1 - Rozdělení úkonů v datech, zdroj: Autor

Pod typem „S“ neboli „scheduled“ se skrývají další plánované práce, jako jsou například konkrétní servisní bulletiny, ale objevují se zde i běžné rutinní úkolové karty, které by mnohdy měly mít označení typu „TC“, ale z důvodu administrativní náročnosti při vytváření těchto úkolových karet v systému AMOS se někdy vytváří pouze jako „scheduled workorder“, i když technicky správně patří do typu „TC“. Dalším typem takových karet jsou některé speciální případy úkolových karet, které jsou upravené a vyskytují se například pouze u jednoho letadla, které daný provozovatel provozuje. Identifikace čísla těchto karet je pak v některých případech možné získat z popisu daného úkonu, tedy z pole „Description“ uvedeného v Tabulce 2-5. V Tabulce 2-5 jsou zároveň uvedeny dodatečné informace o údržbových úkonech, na které byl vytvořen daný časový log. Ne vždy je však v datech popis v poli „Description“ dostatečný pro úspěšnou identifikaci konkrétního údržbového úkonu.

Pod úkony typu „S“ jsou v datech dále přiřazeny všechny hodiny strávené na demontáži a zpětné montáži přístupových panelů. Toto rozdělení je vytvářeno proto, aby při výpočtu celkového pracovního vytížení v revizi nedocházelo k duplikaci montáže a demontáže stejných přístupových panelů, jelikož dvě rozdílné úkolové karty mohou mít v postupu sundání stejného panelu. Je tedy logické, že panel bude sundán pouze jednou a při výpočtu časové náročnosti jedné úkolové karty by tak mohlo docházet k duplikaci části celkového potřebného času. Dalšími z úkonů typu „S“ je mytí letadla, které lze rozdělit na vnější mytí letadla



a technické mytí. Technické mytí představuje vyčištění části letadla předtím, než na něm řádně kvalifikovaný technik provede předepsanou údržbovou činnost. Vnější mytí letadla pak představuje celkové umytí zpravidla na konci údržby.

Tabulka 2-5, informace o prováděném úkonu v daném časovém logu, zdroj: Autor

Název datového údaje	Vysvětlení
<b>WO/TC</b>	identifikátor daného úkonu. Buď číslo úkolové karty nebo unikátní číslo pracovního příkazu
<b>Type</b>	typ úkonu, rozdělený na rutinní práce z úkolové karty, další plánovanou práci nebo neplánovanou práci viz Obrázek 2-1
<b>Scope</b>	Informace o pracovní specializaci daného pracovníka, který vytvořil časový log
<b>Description</b>	popis úkonu

V Tabulce 2-6 jsou uvedeny informace, které se váží ke konkrétnímu balíku prací, do kterého spadal prováděný úkon údržby. Tyto informace jsou pak při zpracování dat důležité pro zařazení konkrétního úkonu do příslušné revize. To umožňuje sledovat, jak byl daný úkon prováděn v konkrétních údržbových prostojích letadla. Další důležitou informací pak představují data o celkovém časovém průběhu daného balíku práce. Z toho lze posléze zjistit, v jaké části revize se daný úkon prováděl.



Tabulka 2-6, informace o balíku prací, ke kterému se daný časový log váže, zdroj: Autor

Název datového údaje	Vysvětlení
<b>Workpackage</b>	název balíku prací, kterému daný úkon náleží
<b>A/C model</b>	konkrétní typ letadla, na kterém byl úkon proveden
<b>Start date - scheduled</b>	datum plánovaného začátku revize, které se mohlo lišit od skutečnosti
<b>End date - scheduled</b>	datum plánovaného konce revize, které se mohlo lišit od skutečnosti
<b>Start date - real</b>	datum skutečného začátku práce na revizi
<b>End date - real</b>	datum skutečného konce práce na revizi
<b>TAT real [days]</b>	skutečná délka revize v počtu dní
<b>TAT scheduled [days]</b>	plánovaná délka revize v počtu dní

### 2.2.2 MPD tvar dat

Jak bylo uvedeno v kapitole 1.1 každý provozovatel skládá svůj program údržby na základě MPD. Jednotlivé úkolové karty provozovatele tak můžou mít různé názvy a lišit se například tím, že jsou rozděleny na levou a pravou stranu letadla. Pro příklad jedna z úkolových karet určená pro mazání podvozkových dveří měla u jednoho z provozovatelů označení: „321000-01-1“ a zahrnovala jak dveře na pravé straně podvozku, tak i na levé straně podvozku. Jiný provozovatel pak měl tento stejný úkon rozdělený do dvou úkolových karet zapsaných ve tvarech „321000-01-1-31“ a „321000-01-1-32“. Každý z těchto dvou tvarů byl



určený pouze pro podvozkové dveře na jedné straně podvozku. Z důvodu této rozdílnosti poskytlo CSAT tabulku s převodem těchto tvarů na jeden společný, který je uvedený v MPD daného letadla. Popis převodní tabulky je uveden v Tabulce 2-7. Tato tabulka umožňuje sloučit data od několika provozovatelů do jednoho uceleného celku. V převodních tabulkách se vyskytovala pouze data k letadlům typu B737 a A320 Family. Ne ke všem úkolovým kartám těchto dvou typů letadel však existuje v databázi CSAT tento převod, a proto byl použit pouze u těch karet, kde převodní vztah existoval.

Tabulka 2-7, Převodní tabulka na MPD tvar, zdroj: Autor

Název datového údaje	Vysvětlení
<b>TASKNUMBER</b>	Tvar, ve kterém jednotlivý provozovatelé kartu používají
<b>MPD</b>	Tvar úkolové karty tak, jak je uveden v MPD

### 2.2.3 Odhad času stráveného na úkonech vytvořených CSAT

Další analyzovaná data představovala vyhodnocení skutečné délky úkonů a předpokládané doby jejich trvání, tak jak byla zadána do údržbového systému AMOS plánovacími odděleními. V datech byly nad rámec údajů, která jsou uvedené v Tabulce 2-5 a Tabulce 2-6, ještě data uvedená v Tabulce 2-8.

Tabulka 2-8, Údaje k vyhodnocení průběhu předchozích revizí, zdroj: Autor

Název datového údaje	Vysvětlení
<b>ESTIMATE</b>	Odhad času pro daný úkon údržby
<b>BOOKED</b>	Skutečně odvedený čas na daném úkonu údržby



Porovnáním údajů o odhadech časů bylo možné následně vyhodnotit úspěšnost plánování časů pro jednotlivé úkony údržby a pro jednotlivá pracovní zaměření definovaná CSAT, která jsou uvedena v kapitole 1.5.

### 2.3 Filtrace a úprava dat

Data obsahující časové logy byla nahrávána z několika Excelových<sup>9</sup> souborů do objektu „pandas.DataFrame“ z knihovny Pandas. Kód pro nahrání dat je ukázán na Obrázku 2-2.

```
list_of_dataframes=[]
#directory = konkrétní umístění souboru
for idx,filename in enumerate(os.listdir(directory)):
    f = os.path.join(directory, filename)
    #test, jestli se jedná o soubor
    if os.path.isfile(f):
        print(f)
        list_of_dataframes.append(pd.read_excel(f,engine="openpyxl"))

df=pd.concat(list_of_dataframes)
df.reset_index()
```

Obrázek 2-2, kód pro nahrání dat ze excelovských souborů, zdroj: Autor

Následně docházelo k definování datových typů, tak aby bylo možné data dále zpracovat. V Tabulce 2-9 jsou uvedeny názvy datového údaje a jejich definovaný datový typ v prostředí Pythonu a knihovny Pandas. V tabulce jsou uvedeny pouze ty údaje, kde docházelo k dodatečné definici datového typu po nahrání.

Tabulka 2-9 - přeměna datových typů, zdroj: Autor

Název datového údaje	Datový typ
<b>bookingno_i</b>	int64
<b>Duration full</b>	float64
<b>Start Date</b>	datetime64[ns]

<sup>9</sup> <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/excel>



Název datového údaje	Datový typ
End Date	datetime64[ns]
Start date - real	datetime64[ns]
End date - real	datetime64[ns]
TAT real [days]	Int64

Z položky Start Time byla následně zjištěna konkrétní část dne a převedena do číselného tvaru podle následujícího vztahu 2.1, kde  $h$  představuje počet hodin a  $m$  představuje počet minut.

$$\text{část dne} = \frac{h + \frac{m}{60}}{24} \quad (2.1)$$

Konkrétní funkce, která za tímto účelem byla vytvořena je uvedena na Obrázku 2-3.

```
def hoursFloat(t):
    str(t)
    if t[0] == '0':
        h = t[1]
    else:
        h = t[0]+t[1]

    if t[0] == '0':
        m = t[4]
    else:
        m = t[3]+t[4]

    h = float(h)
    m = float(m)

    return ((h + m/60)/24)
```

Obrázek 2-3, kód pro zjištění konkrétní hodiny během dne, zdroj: Autor

V dalším kroku došlo k vypočtení relativního času revize, kdy byl daný časový log vytvořen, a to podle následujícího vztahu 2.2, kde  $SD$  představuje datum, kdy byl vytvořen časový log,  $SDR$  představuje datum, kdy začala daná revize a  $\text{část dne}$  představuje konkrétního čas logu





v průběhu dne viz. vztah 2.1. Proměnná  $TAT_{real}$  představuje skutečnou délku revize ve dnech.

$$relativní\ čas\ revize = \frac{(SD - SDR) + \text{část dne}}{TAT_{real}} \quad (2.2)$$

Tento výpočet byl vytvořen proto, aby bylo možné seřadit časy začátku úkonů od prvního logu provedeného v revizi až po poslední. Tím byla získána informace o tom, ve které časové části revize se jednotlivé úkony údržby vyskytují.

V dalším kroku byly z revizí odfiltrovány ty, které probíhali na letadlech typu ATR-42 nebo ATR-72. Tato práce se zabývá pouze těmi revizemi, které probíhali na letadlech typu B737NG nebo A320 Family. Prvním důvodem je, že k letadlům typu B737 a A320 Family byly CSAT poskytnuty převodní tabulky do MPD tvarů viz kapitola 2.2.2. Druhým důvodem je, že zastoupení letadel typu ATR-42/72 v údržbě v CSAT je stále menší a jedná se tak o výběhový typ, který v práci nebyl zpracováván. Aby došlo k eliminaci potenciálních extrémů, byly odfiltrovány ty revize, které trvaly déle než 80 dní. Tento počet dní byl zvolen po poradě s experty na plánování v CSAT. K extrémně dlouhým revizím docházelo zejména vlivem pandemie onemocnění COVID19, kdy se výrazně snížil letecký provoz a letadla zůstávala v revizi výrazně déle, než je obvyklé. Tato práce si neklade za cíl analyzovat tyto nestandardní revize, ale soustřeďuje se na běžný provoz. Rovněž nebyly brány v potaz revize, které trvaly kratší dobu, než 5 dní. Revize trvajících kratší dobu, než 5 dní jsou zpravidla revize typu „A-Check“ či plánované výměny komponentů (jakož je sada podvozků, pohonné jednotky, atd). Nepředstavují tak klasickou těžkou údržbu. Takto krátké revize, ale zkreslují, ve které části revize jsou prováděny shodné úkolové karty prováděné při těžké údržbě. Z dat bylo rovněž vyzorováno, že tyto krátké revize obsahují kolem 700 naplánovaných pracovních hodin. Z tohoto důvodu byly rovněž odfiltrovány ty revize, které měly odvedeno na plánovaných úkonech údržby méně jak 700 hodin. To bylo učiněno z toho důvodu, že i při krátkých revizích jako je výměna podvozku může dojít ke zpoždění vlivem nízkých kapacit pracovníků nebo prodlevám při uspokojení materiálových požadavků. Z důvodů chybného zadání do systému se v datech objevily i revize, které trvaly záporný počet dní. Tyto revize rovněž nebyly dále zpracovávány.

V revizích se rovněž vyskytovali úkony, jejichž začátek nebo konec přesahoval dobu, kdy byla revize skutečně provedena. To je způsobeno chybou zápisu do systému AMOS. Takové úkony údržby, tak nebyly dále zkoumány, aby se eliminovala chyba, kterou by zanášeli do analýzy dat.

Na Obrázku 2-4, tak vidíme konkrétní aplikované řešení pro odfiltrování revizí, které byly buď nevhodně dlouhé, nebo byly provedeny na letadlech typu ATR-42 či ATR-72, která nebyla v této práci uvažována.

```
#odfiltrování letadel typu ATR-42 a ATR-72
df = df.loc[(df['AircraftFamily'] != 'ATR-42')]
df = df.loc[(df['AircraftFamily'] != 'ATR-72')]

#odfiltrování revizí s nestandardním počtem dní
df = df.loc[(df['TAT real [days]'] > 0)]
df = df.loc[df['TAT real [days]']>=5]
df = df.loc[(df['TAT real [days]'] < 80)]

#odfiltrování revizí menších jak 700 hodin
df = df.loc[(df['WP_Dur'] > 700)]
```

Obrázek 2-4, Kód pro odfiltrování letadel typu ATR a nevhodně dlouhých revizí, zdroj: Autor

Další analýza se zabývala pouze pracemi hlavních expertních skupin, které jsou definované v kapitole 1.5. Tyto skupiny představují letecké mechaniky a avioniky, kteří představují hlavní skupinu pracovníků podílejících se na údržbě letadel. Neřadí se mezi ně jiné odbornosti jako například skupiny specializované na mytí letadla, opravu sedaček nebo lakýrnické práce. V Tabulce 2-10 je uveden seznam hlavních skupin pracovníků spadající pod licenci B1 a B2. Vedle popisu skupiny je v tabulce uveden i zkrácený název, tak jak byl uveden v datech z CSAT v poli „Scope“.

Tabulka 2-10, Popis expertních skupin, zdroj: Autor

Popis skupiny	Licence	Zkrácený název v datech
specialisté na interiéry letadla	B1	MECH-INT
specialisté na drak letadla	B1	MECH-EXT
odborníci na letecké motory	B1	MECH-ENG



<b>Popis skupiny</b>	<b>Licence</b>	<b>Zkrácený název v datech</b>
<b>experti na podvozkové systémy</b>	B1	MECH-LDG
<b>odborníci na dílenské a strukturální opravy</b>	B1	SHM
<b>odborníci na avioniku</b>	B2	AVIO

Jak již bylo zmíněno v Tabulce 2-5 u dalších plánovaných prací se často vyskytovalo označení těchto prací v poli „Description“. Za účelem zjištění názvu práce, tak byla vytvořena funkce, která si klade za cíl nalézt co největší počet možných validních názvů. Tato funkce pracuje s předpokladem, že se v popisu vyskytnou následující pojmy uvedené v Tabulce 2-11. Tyto pojmy byly získány na základě manuálního zpracování vzorku dat a jeho vyhodnocení, o jaký údržbový úkon se jednalo.

Tabulka 2-11, možné začátky názvů vedoucích k identifikaci konkrétního úkonu, zdroj: Autor

<b>Pojem</b>	<b>Vysvětlení</b>
<b>737-SL</b>	Začátek názvu konkrétního „service letter“
<b>SB-B737</b>	Začátek názvu servisního bulletinu pro B737
<b>SB-737</b>	Začátek názvu servisního bulletinu pro B737
<b>A320-</b>	Začátek názvu servisního bulletinu pro A320
<b>VSB RA</b>	Jeden z možných začátků názvů pro servisní bulletin od výrobce třetí strany



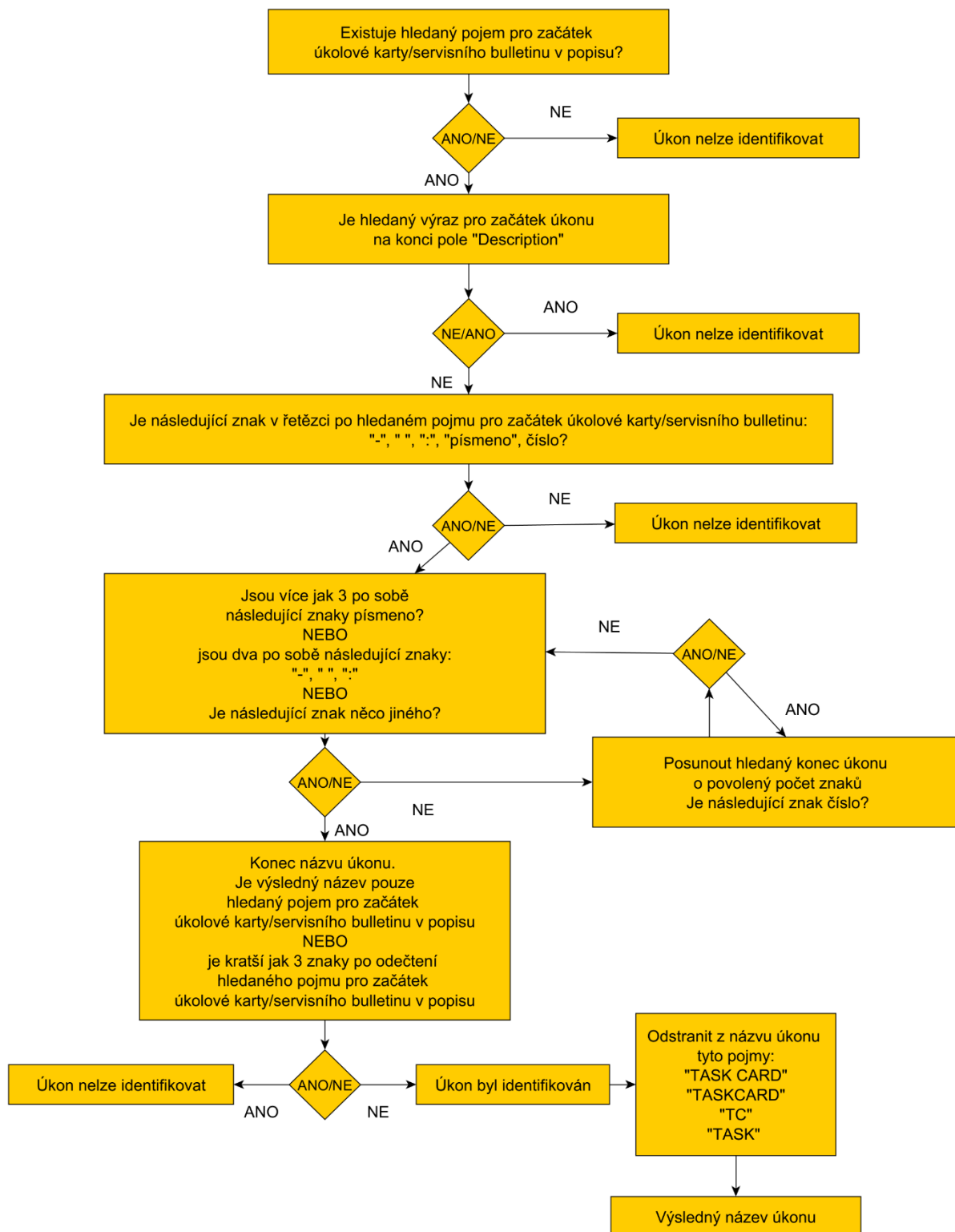
Pojem	Vysvětlení
<b>TASKCARD ZL</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty
<b>ZL-</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty
<b>TASKCARD TAV</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty
<b>TC N/R</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty
<b>TASKCARD</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty
<b>TASK CARD</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty
<b>TASK</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty
<b>TC</b>	Jeden z možných začátků názvu konkrétní úkolové karty

Na Obrázku 2-5 je vidět algoritmičtý popis, jak navržená funkce funguje. Funkce hledá v popisu úkonu počáteční řetězec znaků definovaný v Tabulce 2-11. Pokud jej najde, tak kontroluje, jestli je hledaný řetězec pouze na konci úkonu a neobsahuje tak za sebou žádný další pojem. Pokud je za hledaným řetězcem z Tabulky 2-11 nějaký z povolených znaků, pak hledá, kde v poli „Description“ končí definice úkonu. Jedním ze znaků, který se v názvu úkonů vyskytuje, jsou tři po sobě jdoucí písmena. Příkladem takových karet jsou tyto dvě:



„ZL-141-GVI-10050-3“ či „TAV72-300-01“. V předposledním kroku jsou z výsledného řetězce odstraněny některé názvy identifikující začátek daného úkonu. Tento postup je zvolený z důvodu, že v některých revizích je obsažen výraz „**TC** TAV72-300-01“, ale v jiných například „**TASK** TAV72-300-01“ ačkoliv se jedná o tutéž úkolovou kartu. Slovo „TASK“ slouží pouze k identifikaci místa, kde v textu daný úkon začíná.

Z textu lze identifikovat i další typy úkonů, jako například technické mytí, vnější mytí letadla či otevírání a zavírání přístupových panelů. Tyto úkony jsou však závislé na prováděných úkolových kartách a je nemožné je hodinově ohodnotit bez exaktní znalosti otevíraných přístupových míst, a proto nebyly uvedeny v Tabulce 2-11 a nebyly zakomponovány do funkce, která identifikuje názvy konkrétních úkonů.



Obrázek 2-5, Algoritmus popisu funkce hledající název úkolové karty z popisu, zdroj: Autor



### 3 Vyhodnocení rozdělení rutinních a dalších prací v průběhu údržby letadel

Dalším krokem práce je analyzování, jakým způsobem jsou dané úkony rozčleněny během revize. Při analýze, tak byly rozděleny úkony podle svého typu do tří skupin. Do skupiny „TC“, ve které byly rutinní práce, do skupiny „S“, kde byly další plánované práce a do skupiny „M“, pod kterou se nachází neplánované práce, jež obsahují popis nalezené závady a její nápravu.

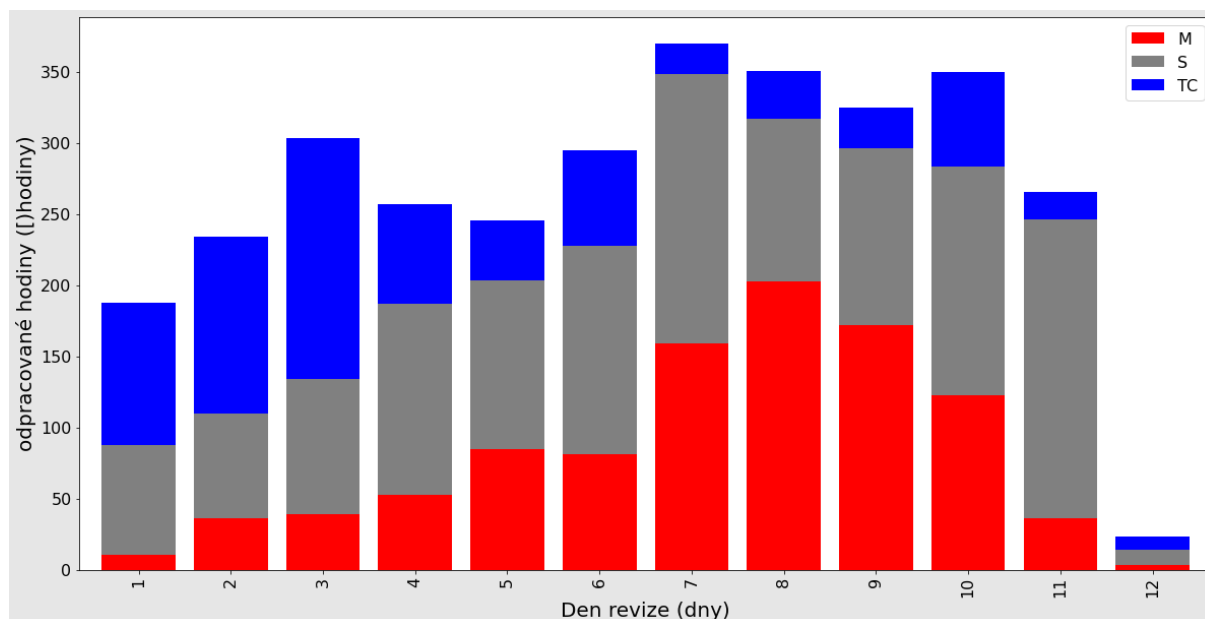
#### 3.1 Rozdělení úkonů v jednotlivých dnech revize

Prvním předpokladem analýzy je, že práce jsou rozděleny tak, jak bylo uvedeno v Tabulce 1-1. Tedy, že na začátku revize bude největší zastoupení odpracovaných hodin na úkonech typu „TC“ a „S“, jejichž cílem je nalezení závad a provádění modifikací. S tím, jak revize bude postupovat v čase, bude stoupat i zastoupení odpracovaného času na úkonech typu „M“, které jsou určené k opravě zjištěných závad. Nicméně úkony typu „TC“ a „S“ budou mít své zastoupení během celé revize, protože bude průběžně docházet ke zpětné instalaci dílů a provádění funkčních testů.

Na Obrázku 3-1 je vidět, jak jsou jednotlivé práce rozděleny během jedné z typických revizí typu „C“ na Airbusu A320, která je obsažena v analyzované datové sadě. V prvních dnech je vidět velké zastoupení úkonů typu „TC“ a „S“. Úkony typu „M“ s cílem opravení nalezených závad tak skutečně postupně narůstají, jak bylo předpokládáno. Nicméně je zřejmé, že úkony typu „TC“ a „S“ se vyskytují v celé revizi. To je způsobeno jednotlivými kroky, které se na úkolových kartách vyskytují. Z dat o průběhu údržby lze zjistit, že 49,97 % hodin na úkonech typu „S“ u této konkrétní revize tvoří dohromady následující úkony:

- vnější mytí
- technické mytí
- zavírání a otevírání přístupových panelů

Potřeba technického mytí a zavírání či otevírání přístupových panelů jsou úkony, které závisí na tom, jaké je konkrétní složení úkonů v revizi a nelze je bez jejich detailní znalosti předem odhadnout viz kapitola 2.3.



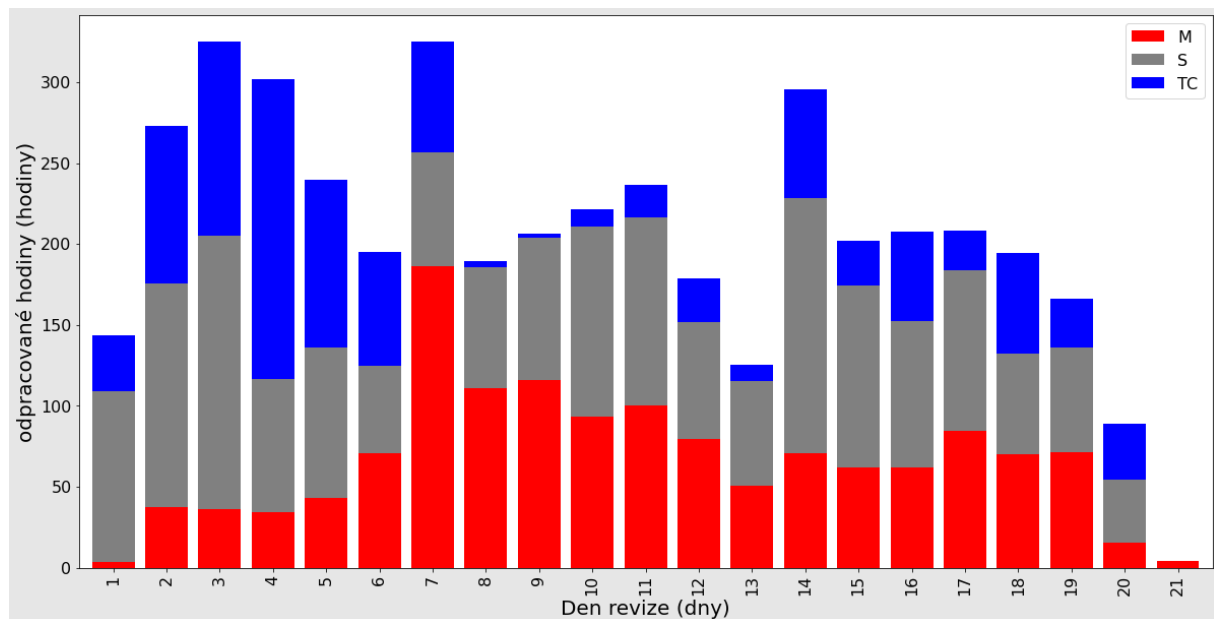
Obrázek 3-1, Rozdělení všech typů práce během jedné z kontrol typu „C“ na Airbusu A320,  
zdroj: Autor

Na Obrázku 3-2 je vidět, jak takové rozdělení může vypadat u rozsáhlejšího typu kontroly s označením „D“, též někdy označované jako HMV tedy „Heavy maintenance visit“. I zde vidíme stejný opakující se vzorec, kdy postupně narůstá počet odpracovaných hodin na úkonech typu „M“ a úkony typu „TC“ a „S“ jsou nejvíce zastoupeny na začátku a na konci revize. U této revize tvoří následující úkony typu „S“, které jsou silně závislé na úkolových kartách 92,61 % ze všech odpracovaných hodin na úkonech typu „S“. Těmito úkony jsou:

- vnější mytí
- technické mytí
- zavírání a otevírání přístupových panelů

Tím pádem pouze 7,39 % dalších plánovaných prací je možné přiřadit ke konkrétnímu úkonu.

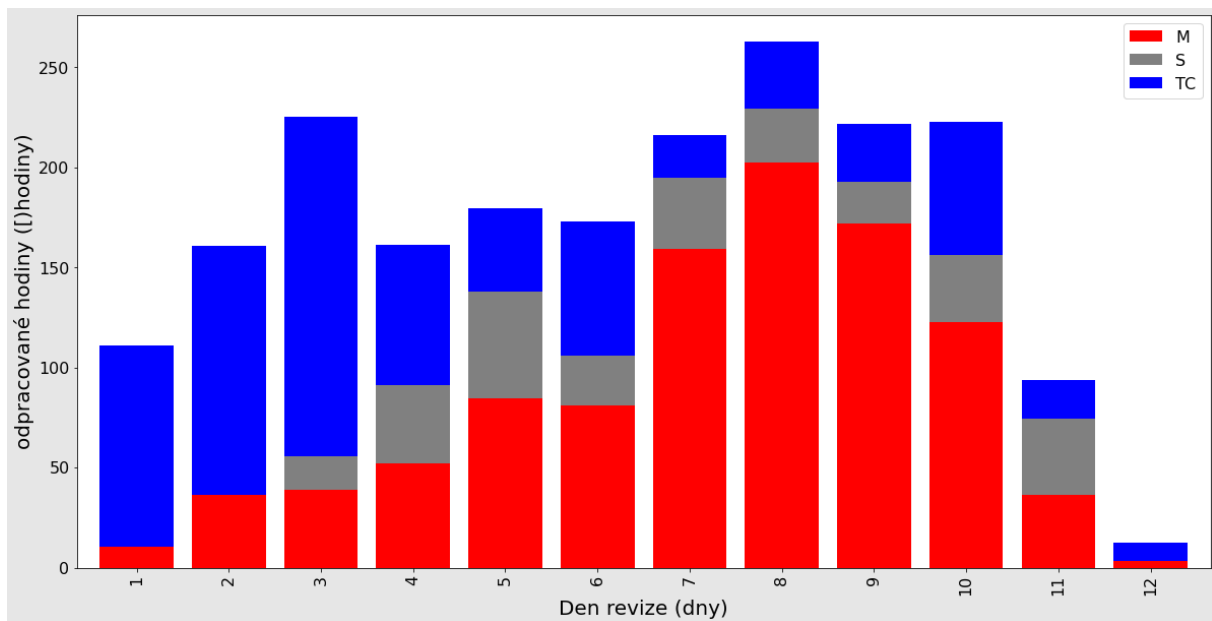




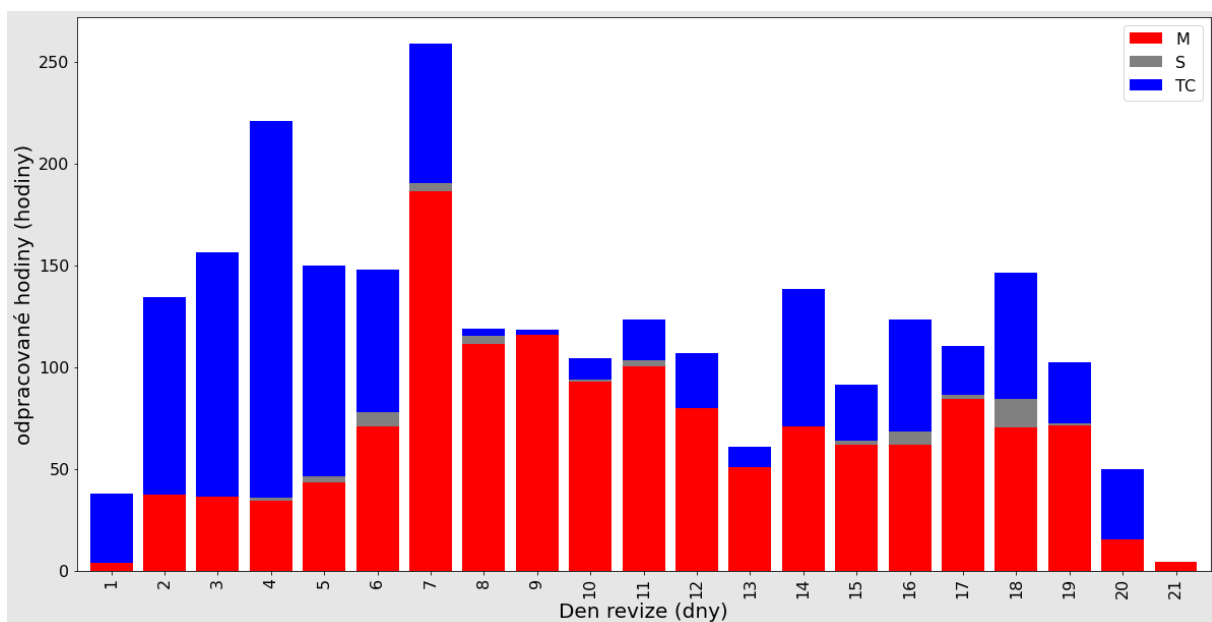
Obrázek 3-2, Rozdělení všech typů práce během jedné z kontrol typu „D“ (též označované jako HMV tedy „Heavy maintenance visit“) na Boeingu 737-800, zdroj: Autor

Pokud se podíváme na stejné revize, jako jsou na Obrázku 3-1 a Obrázku 3-2 pouze z hlediska hodin strávených na úkonech, které byly strojově jednoznačně identifikovány, jak je popsáno v kapitole 2.3 je zastoupení inspekcí, testů a dalších úkonů z TC markantní. Nejsou zde však promítnuty hodiny strávené demontáží a montáží přístupových panelů k úkonům typu „TC“. Při otevírání přístupových míst pro splnění práce na servisních bulletinech a některých dalších úkonech definovaných ve smlouvě se zákazníkem (zpravidla typu „S“) nejsou používány obecné úkolové karty pro otevírání/zavírání přístupových míst, ale čas je obsažen v provedení servisního bulletinu.

Stejná revize jako je na Obrázku 3-1, je ukázána pouze s jednoznačně přiřazenými úkony na Obrázku 3-3 a revize z Obrázku 3-2 je pak na Obrázku 3-4. Je vidět, že velkou část hodin na úkonech typu „S“ není snadné jednoznačně z jejího popisu přiřadit k nějakému konkrétnímu úkonu. Hodiny na úkonech typu „M“ jsou v tomto rozložení ponechány stejné.



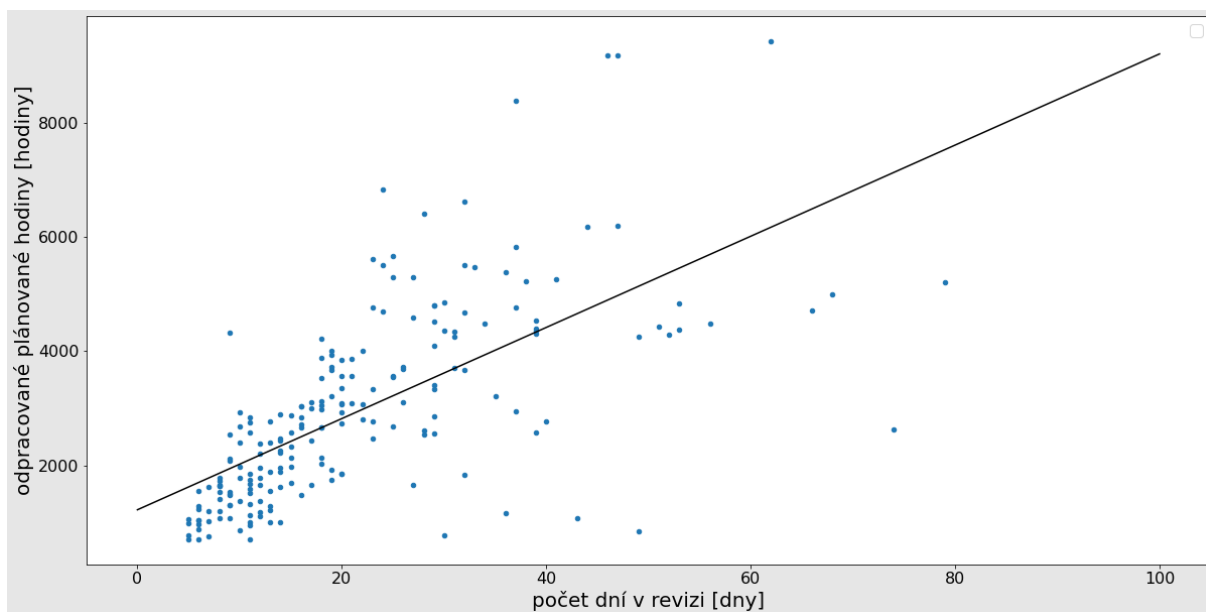
Obrázek 3-3, Rozdělení práce na jednoznačně definovaných úkonech během jedné z kontrol typu „C“ na Airbusu A320, zdroj: Autor



Obrázek 3-4, Rozdělení práce na jednoznačně definovaných úkonech během jedné z kontrol typu „D“ (též označované jako HMV tedy „Heavy maintenance visit“) na Boeingu 737-800, zdroj: Autor

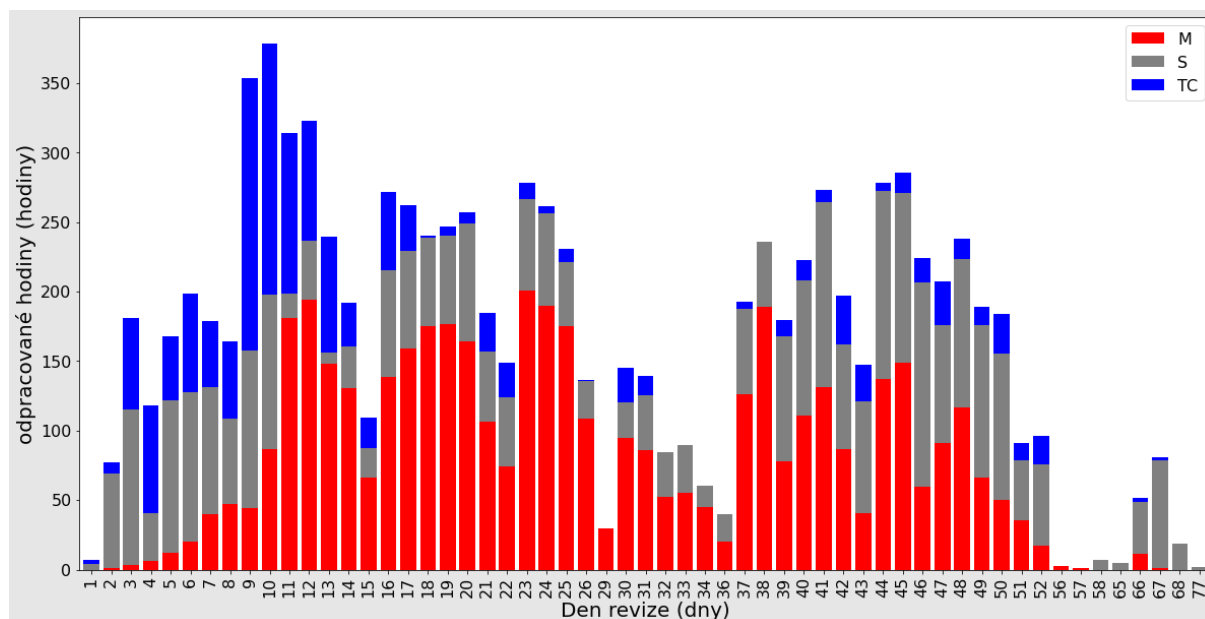
### 3.2 Rozdělení úkonů podle odpracovaného času

Na Obrázku 3-5 je vidět závislost celkově odpracovaných plánovaných hodin a počtu dní. Data jsou proložena regresní křivkou. Je patrné, že se v souboru dat vyskytují revize, které trvají dlouhou dobu, ale je na nich vykonáno méně hodin práce než na jiných revizích, které trvají kratší dobu. Je tak vidět, že se některé revize časově protáhly, i když na nich bylo odpracováno relativně málo plánovaných hodin. Tento jev je způsoben zejména nedostatečným množstvím kapacit pracovníků a prodlením mezi dobou dodání provozuschopných dílů a jejich objednávkami.



Obrázek 3-5, Závislost hodin a počtu dní, zdroj: Autor

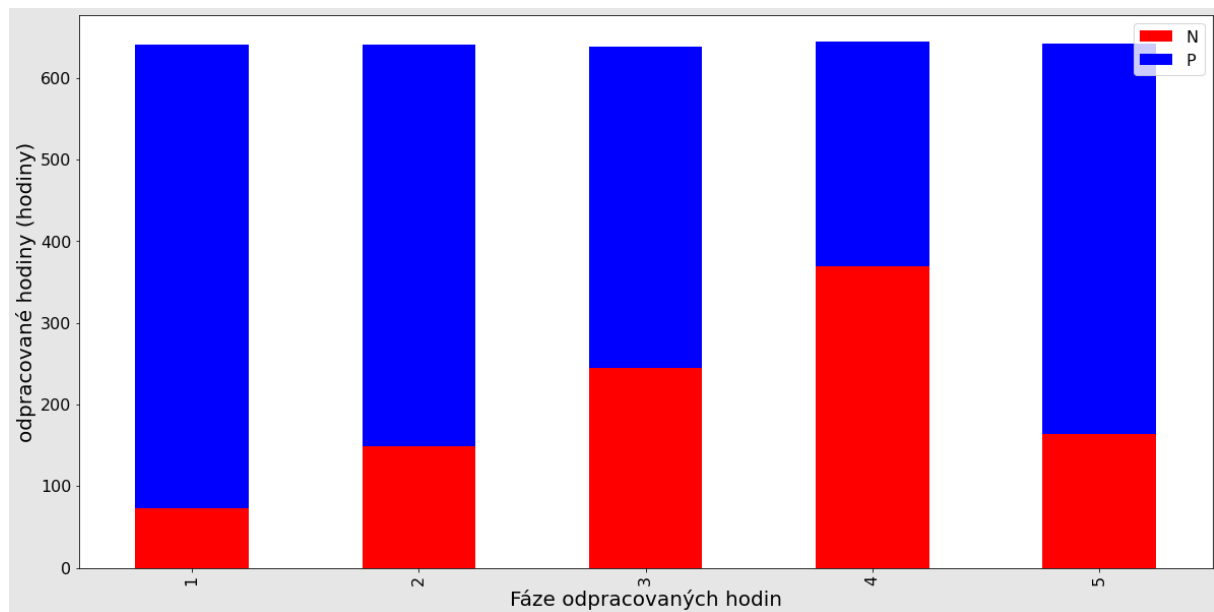
Na Obrázku 3-6 je znázorněn průběh jedné z delších revizí, na které jsou patrné dlouhé prostoje, které byly způsobeny částečně nedostatkem kapacit a částečně i čekáním na dodání potřebných dílů. Zejména mezi 29. - 36. dnem revize je vidět velký časový prostoj z hlediska odpracovaných hodin.



Obrázek 3-6, Dlouhá revize s prostoji, zdroj: Autor

Práce tak navrhuje způsob, jak při analýze snížit vliv nedostatku kapacit vyčleněných pro jednotlivé revize a čekání na dodání provozuschopných dílů. Tento způsob spočívá ve sledování revize nikoliv podle jednotlivých dnů, ale podle množství vykázaných (odpracovaných) hodin. Hodiny na jednotlivých úkonech lze rozdělit do několika bloků podle tohoto, v jaké relativní části celkového odpracovaného času se vyskytly. Toho lze docílit tak, že jednotlivé časové logy na plánovaných úkonech v konkrétní revizi jsou seřazeny vzestupně tak, jak se v revizi za sebou vyskytovaly. U takto seřazených časových logů je spočten kumulativní součet vykázaného času, který je vydělen celkovým počtem plánovaných odpracovaných hodin v revizi. Výsledkem je relativní odpracovaný čas na plánovaných úkonech, ve kterém se daný časový log v revizi vyskytl. Pro znázornění a praktické výpočty je pak možné takto získaný relativní čas rozdělit do libovolného množství bloků, podle hodnoty relativního odpracovaného času na plánovaných úkonech.

Revizi s dlouhými prostoji z Obrázku 3-6 lze zobrazit ve fázích odpracovaných hodin, tak jak je to popsáno v předchozím odstavci. Toto zobrazení je na Obrázku 3-7 konkrétně do 5 časových fází. Na něm je vidět rozdělení, ve kterém jsou sdruženy úkony typu „TC“ a „S“ modrou barvou a v legendě zobrazeny jako „P“, což znamená plánovaná údržba. Úkony typu „M“ jsou zobrazeny červenou barvou a v legendě jsou označeny pod písmenem „N“ jako neplánovaná údržba. Obrázek nám dává ucelenější přehled toho, jakým způsobem jsou v čase rozděleny údržbové hodiny.



Obrázek 3-7, Dlouhá revize ve fázích odpracovaných hodin, zdroj: Autor

Tímto je pro další analýzu snížen vliv dnů, kdy se na revizi provádí snížené množství úkonů z důvodů nižší kapacity pracovníků. Částečně je tak snížen i vliv prostojů mezi objednávkami a dodáním potřebného materiálu. Nicméně konkrétně dodaný materiál může mít i technologický vliv na konečné provedení některých úkonů.

### 3.3 Rozdělení do specializovaných pracovních skupin

Jak bylo popsáno v kapitole 1.5 v CSAT jsou technici děleni do několika expertních skupin. Poměrově jsou odpracované hodiny skupiny pracovníků, patřících do „hlavní“ skupiny zastoupeny v analyzovaných revizích 78 %.

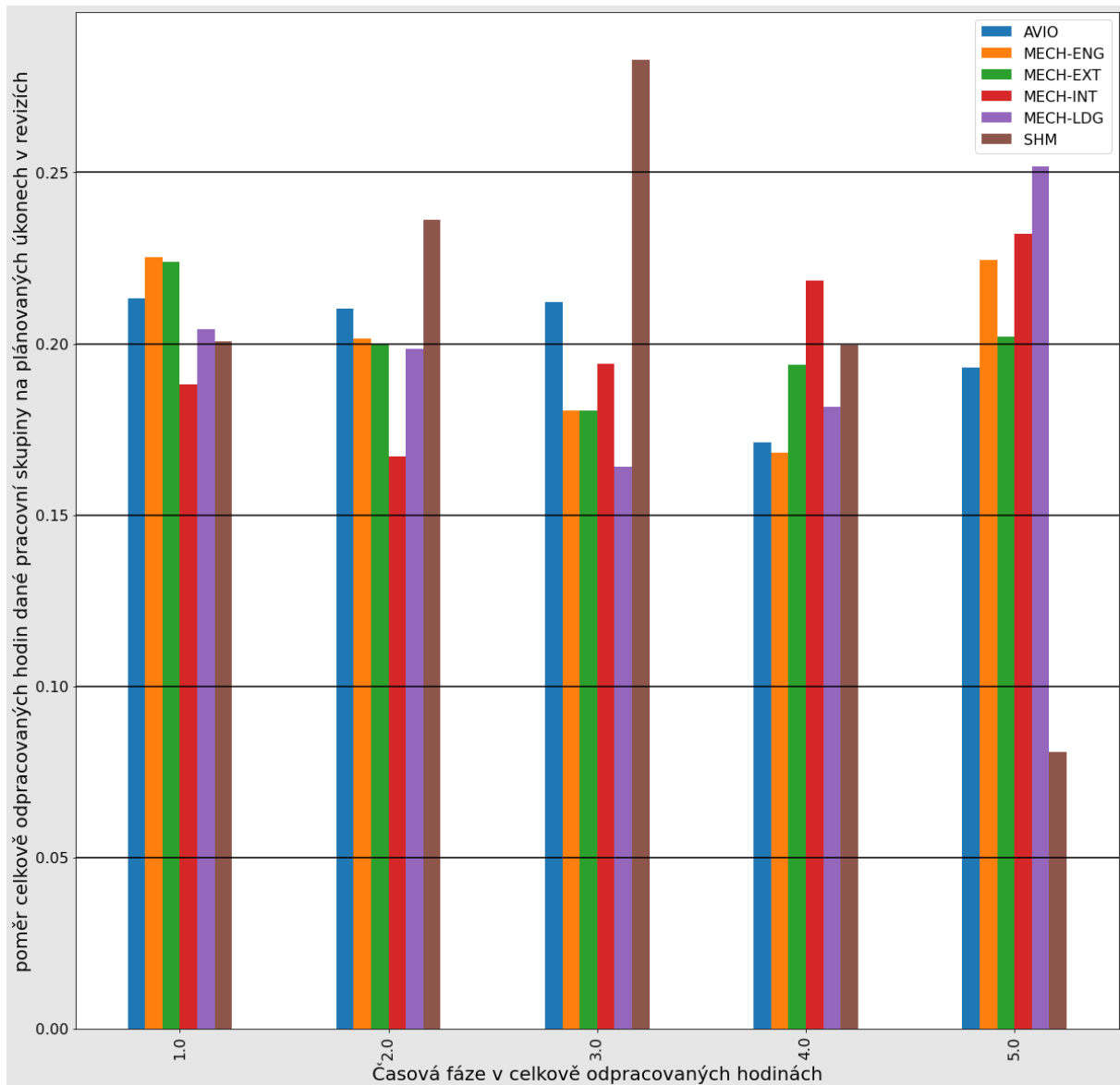
Analýza práce jednotlivých „hlavních“ skupin byla zaměřena na to v jakých částech revize se nejvíce vyskytují časy různých pracovních skupin spadajících do hlavní pracovní skupiny. Za tímto účelem byl nejprve učiněn součet všech hodin, které jednotlivé skupiny zaměření odpracovali v každém balíku prací („Workpackage“) na plánovaných úkonech (Type „TC“ a „S“). Dále byl vypočten celkový počet odpracovaných hodin na plánovaných úkonech v revizi v každé fázi pro jednotlivé pracovní skupiny („Scope“). Vydělením hodin strávených v jednotlivých fázích vůči celkovému počtu hodin pro každý „Scope“ tak vzniklo relativní procento hodin, které jednotlivá zaměření strávili prací v určitých fázích v každé revizi. Výpočet relativního počtu odpracovaných hodin pro danou pracovní skupinu v jedné fázi je vyjádřen ve vztahu 3.1, kde proměnná  $sel\_phase\_wp$  představuje konkrétní fázi v jedné revizi. Proměnná



*phase\_wp* představuje všechny fáze v dané revizi. Proměnná *dur\_sc* jsou časové logy odpracovaných hodin dané pracovní skupiny. Výsledek *rel\_scope\_phase\_wp* je tak relativní počet odpracovaných hodin v jedné z fází revize pro danou pracovní skupinu.

$$rel\_scope\_phase\_wp = \frac{\sum_{sel\_phase\_wp} dur\_sc}{\sum_{phase\_wp} dur\_sc} \quad (3.1)$$

Následně byl proveden výpočet průměrného rozdělení prací pro jednotlivé pracovní skupiny v daných fázích. Výsledný graf, který je vidět na Obrázku 3-8, který ukazuje, jak je rozloženo pracovní vytížení jednotlivých hlavních pracovních skupin v průměrné revizi. Z grafu lze vyčíst, že nejvíce hodin na plánovaných úkonech pro klempíře je odpracováno zhruba ve 2/5 až 3/5 revize. To je způsobeno zejména tím, že klempířské práce na různých modifikacích jsou obvykle prováděny až při konci „inspekční“ fáze revize. Celkově je z grafu na Obrázku 3-8 patrné, že různé profese provádí větší, či menší část plánované údržby v různých fázích revize. To znamená, že i rozdílné úkony jsou prováděny v různých částech revize, a proto je nutné plánovat kapacity expertních týmů v revizi do jejich různých částí rozdílně.



Obrázek 3-8, Poměr celkově odpracovaných hodin dané pracovní skupiny na plánovaných úkonech ve všech revizích, zdroj: Autor



## 4 Návrh zefektivnění provádění plánování prací během inspekcí složitých dopravních letadel

V této kapitole je na základě předchozí analýzy navrhuto řešení pro predikování času stráveného na jasně definovaných úkonech údržby s ohledem na průběh revize. U úkonů jako je technické mytí, nebo otevírání a zavírání přístupových panelů nelze bez exaktní znalosti konkrétních panelů a složitosti jejich demontáže a montáže určit jakou dobu budou dané úkony trvat, proto jsou pro účely této práce definovány jako nejasně definované. Toto řešení má za cíl umožnit odhadnout potřebnou kapacitu pracovníků údržby letadel v různých částech revize pro jasně definované úkony údržby. Zlepšení predikce potřebných kapacit by přispělo ke zlepšení plánování v před-taktické a taktické fázi revize, protože by přineslo odhad nutného počtu určitých skupin zaměstnanců rozloženého v čase. Tímto způsobem je možné rozplánovat směny zaměstnancům a zároveň zlepšit celkový přehled produkčním plánovačům o předpokládaném průběhu prací.

### 4.1 Rozdělení úkonů do fází

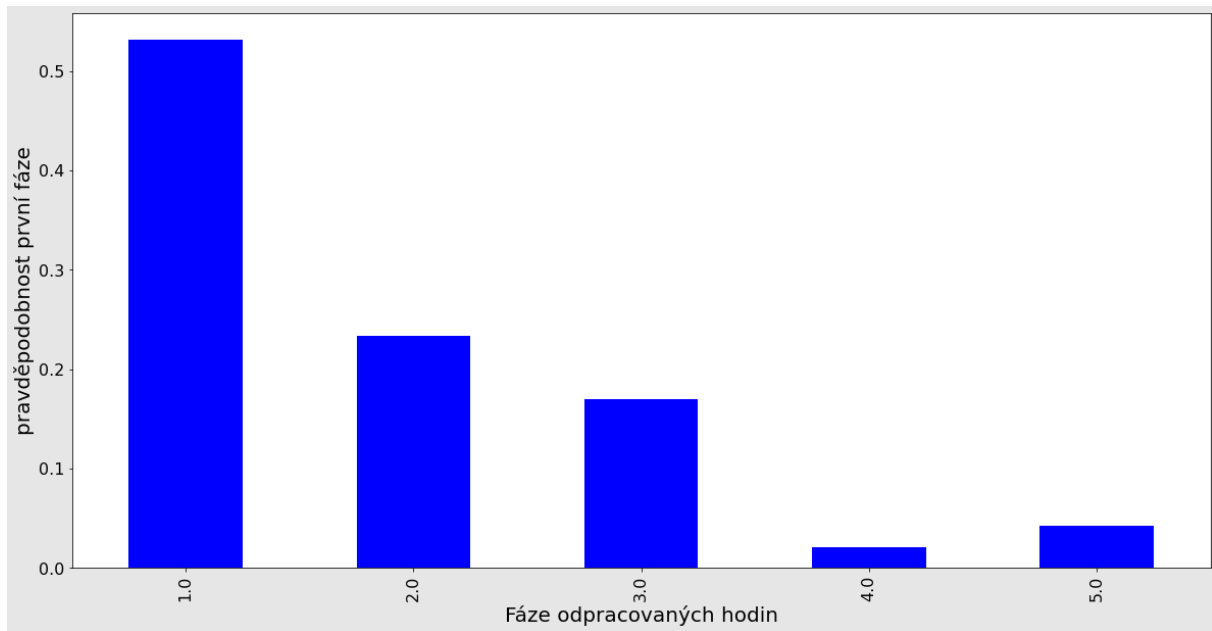
Jak jsme viděli v kapitole 3.2 práce lze rozdělit do fází odpracovaných hodin, ve kterých se opakují určité vzorce rozdělení prací. Tato podkapitola se věnuje rozdělení jednotlivých úkonů a navrhované metodice, jak toto rozdělení odhadovat.

Jako příklad pro vizualizaci navrhovaného řešení byl zvolen jeden z úkonů údržby, jehož cílem je prohlídka odlučovače vody a případné vyčištění filtru. V této úkolové kartě dochází k:

- Sundání komponenty
- Provedení příslušné procedury
- zpětné instalaci dílu

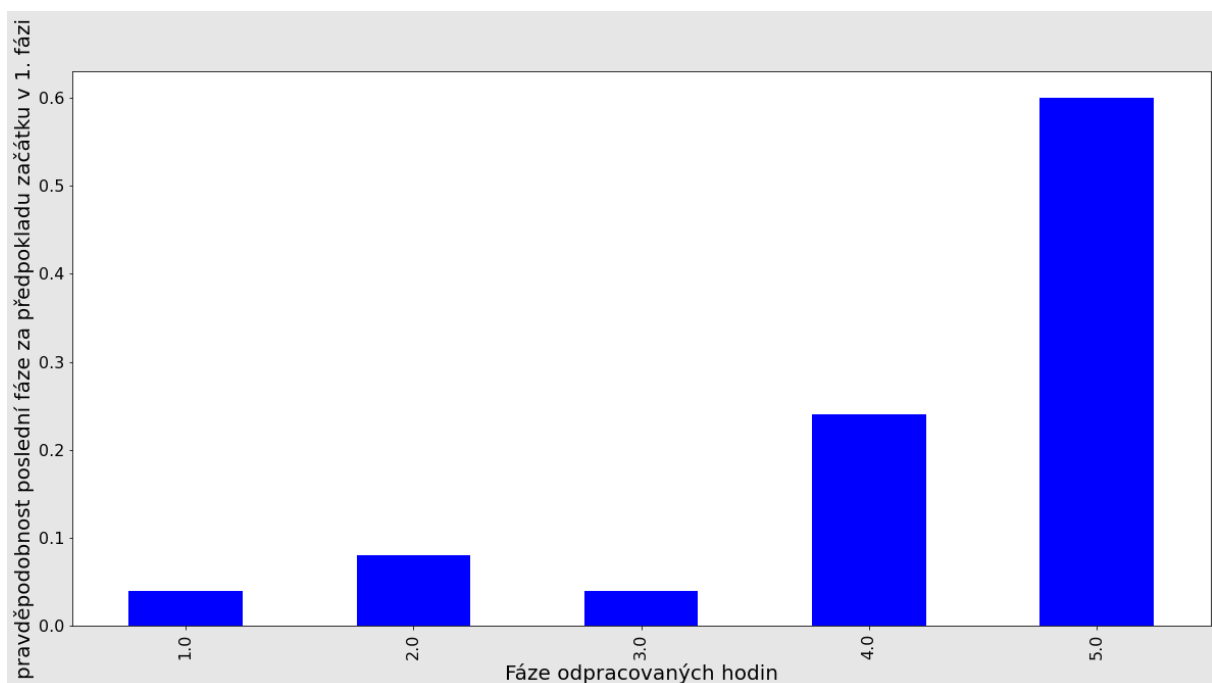
Navrhovaná metoda počítá s nalezením nejčastějších fází údržby, ve které se nachází u daného úkonů časové logy. Příklad takového rozdělení u pěti fázového rozdělení vidíme na Obrázku 4-1. Zde je nejčastější fází pro začátek úkonu první fáze. První fáze je počítána jako nejmenší hodnota fáze na daném úkonu v dané revizi, a naopak poslední fáze jako maximum.





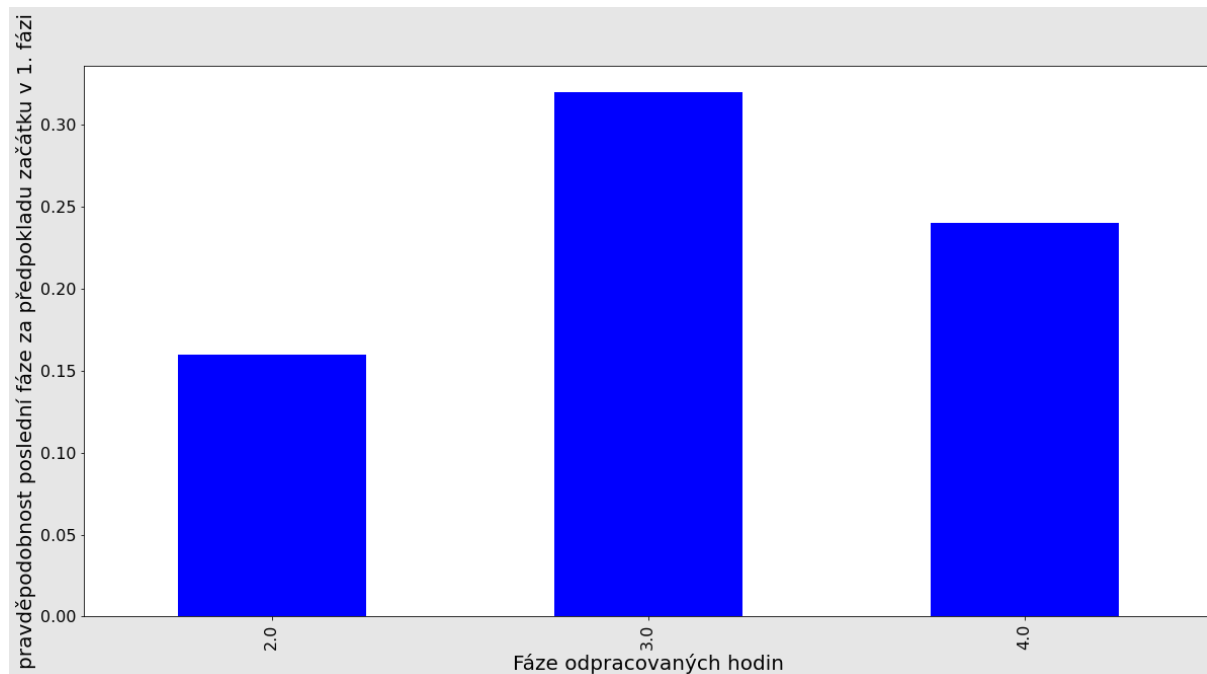
Obrázek 4-1, Fáze, ve které na daném úkonu nastal první časový log, zdroj: Autor

Vidíme, že s pravděpodobností 53 % je nejčastější začátek pro tento úkon na začátku revize v první fázi odpracovaných hodin. Pokud uvážíme, že první časový log proběhl v první fázi, pak na Obrázku 4-2 vidíme, že nejčastější konec nastává za tohoto předpokladu v 5. fázi revize.



Obrázek 4-2, poslední log za předpokladu prvního, zdroj: Autor

Dalším parametrem, který je nutné vyhodnotit je, jestli se úkon vyskytne i v nějaké další fázi. Za tímto účelem se podíváme na pravděpodobnosti toho, že v některé další fázi nastane časový log za předpokladu, že první fází je fáze 1. a poslední fází je fáze 5.



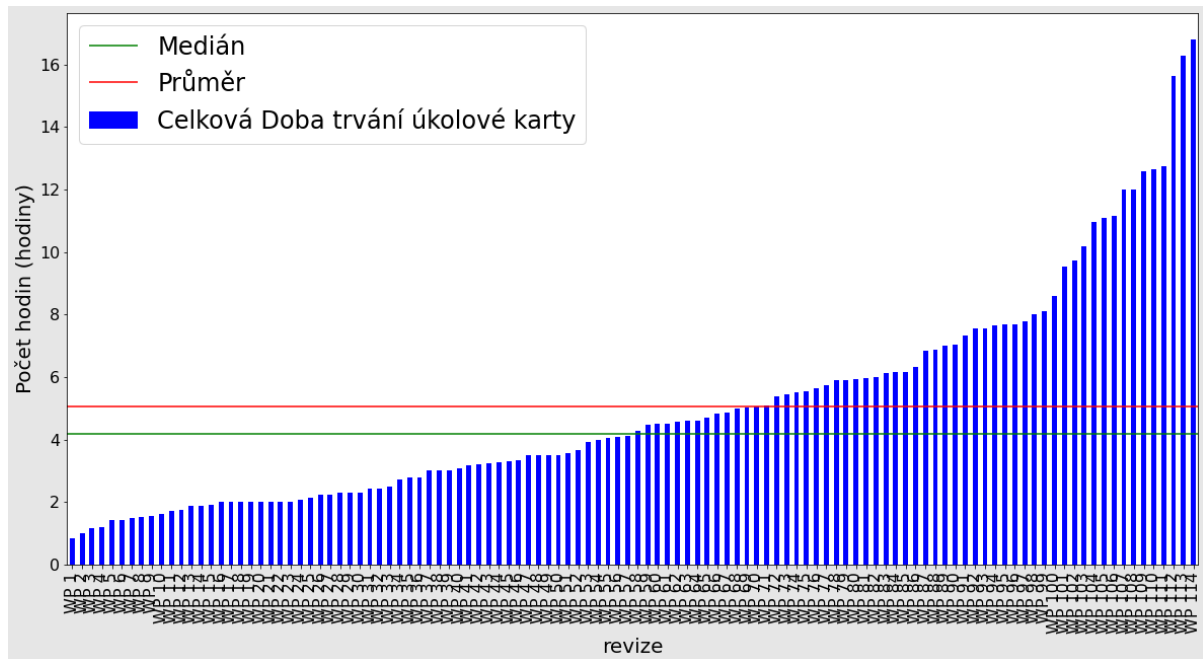
Obrázek 4-3, pravděpodobnost dalších logů za předpokladu prvního a poslední, zdroj: Autor

V tomto případě vidíme, že nejvyšší pravděpodobnost pro další log nastává ve třetí fázi a dosahuje hodnoty 32 %. Tuto hodnotu lze vysvětlit i tak, že je 68 % šance, že jev nenastane, proto nejsou další fáze v tomto konkrétním případě uvažovány. Proto, aby v návrhu byla uvažována další fáze, ve které nastane další časový log, tak musí být šance pro její výskyt vyšší jak 50 %.

## 4.2 Predikce odpracovaného času

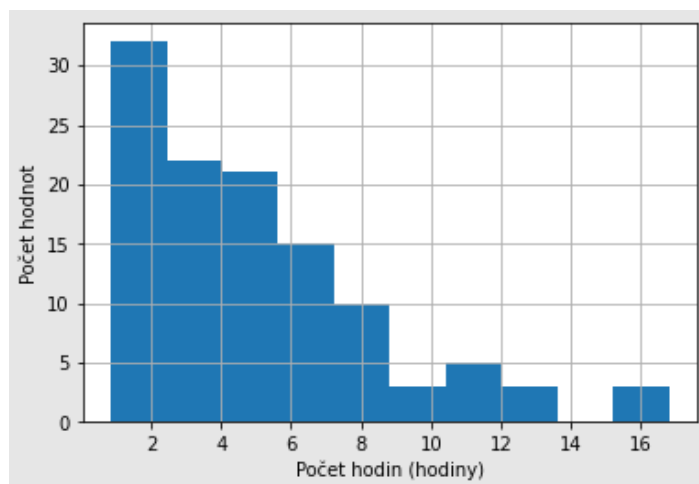
Pro učení, kolik pracovních hodin bude v jednotlivých fázích odpracováno je nejdříve zjištěna střední hodnota doby, na které se na tomto konkrétním úkonu pracuje v souhrnu. Rozdělení časů pro tento konkrétní úkon vidíme na Obrázku 4-4. Je zřejmé, že rozptyl hodnot je značný, a proto je jako celkový predikovaný čas volen medián. Medián má tu vlastnost, že na rozdíl od průměrů není ovlivněn extrémními hodnotami u značně atypických průběhů provedení tohoto úkonu. Ke konkrétnímu úkonu, který byl zvolen, jako příklad pro demonstraci navrhovaného algoritmu se váží následující základní statistické údaje pro celkovou pracovní náročnost:

- Medián je roven 4,19 hodinám
- Průměr je roven 5,05 hodinám
- Směrodatná odchylka je rovna 3,44 hodinám
- Minimální hodnota činí 0,85 hodin
- Maximální hodnota činí 16,8 hodin



Obrázek 4-4, celkové počty odvedených hodin na jednom z úkonů ve všech revizích, ve kterých se objevil, zdroj: Autor

Tyto vysoké odchylky celkového počtu odpracovaných hodin nejsou výjimkou pouze u tohoto konkrétního úkonu. V celém souboru dat se u úkolových karet vyskytují znatelné rozptyly. Pokud se data z Obrázku 4-4 vykreslí do histogramu a rozdělí se do deseti částí vidíme na Obrázku 4-5 následující rozdělení. Je zřejmé, že v datech se nacházejí hodnoty, které se velmi vymykají běžným průběhům. V práci je uděláno porovnání průměru a mediánu při jejich použití pro predikci časů na jednotlivých úkonech údržby.



Obrázek 4-5, histogram počtu odvedených hodin na jednom z úkonů ve všech revizích, ve kterých se objevil, zdroj: Autor

Medián času a průměrný čas je tedy brán jako předpokládaný počet odpracovaných hodin, který se musí rozdělit mezi jednotlivé fáze. Pro každou fázi je tak spočítaná relativní doba, po jakou na ní byl konkrétní úkon prováděn v každé revizi. Tato relativní doba představuje, kolik procent z celkového času, který se úkon v dané revizi prováděl, připadlo do konkrétní fáze. V Tabulce 4-1 je uveden jeden z konkrétních případů jednoho z průběhů logování na výše zmíněném konkrétním úkonu. Celkově bylo v tomto průběhu na úkonu stráveno 3,57 hodin.

Tabulka 4-1, Relativní odpracované hodiny na konkrétním úkonu v jednom z balíčků prací, zdroj: Autor

<b>Fáze</b>	<b>Relativní část odpracovaného času</b>	<b>Absolutní odpracovaný čas ve fázi v hodinách</b>
<b>1</b>	0,319328	1,14
<b>4</b>	0,140056	0,50
<b>5</b>	0,540616	1,93

Různých průběhů tohoto úkonu je v analyzovaném souboru dat několik. Pro predikování času do jednotlivých fází je nejprve spočten součet všech relativních časů odvedených na



konkrétním úkonu ve fázích, ve kterých je daný log predikován. Následně je vypočítán součet všech relativních časů pro každou fázi, kterou algoritmus predikuje zvlášť. Podílem součtu relativních časů v každé fázi s celkovým součtem relativních časů odvedených na daném úkonu ve fázích, které jsou predikovány vzniká predikovaný relativní čas pro fázi. Výpočet predikovaného relativního času pro jednu fázi na jednom úkonu je uveden ve vztahu 4.1, kde proměnná *rel* představuje relativní čas v dané fázi. Proměnná *sel\_phase* představuje vybranou fázi ve všech WP, kde se vyskytla. Proměnná *phase*, pak představuje všechny predikované fáze ze všech WP, kde se vyskytly.

$$\text{Predikce pro fázi} = \frac{\sum_{sel\_phase} rel}{\sum_{phase} rel} \quad (4.1)$$

Tento čas je následně vynásoben celkovým počtem hodin, které jsou predikovány pro provedení úkonu. To je uvedeno ve vztahu 4.2, kde proměnná *pred\_Mhrs* představuje celkový predikovaný čas na údržbový úkon. Výsledná predikce pro průběh úkonu z příkladu při použití mediánu hodin pro predikci celkového počtu hodin na úkon je uvedena v Tabulce 4-2

$$\text{Predikce hodin ve fázi} = \text{Predikce pro fázi} \times \text{pred\_Mhrs} \quad (4.2)$$

Tabulka 4-2, Ukázka predikce pro konkrétní úkon pomocí mediánu, zdroj: Autor

Predikovaná fáze	Medián odpracovaných hodin na úkonu	Predikce relativního odpracovaného času	Výsledný predikovaný čas ve fázi
1	4,19	0,479883	2,01
5	4,19	0,520117	2,18

V Tabulce 4-3 je uvedena predikce pro jednotlivé fáze za použití průměrného času stráveného na úkonu. Tento čas je vyšší než medián.



Tabulka 4-3, Ukázka predikce pro konkrétní úkon pomocí průměru, zdroj: Autor

Predikovaná fáze	Průměr odpracovaných hodin na úkonu	Predikce relativního odpracovaného času	Výsledný predikovaný čas ve fázi
1	5,05	0,479883	2,42
5	5,05	0,520117	2,63

Tento postup je v navrhovaném algoritmu automatizovaně proveden pro všechny úkony údržby, u kterých bylo možné identifikovat, o jakou konkrétní práci se jedná. Následně je možné vytvořit predikci pro všechny definované úkony v celém údržbovém prostoji, ke kterým existují historická data.

#### 4.3 Opatření pro zvýšení efektivity prací na základě návrhu predikce časů v jednotlivých fázích

Algoritmus pro predikci časů uvedený v kapitole 4 si klade za cíl zlepšit plánování kapacit do určitých fází revize. Na základě plánovaného množství pracovních hodin pro rutinní a další plánované práce zvyšuje přehled plánovačům údržby ohledně množství nutných kapacit pro vykonávání úkonů údržby v různých částech údržbového prostroje daného letadla. To je přínosem při tvorbě jak taktického plánu revize, tak i exekučního.

Navrhovaný postup umožní automatizovaně zformovat základní schéma toho, jak za sebou budou práce členěny. Je tak vytvořeno základní schéma sekvence prací. Na základě této sekvence prací je pak možné lépe kontrolovat průběh revize, protože plánovač dostává konkrétní přehled o tom, kolik práce se na jednotlivých úkonech bude vykonávat v různých časech revize a následně si může upravovat plán podle konkrétního vývoje situace.

Schéma plánovaných prací dále umožní plánování kapacit v taktické fázi před začátkem revize letadla. Oddělení plánující strategické rozdělení kapacit, tak získá možnost efektivně přidělit kapacity pracovníků na daný projekt pro různé dny revize.



## 5 Výsledky

Vyhodnocení proběhlo na nezávislé datové sadě, kdy 20 % revizí bylo náhodným výběrem odděleno. Na zbylých 80 % revizích došlo ke statistickému ohodnocení úkonů, tak jak je to popsáno v kapitole 4.1 a 4.2. Z těchto úkonů pak byly vytvořeny predikce pro zbývajících 20 % revizí, a to pouze z úkonů, ke kterým existovala statistika z minulých revizí. Relativní číslo 20 % revizí představovalo celkem 42 revizí, 3651 údržbových úkonů a 13158 průběhů údržbových úkonů. Úkony, ke kterým nebyla žádná data z minulosti nebyly při vyhodnocení uvažovány.

### 5.1 Predikce odpracovaného času

Prvním hodnoceným parametrem byla přesnost predikce celkově odpracovaných hodin. Přesnost celkové predikce byla spočítána podle následujícího vztahu 5.1, kde proměnná *predik* představuje celkové predikované hodiny pro konkrétní údržbový úkon. Proměnná *real* představuje skutečně odpracované hodiny na konkrétním údržbovém úkonu.

$$odchylka = \frac{\sum predik}{\sum real} \quad (5.1)$$

Výsledky celkové predikce pro všechny predikované revize dohromady je uveden v Tabulce 5-1 při použití mediánu hodin i průměrného počtu hodin na úkonech.

Tabulka 5-1, Celková odchylka hodin, zdroj: Autor

Typ výpočtu	Poměr predikce vůči skutečnosti	Predikované hodiny	Skutečně odpracované hodiny
medián	0,902097	31089,250000	34463,33
průměr	1,027789	35421,043464	34463,33

Odchylka predikce celkových hodin je při použití průměru v Tabulce 5-1 menší než při použití mediánu. Nižší poměr predikovaných hodin vůči skutečným při použití mediánu je způsoben nestandardními průběhy úkolových karet, které výrazně vybočovaly svou délkou od jejich



střední hodnoty. Ukázka rozptylu hodin u běžné úkolové karty je popsána v kapitole 4.2. Vyhodnocení rozptylu hodnot při použití mediánu a průměru je ukázáno níže v této kapitole.

Dalším hodnoceným parametrem byla přesnost predikce pro jednotlivé úkony zvlášť. Tento výpočet proběhl podle vztahu 5.2 a 5.3. Typ odchylky je buďto „relativní“ (vypočítaný podle vztahu 5.2) nebo „absolutní“ (vypočítaný podle vztahu 5.3).

$$odchylka = \frac{predik - real}{real} \quad (5.2)$$

Ze vztahu 5.3 plyne, že výsledek označený jako *abs\_odchylka* představuje rozdíl v počtu odpracovaných hodin, které byly predikovány, a které byly skutečně odpracovány.

$$abs\_odchylka = predik - real \quad (5.3)$$

V Tabulce 5-2 jsou uvedeny výsledky relativní a absolutní odchylky při použití mediánu času pro predikci odpracovaných hodin.

Tabulka 5-2, Odchylky mezi predikcí a skutečně odvedeným počtem hodin na jednotlivých úkonech údržby při použití mediánu času, zdroj: Autor

Typ odchylky	Průměrná odchylka	Směrodatná odchylka	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Dolní kvantil (25 %)	Medián	Horní kvantil (75 %)
RELATIVNÍ	0,45	2,80	-0,96	173,50	-0,25	0,00	0,42
ABSOLUTNÍ	-0,26	3,71	-129,33	227,69	-0,39	0,00	0,30

V Tabulce 5-3 je uvedena odchylka od skutečnosti při použití průměrného času pro predikci odpracovaných hodin.





Tabulka 5-3, Odchylky mezi predikcí a skutečně odvedeným počtem hodin na jednotlivých úkonech údržby při použití průměrného času, zdroj: Autor

Typ odchylky	Průměrná odchylka	Směrodatná odchylka	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Dolní kvantil (25 %)	Medián	Horní kvantil (75 %)
RELATIVNÍ	0,73	4,14	-0,92	199,63	-0,18	0,12	0,73
ABSOLUTNÍ	0,06	4,58	-96,20	289,26	-0,27	0,11	0,53

Rozdíl mezi horním a dolním kvantilem relativní odchylky značí, že polovina všech predikcí má chybu od -25 % do 42 % celkového času při použití mediánu a od -18 % do 73 % při použití průměru. Hodnoty mezi dolním a horním kvantilem výsledků ukazují, že v 50 % případů se absolutní odchylka predikce pohybuje mezi -23,4 minuty až 18 minutami při použití mediánu a při použití průměru mezi -16,2 minuty až 31,8 minutami na jednom úkonu. Směrodatná odchylka výsledků je rovněž vyšší při použití průměru, než při použití mediánu.

## 5.2 Predikce fáze

Dalším hodnoceným parametrem je přesnost určení, ve které fázi revize dojde k vytvoření časových logů. V Tabulce 5-4 je ukázána přesnost ve dvoufázovém rozdělení. Toto rozdělení je v navrhovaném algoritmu nejmenší možné. Vyhodnoceno je celkové množství vytvořených logů ze všech hodnocených úkonů v obou fázích. Z tabulky vyplývá, že algoritmus má tendenci predikovat spíše časový log v první fázi než v poslední fázi.



Tabulka 5-4, Počet správně odhadnutých fází ve dvou fázovém rozdělení, zdroj: Autor

<b>Fáze</b>	<b>Poměr správně odhadnutých fází</b>	<b>Predikovaný počet výskytů logů na kartu v dané fázi</b>	<b>Skutečný počet výskytů logů na kartu v dané fázi</b>
<b>1</b>	1,090456	11814	10834
<b>2</b>	0,618981	2224	3593

Jedním z dalších možných rozdělení z množiny rozdělení, je rozdělení do 5 fází. Výsledky predikce v tomto rozdělení jsou uvedeny v Tabulce 5-5. Nejpřesnější odhady v tomto rozdělení náležejí prvním dvěma počátečním fázím.

Tabulka 5-5, Počet správně odhadnutých fází v pěti fázovém rozdělení, zdroj: Autor

<b>Fáze</b>	<b>Predikce / realita</b>	<b>Predikovaný počet logů ve fázi celkem</b>	<b>Skutečný počet logů ve fázi celkem</b>
<b>1</b>	0,961808	4810	5001
<b>2</b>	1,178844	5873	4982
<b>3</b>	0,664220	1810	2725
<b>4</b>	0,516393	630	1220
<b>5</b>	0,815742	1368	1677

S rostoucím počtem fází stoupá i nepřesnost navrhované metody pro predikování konání jednotlivých úkonů.



### 5.3 Predikce časů ve fázi

Posledním parametrem, který byl vyhodnocován je predikce odpracovaného času ve fázích. Vyhodnocení proběhlo na všech predikovaných úkonech a jejich skutečných průbězích. K použití predikce hodin je použit medián hodin, protože celkově dosahuje menší směrodatné odchylky nepřesnosti na jeden úkon. Kompletní výsledky při použití mediánu, průměru a skutečných hodin (upraveno o vliv predikce hodin) jsou uvedeny v příloze 1. V Tabulce 5-6 je uvedena predikce pro dvě fáze. Je zřejmé, že algoritmus predikuje více hodin spíše do první ze dvou fází, kde ze všech celkových průběhů odhadnul 98,25 % hodin, které se skutečně odvedly. Ve druhé fázi je již toto číslo nižší a to 74,38 %.

Tabulka 5-6, Vyhodnocení predikce odpracovaných hodin ve dvou fázích, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a reality	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	0,982543	22452,742676	22851,66
2	0,743778	8636,507324	11611,67

Dalším hodnocených rozdělením bylo rozdělení do 5 fází. Vyhodnocení pro toto rozdělení je uvedeno v Tabulce 5-7. Je vidět, že celková přesnost pro všechny fáze klesla oproti rozdělení do dvou fází. Přesnost je menší zejména ve druhé polovině údržbového prostoje letadla.

Tabulka 5-7, Vyhodnocení predikce odpracovaných hodin v 5 fázích, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a reality	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	0,914741	7569,277870	8274,78
2	1,129664	11552,400969	10226,40



<b>Fáze</b>	<b>Poměr predikce a reality</b>	<b>Predikované hodiny mediánem celkem</b>	<b>Skutečné hodiny celkem</b>
<b>3</b>	0,715351	5496,279177	7683,33
<b>4</b>	0,701281	2826,709070	4030,78
<b>5</b>	0,857945	3644,582914	4248,04

Dále bylo vyhodnoceno rozdělení do 10 fází, které je vidět v Tabulce 5-8. V této tabulce je vidět další pokles přesnosti predikce, a to zejména ve druhé polovině revize.

Tabulka 5-8, Vyhodnocení predikce odpracovaných hodin v 10 fázích, zdroj: Autor

<b>Fáze</b>	<b>Poměr predikce a reality</b>	<b>Predikované hodiny mediánem celkem</b>	<b>Skutečné hodiny celkem</b>
<b>1</b>	1,145449	4189,249637	3657,30
<b>2</b>	1,051034	4853,127121	4617,48
<b>3</b>	0,991730	5068,771677	5111,04
<b>4</b>	0,977321	4999,350257	5115,36
<b>5</b>	0,850641	3700,695578	4350,48
<b>6</b>	0,552796	1842,385063	3332,85
<b>7</b>	0,461000	1102,066680	2390,60



<b>Fáze</b>	<b>Poměr predikce a reality</b>	<b>Predikované hodiny mediánem celkem</b>	<b>Skutečné hodiny celkem</b>
<b>8</b>	0,681206	1117,300336	1640,18
<b>9</b>	0,870459	1726,869640	1983,86
<b>10</b>	1,099486	2489,434010	2264,18

#### **5.4 Predikce časů ve fázi očištěná o vliv predikce hodin na jednotlivých úkonech**

Posledním vyhodnoceným parametrem algoritmu je přesnost predikce upravená o vliv predikce času, který byl strávený na daném úkonu. V Tabulce 5-9 a Tabulce 5-10, jsou uvedené výsledné predikce při použití skutečného množství odpracovaných hodin na daném úkonu. Algoritmus tak pouze rozdělil skutečné hodiny do jednotlivých fází odpracovaných hodin. Součet všech predikovaných hodin tak odpovídá součtu všech skutečně odvedených.

Tabulka 5-9, Vyhodnocení predikce očištěné o vliv predikce hodin na jednotlivých úkonech ve dvou fázích odpracovaných hodin, zdroj: Autor

<b>Fáze</b>	<b>Poměr predikce a reality</b>	<b>Predikované hodiny na základě skutečně odpracovaných</b>	<b>Skutečné hodiny celkem</b>
<b>1</b>	1,093397	24985,939897	22851,66
<b>2</b>	0,816195	9477,390103	11611,67

V Tabulce 5-9 je vidět, že algoritmus má v případě rozdělení do dvou fází přesnost mezi -9,34 % až 18,38 %. Z Tabulky 5-10 je pak patrné, že přesnost algoritmu při rozdělení do 5 fází se pohybuje mezi -25,03 % až 26,77 %.



Tabulka 5-10, Vyhodnocení predikce očištěné o vliv predikce hodin na jednotlivých úkonech v pěti fázích odpracovaných hodin, zdroj: Autor

<b>Fáze</b>	<b>Poměr predikce a reality</b>	<b>Predikované hodiny na základě skutečně odpracovaných</b>	<b>Skutečné hodiny celkem</b>
<b>1</b>	1,030678	8528,637714	8274,78
<b>2</b>	1,250275	12785,809509	10226,40
<b>3</b>	0,784224	6025,449487	7683,33
<b>4</b>	0,732293	2951,710832	4030,78
<b>5</b>	0,982035	4171,722458	4248,04

## 5.5 Úspěšnost současného plánování

Pro analýzu úspěšnosti plánování hodin strávených na jednotlivých úkonech údržby v CSAT byla použita data uvedená v kapitole 2.2.3, která obsahují informace o predikci CSAT pro jednotlivé údržbové úkony. Analyzovány byly pouze ty revize, které vyhovovali filtrům pro délku a časovou náročnost uvedených v kapitole 2.3. Analyzovaný čas práce plánovaný a ve skutečnosti strávený na úkonech údržby byl omezen stejně jako v kapitole 2.3 pouze na letecké mechaniky a avioniky.

Celkem tak byla vyhodnocena data z 308 revizí. Hodnoceny byly odhady na předem plánovaných úkonech údržby. Celkový výsledek porovnání mezi skutečností a plánovanými hodinami CSAT z 308 revizí je uveden v Tabulce 5-11. Z tabulky vyplývá, že se podařilo predikovat kolem 61,4 % z celkového počtu skutečně odvedených hodin. Plány CSAT jsou tak obecně podhodnocené vůči skutečnosti.



Tabulka 5-11, Porovnání plánu proti skutečnosti, zdroj: Autor

Název hodnoty	Hodnota
<b>poměr plánovaných hodin vůči skutečnosti</b>	0,613958
<b>celkový počet odhadnutých hodin na plánovaných úkonech údržby</b>	98041,88
<b>Skutečně odvedené hodiny na plánovaných úkonech údržby celkem</b>	159688,21

Dalším hodnoceným parametrem byla přesnost predikce pro jednotlivé úkony údržby. Celkem existovala predikce CSAT pro 53096 průběhů úkonů údržby. Hodnocena byla jak relativní odchylka od skutečnosti, tak i absolutní odchylka od skutečnosti.

Relativní odchylka od skutečnosti byla vypočtena podle vztahu 5.2. Vztah 5.3 pak popisuje, jakým způsobem je vypočítaná absolutní odchylka. Výsledné hodnoty jsou uvedené v Tabulce 5-12. Z výsledků plyne, že skutečné průběhy nabývají i velmi odlišných hodnot vůči predikci. V nejextrémnějším případě docházelo k tomu, že k danému úkonu nebyla žádná predikce vůbec vytvořena a minimální hodnota pro relativní odchylku tak činila -1. U nejextrémnějšího případu absolutní odchylky byl na danou úkolovou kartu predikován čas 32 hodin, ale skutečně odvedených bylo 367,93 hodin. To znamená, že relativní odchylka v tomto případě činila -91,3 %. Odhad CSAT se zároveň vyznačuje velkou směrodatnou odchylkou relativního času, která činí 702 %.



Tabulka 5-12, Odchytky mezi predikcí a skutečně odvedeným počtem hodin na jednotlivých úkonech údržby při použití mediánu času, zdroj: Autor

Typ odchytky	Průměrná odchytky	Směrodatná odchytky	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Dolní kvantil (25 %)	Medián	Horní kvantil (75 %)
RELATIVNÍ	0,56	7,02	-1	374	-0,58	-0,09	0,18
ABSOLUTNÍ	-0,08	7,89	-335,93	148,28	-0,75	-0,09	0,17

Firma CSAT nepoužívá systém pro predikci doby, ve které bude daný úkon proveden. Kapacitní náročnost revize se počítá pouze z odhadu celkové doby plánované pro jednotlivé úkony údržby a následně se použije průměrný počet hodin nutných na jeden den. Z tohoto důvodu bylo při vyhodnocení jednotlivých fází použito rovnoměrné rozložení plánovaných hodin mezi jednotlivé fáze revize tak, aby odpovídalo současnému přístupu. V Tabulce 5-13 je uvedena predikce CSAT pro dvě fáze.

Tabulka 5-13, Predikce CSAT pro dvě fáze, Zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny CSAT celkem	Skutečně odpracované hodiny celkem
1	0,457680	49020,94	107107,46
2	0,932298	49020,94	52580,75





Z predikce CSAT pro dvě fáze plyne, že celkový počet hodin v první fázi je velmi podhodnocený. V Tabulce 5-14 je uvedena predikce CSAT pro 5 fází. Z predikce CSAT pro 5 fází je rovněž patrné, že první polovina revize je podhodnocená.

Tabulka 5-14, Predikce CSAT pro pět fází, Zdroj: Autor

<b>Fáze</b>	<b>Poměr predikce a skutečnosti</b>	<b>Predikované hodiny CSAT celkem</b>	<b>Skutečně odpracované hodiny celkem</b>
<b>1</b>	0,481867	19608,376	40692,51
<b>2</b>	0,421568	19608,376	46512,93
<b>3</b>	0,571634	19608,376	34302,32
<b>4</b>	1,139773	19608,376	17203,76
<b>5</b>	0,934770	19608,376	20976,69



## 6 Diskuze

Cílem této práce bylo navrhnout opatření pro zvýšení efektivity postupů údržby pomocí analýzy distribuce jednotlivých prací během inspekcí prováděných na složitých dopravních letadlech. Toho se snažila dosáhnout pomocí analýzy rozdělení rutinních a dalších prací v průběhu údržby na základě dat ze skutečného provozu údržbové organizace v České republice. Navrhované řešení spočívalo v rozdělení jednotlivých úkonů do fází odpracovaných hodin a následně na základě dat z předchozí údržby odhadnout provedení těchto úkonů v budoucím údržbovém prostoji letadla.

Současný přístup plánování je založen pouze na celkovém počtu odhadovaných hodin pro celou revizi. Limitací tohoto stavu je, že neexistuje přesnější automaticky vytvořený přehled o potřebných kapacitách pracovníků. Z výsledků analýzy dat je zřejmé, že na rutinní a další plánované práce je potřebná kapacita spíše na začátku a ke konci revize. Časově uprostřed údržbového prostoje letadla se řeší zejména odstraňování nalezených závad. Vytvořením automatizovaného přehledu, ve které části revize budou prováděny konkrétní úkony tak vzniká základní schéma, které slouží jako podklad pro plánování kapacit. Na základě tohoto schématu je pak možné vytvořit přesnější plán pro využití kapacit pracovníků údržby a zefektivnit tak jejich využití v rámci několika projektů se simultánním průběhem.

Jednou z limitací navrhovaného řešení je, že je určené pouze pro jasně definovatelné úkony. Některé MRO například rozčleňují záznamy práce souhrnně na otevírání a zavírání přístupových míst. Takový úkon však bude závislý na prováděných úkolových kartách a je statisticky komplikované ohodnotit předpokládaný čas do budoucích revizí letadel bez exaktní znalosti konkrétních přístupových míst, se kterými muselo být během revize manipulováno. Pro výše zmíněný typ úkonů, tak není navrhované řešení koncipováno. Řešení je koncipováno pro práce na úkolových kartách bez započtení hodin pro manipulování s přístupovými panely, které se však děje zpravidla na začátku a na konci revize.

Ačkoliv některé MRO přesně definují určité fáze, ve kterých se úkony provádí a měří čas v těchto fázích, ne všechna MRO tak z důvodů zvýšené administrativní náročnosti činí navíc vývoj těchto systémů je zdoluhavý a finančně náročný. Navrhované řešení se tak zaměřuje na tu část MRO, která žádný takový systém nemají. Zároveň členění těchto fází se může u MRO lišit podle jeho konkrétních potřeb a konkrétním pohledu na danou problematiku. Nicméně základní posloupnosti prací, kdy jsou nejprve prováděny prohlídky, následně modifikace a rektifikace nalezených závad zakončené dokončovacími pracemi na plánovaných úkonech



údržby jsou obecné pro všechny MRO, byť fáze nejsou striktně vymezeny a mohou probíhat na různých systémech současně v závislosti na nalezených závadách.

Jednou z limitací práce, která může mít vliv na výsledek je vliv nalezených závad na letadle. Během revize se nacházejí na letadle díly, které jsou kvůli míře jejich poškození prohlášeny za provozu neschopné. Takové díly, pak musí být nahrazeny díly provozuschopnými. Záleží na konkrétním dílu a přání zákazníka, jakým způsobem bude do letadla dodán provozuschopný díl. Obvykle je buďto zakoupen díl nový nebo opraven díl stávající. Z pohledu revize mnohdy představuje prodleva mezi objednáním a dodávkou provozuschopného dílu do rukou odborného personálu, který jej nainstaluje do letadla výrazné časové zdržení. Dodání dílů může mít vliv na to, kdy se uskuteční některé plánované práce. Zejména závěrečné testy některých komponent a jejich zpětná instalace.

Z výsledků je patrné, že navrhovaný algoritmus dosahuje větší přesnosti oproti současným metodám predikce, které s přesnějším určením konání jednotlivých úkonů údržby nepracují. Při použití rovnoměrné metody rozdělení hodin mezi jednotlivá fáze, což odpovídá současnému přístupu, dosahuje postup CSAT menší přesnosti než navrhovaný algoritmus. Průměrná odchylka od skutečnosti se v navrhovaném algoritmu pohybuje kolem 17,2 %. Současné metody dosahují průměrné odchylky kolem 34,6 % na jednu fázi při rozdělení do 5 fází.

Navrhované řešení je použitelné pro hrubý přehled potřebných hodin na jasně definovaných úkonech. Další zlepšení a rozvoj algoritmu spočívá v prozkoumání závislostí, které vedou jednak k celkové časové náročnosti úkonu v dané revizi a jednak v prozkoumání závislostí, které vedou k fázi, ve které dojde k logování na daném úkonu údržby. Mezi zkoumané parametry do budoucna lze mimo jiné zařadit vliv:

- Provozovatele daného letadla, na kterém je revize prováděna
- Vliv stáří letadla
- Vliv nalezených závad na logování v dané fázi odpracovaných hodin



## 7 Závěr

V práci byla uvedena teorie, která popisuje, jakým způsobem probíhá údržba na složitých motorových letadlech v obchodní letecké dopravě v mezích nutných pro pochopení postupu analýzy a návrhu řešení pro zefektivnění provádění plánování prací během inspekcí složitých dopravních letadel.

Práce analyzovala současný přístup k těžké údržbě letadel s ohledem na provádění rutinních a dalších prací. Ze současného přístupu vyplývá obecný postup, který byl uveden v Tabulce 1-1. Z něho plyne, že nejdříve dochází k práci na rutinních úkonech při demontáži přístupových míst, a pak následují prohlídky a modifikace. Na základě prohlídek jsou odstraňovány nalezené závady a v závěru revize dochází ke zpětné instalaci a přípravě letadla pro zpětné uvedení do provozu. Toto schéma rozdělení odpracovaných hodin se v práci potvrdilo i v datech převzatých od společnosti CSAT.

V práci byla provedena analýza rozdělení rutinních a dalších prací v průběhu údržby na základě dat z provozu. Z analýzy vyplynulo, že během údržby jsou na části úkolových karet prováděny práce v průběhu celé revize. Jejich provádění je závislé na tom, které konkrétní činnosti se mají na dané kartě provádět. Některé zpětné instalace či funkční testy se zpravidla provádějí až ke konci revize. Naproti tomu prohlídky na začátku.

Na základě analýzy bylo navrženo řešení, které rozděluje revizi do několika rovnoměrně velkých fází odpracovaných hodin na plánovaných úkonech údržby. Následně byl navržen algoritmus, který automatizovaně vyhodnocuje, jak se na každý úkon v minulosti obvykle logoval čas v závislosti na konkrétní fázi odpracovaných hodin. Navrhovaný algoritmus bere v potaz tyto údaje:

- Nejobvyklejší první fáze odpracovaných hodin
- Nejobvyklejší poslední fáze odpracovaných hodin
- Pravděpodobnost výskytu další fáze mimo nejobvyklejší první a poslední fázi v revizi
- Medián či průměr vykázaného celkového času na úkonu
- Odpracovaný čas vykázaný v jednotlivých fázích

Navrhované řešení bylo vyhodnoceno na nezávislé datové sadě s počtem 42 revizí, která tvořila 20 % z dat, která byla použita při analýze. Navrhované řešení je použitelné pro hrubý přehled potřebných hodin na jasně definovaných úkonech a dosahuje lepších výsledků než současné metody implementované v CSAT. Navrhovaná metoda dosahuje přesnosti predikce



kolem 82,8 % v rozdělení do 5 fází. Pro zlepšení přesnosti je vhodné prozkoumat a ohodnotit více závislostí, které povedou k jejímu provedení v určitých časových fázích a zároveň prozkoumat u každého úkonu, jak dlouho může úkon trvat v závislosti na vlivech jako je stáří letadla nebo jeho provozovatel.



## 8 Seznam použité literatury

- [1] CHEN, Gang, Wen HE, Lawrence C. LEUNG, Tian LAN a Yingying HAN. Assigning licenced technicians to maintenance tasks at aircraft maintenance base: a bi-objective approach and a Chinese airline application. *International Journal of Production Research*. 2017, **55**(19), 5550-5563. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/00207543.2017.1296204
- [2] CHANDOLA, Deepak Chandra, Kamal JAISWAL, Seema VERMA a Balgopal SINGH. Aviation MRO: A comprehensive review of factors affecting productivity of Aircraft Maintenance Organization. 2022 Advances in Science and Engineering Technology *International Conferences (ASET)*. IEEE, 2022, 1-7. ISBN 978-1-6654-1801-0. Dostupné z: doi:10.1109/ASET53988.2022.9734808
- [3] PALMER, Richard D. *Maintenance Planning and Scheduling Handbook [online]. Second Edition. USA: The McGraw-Hill Companies, 2006 [cit. 2022-05-09].* ISBN 0-07-150155-X. Dostupné z: doi:10.1036/0071457666
- [4] BÍNA, Ladislav, David ŠOUREK a Zdeněk ŽIHLA. *Letecká doprava II. V Praze: Vysoká škola obchodní, 2007.* ISBN 978-80-86841-07-6.
- [5] Nařízení Komise (EU) č. 1321/2014 ze dne 26. listopadu 2014 o zachování letové způsobilosti letadel a leteckých výrobků, letadlových částí a zařízení a schvalování organizací a personálu zapojených do těchto úkolů. In: . 2014. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:02014R1321-20220331>
- [6] Aircraft Maintenance. In: *SKYbrary Aviation Safety [online]. [cit. 2022-05-05].* Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/aircraft-maintenance>
- [7] BÍNA, Ladislav. *Provozování letecké dopravy a logistika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014.* ISBN 978-80-7402-855-7.



- [8] *ACKERT, Shannon P. Basics of Aircraft Maintenance Programs for Financiers: Evaluation & Insights of Commercial Aircraft Maintenance Programs*. 2010. Dostupné také z:  
[http://aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/basics\\_of\\_aircraft\\_maintenance\\_programs\\_for\\_financiers\\_\\_\\_v1.pdf](http://aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/basics_of_aircraft_maintenance_programs_for_financiers___v1.pdf)
- [9] JEPPESEN SANDERSON INC. *A&P Technician General Textbook. 4th. 55 Inverness Drive East Englewood: Jeppesen Sanderson, 2000*. ISBN 0-88487-203-3.
- [10] *Aviation Maintenance Technician Handbook– General [online]*. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2018 [cit. 2022-05-05]. FAA-H-8083-30A. Dostupné z:  
[https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/amt\\_general\\_handbook.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/amt_general_handbook.pdf)
- [11] *CRANE, Dale. Dictionary of Aeronautical Terms*. Third Edition. 7005 132nd Place SE Newcastle, Washington 98059-3153: Aviation Supplies & Academics, ©1991-1997. ISBN 1-56027-287-2.
- [12] National Aviation Academy. *In: National Aviation Academy [online]*. 2021 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.naa.edu/types-of-aviation-maintenance-checks/>
- [13] Approved Maintenance Organization (AMO). *In: SKYbrary Aviation Safety [online]*. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/approved-maintenance-organization-amo>
- [14] DINIS, Duarte, Ana BARBOSA-PÓVOA a Ângelo PALOS TEIXEIRA. Valuing data in aircraft maintenance through big data analytics: A probabilistic approach for capacity planning using Bayesian networks. *Computers & Industrial Engineering*. 2019, (128), 920-936. ISSN 0360-8352. Dostupné z: doi:10.1016/j.cie.2018.10.015



- [15] KÁLA, Martin, *Marek ŽEMBER a Andrej LALIŠ*. Development of a tool for access worktime estimation in aircraft maintenance. *Transportation Research Procedia*. 2020, 51, 46-55. ISSN 23521465. *Dostupné z:* doi:10.1016/j.trpro.2020.11.007





## **Seznam příloh**

Příloha 1 – Kompletní výsledky



## Příloha 1 – Kompletní výsledky

V této příloze jsou uvedeny všechny výsledky při použití navrhovaného algoritmu.

### Predikce s mediánem

Predikce hodin v jednotlivých fázích při použití mediánu odpracovaných hodin na každém úkonu k odhadu budoucího logovaného času.

Tabulka z přílohy 1 - 1, predikce 0 fází s použitím mediánu odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
0	0,902097	31089,250000	34463,33

Tabulka z přílohy 1 - 2, predikce 2 fází s použitím mediánu odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	0,982543	22452,742676	22851,66
2	0,743778	8636,507324	11611,67



Tabulka z přílohy 1 - 3, predikce 3 fází s použitím mediánu odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,004756	15252,108980	15179,92
2	0,843841	10671,511291	12646,35
3	0,778301	5165,629729	6637,06

Tabulka z přílohy 1 - 4, predikce 4 fází s použitím mediánu odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	0,961482	10375,999765	10791,67
2	1,033314	12461,762464	12059,99
3	0,605966	3998,196715	6598,05
4	0,848347	4253,291057	5013,62



Tabulka z přílohy 1 - 5, predikce 5 fází s použitím mediánu odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	0,914741	7569,277870	8274,78
2	1,129664	11552,400969	10226,40
3	0,715351	5496,279177	7683,33
4	0,701281	2826,709070	4030,78
5	0,857945	3644,582914	4248,04



Tabulka z přílohy 1 - 6, predikce 10 fází s použitím mediánu odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny mediánem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,145449	4189,249637	3657,30
2	1,051034	4853,127121	4617,48
3	0,991730	5068,771677	5111,04
4	0,977321	4999,350257	5115,36
5	0,850641	3700,695578	4350,48
6	0,552796	1842,385063	3332,85
7	0,461000	1102,066680	2390,60
8	0,681206	1117,300336	1640,18
9	0,870459	1726,869640	1983,86
10	1,099486	2489,434010	2264,18

### **Predikce s průměrem**

Predikce hodin v jednotlivých fázích při použití průměru odpracovaných hodin na každém úkonu k odhadu budoucího logovaného času.



Tabulka z přílohy 1 - 7, predikce 0 fází s použitím průměru odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny průměrem celkem	Skutečné hodiny celkem
0	1,027789	35421,043464	34463,33

Tabulka z přílohy 1 - 8, predikce 2 fází s použitím průměru odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny průměrem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,125055	25709,380952	22851,66
2	0,836371	9711,662512	11611,67

Tabulka z přílohy 1 - 9, predikce 3 fází s použitím průměru odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny průměrem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,151246	17475,816125	15179,92
2	0,940018	11887,793934	12646,35
3	0,912668	6057,433405	6637,06



Tabulka z přílohy 1 - 10, predikce 4 fází s použitím průměru odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny průměrem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,097013	11838,602713	10791,67
2	1,178963	14218,279476	12059,99
3	0,636001	4196,366582	6598,05
4	1,030751	5167,794694	5013,62

Tabulka z přílohy 1 - 11, predikce 5 fází s použitím průměru odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny průměrem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,036766	8579,014388	8274,78
2	1,289184	13183,712943	10226,40
3	0,808300	6210,432563	7683,33
4	0,723546	2916,454207	4030,78
5	1,066711	4531,429364	4248,04



Tabulka z přílohy 1 - 12, predikce 10 fází s použitím průměru odpracovaných hodin, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny průměrem celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,323260	4839,559692	3657,30
2	1,177885	5438,862645	4617,48
3	1,164573	5952,180570	5111,04
4	1,088996	5570,606739	5115,36
5	0,987846	4297,605439	4350,48
6	0,611157	2036,895268	3332,85
7	0,487837	1166,222816	2390,60
8	0,729572	1196,629834	1640,18
9	0,873026	1731,962087	1983,86
10	1,409128	3190,518375	2264,18





### Predikce s použitím skutečného času trvání úkonu údržby

Predikce hodin v jednotlivých fázích při použití skutečné délky úkonu ve WP na každém úkonu. Jedná se o predikci očištěnou od vlivu predikce celkového počtu hodin stráveného na úkonu.

Tabulka z přílohy 1 - 13, predikce 2 fází s použitím skutečně odpracovaného času, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny ze skutečných celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,093397	24985,939897	22851,66
2	0,816195	9477,390103	11611,67

Tabulka z přílohy 1 - 14, predikce 3 fází s použitím skutečně odpracovaného času, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny ze skutečných celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,137353	17264,923094	15179,92
2	0,905916	11456,529764	12646,35
3	0,865124	5741,877142	6637,06



Tabulka z přílohy 1 - 15, predikce 4 fází s použitím skutečně odpracovaného času, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny ze skutečných celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,097297	11841,665522	10791,67
2	1,127720	13600,286504	12059,99
3	0,635854	4195,397500	6598,05
4	0,962574	4825,980474	5013,62



Tabulka z přílohy 1 - 16, predikce 5 fází s použitím skutečně odpracovaného času, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny ze skutečných celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,030678	8528,637714	8274,78
2	1,250275	12785,809509	10226,40
3	0,784224	6025,449487	7683,33
4	0,732293	2951,710832	4030,78
5	0,982035	4171,722458	4248,04



Tabulka z přílohy 1 - 17, predikce 10 fází s použitím skutečně odpracovaného času, zdroj:

Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny ze skutečných celkem	Skutečné hodiny celkem
1	1,310681	4793,554288	3657,30
2	1,177014	5434,837218	4617,48
3	1,143124	5842,551692	5111,04
4	1,041912	5329,756379	5115,36
5	0,926420	4030,371015	4350,48
6	0,614233	2047,144927	3332,85
7	0,511024	1221,653234	2390,60
8	0,710273	1164,975798	1640,18
9	0,845021	1676,403144	1983,86
10	1,290570	2922,082305	2264,18



## Predikce logů

V této části Přílohy 1 jsou uvedeny predikované výskyty fází na daných kartách v různých fázích odpracovaných hodin.

Tabulka z přílohy 1 - 18, predikce časových logů ve 2 fázích, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikovaný počet logů ve fázi celkem	Skutečný počet logů ve fázi celkem
1	1,090456	11814	10834
2	0,618981	2224	3593

Tabulka z přílohy 1 - 19, predikce časových logů ve 3 fázích, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikovaný počet logů ve fázi celkem	Skutečný počet logů ve fázi celkem
1	1,111125	9089	8180
2	0,810577	3556	4387
3	0,692876	1595	2302



Tabulka z přílohy 1 - 20, predikce časových logů ve 4 fázích, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikovaný počet logů ve fázi celkem	Skutečný počet logů ve fázi celkem
1	1,049936	6581	6268
2	1,047998	5393	5146
3	0,485613	962	1981
4	0,739176	1417	1917

Tabulka z přílohy 1 - 21, predikce časových logů v 5 fázích, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikovaný počet logů ve fázi celkem	Skutečný počet logů ve fázi celkem
1	0,961808	4810	5001
2	1,178844	5873	4982
3	0,664220	1810	2725
4	0,516393	630	1220
5	0,815742	1368	1677



Tabulka z přílohy 1 - 22, predikce časových logů v 10 fázích, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikovaný počet logů ve fázi celkem	Skutečný počet logů ve fázi celkem
1	1,115274	2709	2429
2	0,984429	2845	2890
3	1,004233	2847	2835
4	0,918117	2321	2528
5	0,861479	1561	1812
6	0,468067	557	1190
7	0,468056	337	720
8	0,472362	282	597
9	0,553050	417	754
10	0,920337	982	1067

#### **Predikce plánovaných prací podle současné metody CSAT**

V této části Přílohy 1 jsou uvedeny predikce hodin v jednotlivých fázích při použití současné metody rovnoměrného rozdělení pracovní zátěže mezi jednotlivé části revize.



Tabulka z přílohy 1 - 23, predikce 0 fází s použitím metody rovnoměrného rozdělení pracovní zátěže, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny CSAT celkem	Skutečně odpracované hodiny celkem
0	0,613958	98041,880000	159688,210000

Tabulka z přílohy 1 - 24, predikce 2 fází s použitím metody rovnoměrného rozdělení pracovní zátěže, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny CSAT celkem	Skutečně odpracované hodiny celkem
1	0,457680	49020,94	107107,46
2	0,932298	49020,94	52580,75





Tabulka z přílohy 1 - 25, predikce 3 fází s použitím metody rovnoměrného rozdělení pracovní zátěže, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny CSAT celkem	Skutečně odpracované hodiny celkem
1	0,455187	32680,626667	71796,09
2	0,579062	32680,626667	56437,16
3	1,038966	32680,626667	31454,96

Tabulka z přílohy 1 - 26, predikce 4 fází s použitím metody rovnoměrného rozdělení pracovní zátěže, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny CSAT celkem	Skutečně odpracované hodiny celkem
1	0,470339	24510,47	52112,33
2	0,445684	24510,47	54995,13
3	0,882098	24510,47	27786,55
4	0,988557	24510,47	24794,20



Tabulka z přílohy 1 - 27, predikce 5 fází s použitím metody rovnoměrného rozdělení pracovní zátěže, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny CSAT celkem	Skutečně odpracované hodiny celkem
1	0,481867	19608,376	40692,51
2	0,421568	19608,376	46512,93
3	0,571634	19608,376	34302,32
4	1,139773	19608,376	17203,76
5	0,934770	19608,376	20976,69



Tabulka z přílohy 1 - 28, predikce 10 fází s použitím metody rovnoměrného rozdělení  
pracovní zátěže, zdroj: Autor

Fáze	Poměr predikce a skutečnosti	Predikované hodiny CSAT celkem	Skutečně odpracované hodiny celkem
1	0,539556	9804,188	18170,85
2	0,435323	9804,188	22521,66
3	0,423980	9804,188	23124,18
4	0,419184	9804,188	23388,75
5	0,492623	9804,188	19902,02
6	0,680832	9804,188	14400,30
7	1,035649	9804,188	9466,71
8	1,267174	9804,188	7737,05
9	1,097961	9804,188	8929,45
10	0,813812	9804,188	12047,24