



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Návrh optimalizace využití dílenských kapacit v údržbě letadel

**Optimization proposal of capacity usage in aircraft component
maintenance**

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: Ing. Martin Kála

Bc. Valentyna Soldatenko

Praha 2022



K621.....Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Valentyna Soldatenko

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterské – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Návrh optimalizace využití dílenských kapacit v údržbě letadel**

Název tématu (anglicky): **Optimization Proposal of Capacity Usage in Aircraft Component Maintenance**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout postupy optimalizace využití a plánování kapacit na interních dílnách MRO a analýza výkonnostní efektivity seznamu kapability dílen.
- Analyzujte zatížení jednotlivých interních dílen v údržbové společnosti za relevantní časové období.
- Zpracujte údaje o objemu oprav jednotlivých komponentů z dostupných dat.
- Analyzujte seznam kapability dílen (capability list) za účelem stanovení jeho výkonnostní efektivity vzhledem k obsahu realizovaných oprav.
- Navrhněte řešení pro optimalizaci využití a plánování kapacit dílen.
- 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: Richard D. Palmer, Maintenance Planning and Scheduling Handbook, 2nd Edition, McGraw-Hill Professional, 2006
U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Aviation Maintenance Technician Handbook - General, 2018

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. Valentyna Soldatenko
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 17. května 2022



Poděkování

Tady bych chtěla poděkovat všem dotyčným za pomoc a podporu při vypracování této diplomové práce. Zvláště bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Ing. Martinovi Kálovi za odbornou pomoc, rady a čas věnovaný mé diplomové práci. Za poskytnutí potřebných dat a podporu bych také chtěla poděkovat společnosti Czech Airlines Technics, především vedení a oddělení interních oprav.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Návrh optimalizace využití dílenských kapacit v údržbě letadel“ vypracovala samostatně a použila 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



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh optimalizace využití dílenských kapacit v údržbě letadel

Diplomová práce

listopad 2022

Bc. Valentyna Soldatenko

Abstrakt

Diplomová práce řeší možnosti optimalizace a zvýšení efektivity využití dílenských kapacit pro údržbu letadlových celků na dílnách údržbových společností pro složitá dopravní letadla. Analýzy provedené v rámci této práce jsou založeny na historických a aktuálních datech z databáze údržbové organizace. Řešením je model zatížení vybraných dílen údržbové společnosti, pomocí kterého lze predikovat budoucí zatížení těchto dílen a získat další informace potřebné pro plánování kapacit nebo optimalizaci jejich použití. Součástí výstupu práce je také ověření funkčnosti a spolehlivosti modelu pomocí aktuálních dat z provozu. Vedlejší částí výsledku je stanovená výkonnostní efektivita seznamu schopností vybraných dílen a také návrh na její zlepšení.

Klíčová slova:

dílenské kapacity, plánování kapacit, predikce zatížení, seznam schopností, údržba letadel



CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Optimalization proposal of capacity usage in aircraft component maintenance

Master's Thesis

November 2022

Bc. Valentyna Soldatenko

Abstract

This master thesis deals with the possibilities of optimizing and increasing the efficiency of the use of workshop capacities for the maintenance of aircraft components at the workshops of the MRO. The analyses performed in this work are based on historical and current data from the aircraft maintenance organization's database. The solution is a model for selected workshops of the maintenance company, which can be used to predict the future load of these workshops and to obtain additional information needed for capacity planning or optimization of their use. Part of the output of this thesis is also verification of the functionality and reliability of the model using actual workshops data. A secondary part of the result is the performance effectiveness of the selected workshops' capability list and a proposal for its improvement.

Key Words:

workshops capacity, capacity planning, load prediction, capability list, aircraft maintenance



Obsah

ÚVOD	13
1. ŘÍZENÍ KAPACIT V ÚDRŽBĚ LETADEL	15
1.1. ÚDRŽBA LETADEL	15
1.1.1 <i>Typy údržby letadel</i>	15
1.1.2 <i>Letadlové komponenty</i>	16
1.2. PLÁNOVÁNÍ KAPACIT V ÚDRŽBĚ LETADEL	16
1.3. CZECH AIRLINES TECHNICS	18
1.3.1 <i>Plánování kapacit v ÚLC CSAT</i>	19
1.3.2 <i>Seznam schopností ÚLC CSAT</i>	20
2. DATA A METODY ZPRACOVÁNÍ DAT	23
2.1. METODOLOGIE	23
2.1.1 <i>Exponenciální vyhlazování ETS pomocí AAA algoritmu</i>	23
2.1.2 <i>Regresní analýza</i>	24
2.1.3 <i>Metoda vážených klouzavých průměrů</i>	25
2.2. DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	26
2.2.1 <i>Charakteristiky zatížení dílen</i>	27
2.2.2 <i>Vypočet predikce</i>	32
2.2.3 <i>Nejčastěji opravované díly na ULC</i>	35
2.2.4 <i>Výkonnostní efektivita seznamu schopností</i>	38
3. VÝSLEDKY	39
3.1. MODEL ZATÍŽENÍ DÍLEN ULC CSAT	39
3.1.1 <i>Struktura modelu</i>	40
3.1.2 <i>Postup použití modelu</i>	50
3.2. VÝKONNOSTNÍ EFEKTIVITA SEZNAMU SCHOPNOSTÍ	51
3.3. VALIDACE VÝSLEDKŮ MODELOVÁNÍ	54
3.3.1 <i>SMAPE</i>	56
3.3.2 <i>RMSE</i>	58
3.2.1 <i>MAE</i>	60
4. DISKUZE	61
5. ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	69
PŘÍLOHY	72



Seznam obrázků

Obr. 1: Příklad seznamu schopností dílen ULC CSAT	21
Obr. 2: Příklad souboru historických dat (CSAT)	26
Obr. 3: Příklad objednávky na opravu v AMOS – obecné informace	28
Obr. 4: Příklad objednávky na opravu v AMOS – informace o komponentu.....	28
Obr. 5: Příklad souboru historických dat – separace vyhovujících objednávek	30
Obr. 6: Příklad souboru historických dat – vykázaný čas na opravy.....	31
Obr. 7: Skutečné a predikované (pomocí metody exponenciálního vyhlazování) hodnoty množství času na ULC-AV v roce 2016.....	33
Obr. 8: Skutečné a predikované (pomocí regresní metody) hodnoty počtů oprav na ULC-KO v roce 2017	34
Obr. 9: Skutečné a predikované (pomocí metody vážených klouzavých průměrů s periodou 12 měsíců) hodnoty počtů oprav na ULC-AG v roce 2019.....	35
Obr. 10: Kolo PN C20195162 (vnitřní strana) – první PN ze seznamu nejčastěji opravovaných dílů na ULC-KO v roce 2015 a 2021	37
Obr. 11: Kolo PN C20195162 (vnější strana) – druhý PN ze seznamu nejčastěji opravovaných dílů na ULC-KO v roce 2015 a 2021	37
Obr. 12: Vzhled panelu START navrhnutého modelu	43
Obr. 13: Vzhled panelu START navrhnutého modelu – výběr dílny	44
Obr. 14: Vzhled panelu DASHBOARD navrhnutého modelu	45
Obr. 15: První část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu	46
Obr. 16: Druhá část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu	47
Obr. 17: Třetí část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu (segment počtu oprav)	48
Obr. 18: Třetí část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu (segment TOP 5 dílů).....	49



Obr. 19: Čtvrtá část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu	49
Obr. 20: Výkonnostní efektivita seznamu schopností z prosince 2021 v průběhu 7 let	52
Obr. 21: Výkonnostní efektivita původního a opraveného seznamů schopností v průběhu 7 let	53
Obr. 22: Výkonnostní efektivita původního a dvou opravených seznamů schopností v průběhu 7 let	53
Obr. 23: Výkonnostní efektivita původního a opravených seznamů schopností v průběhu prvního půlroku 2022.....	54
Obr. 24: Skutečné a predikované (pomocí regresní metody) hodnoty počtů oprav na ULC-KO v prvním půlroce 2022	57
Obr. 25: Skutečné a predikované (pomocí regresní metody) hodnoty množství času.....	58
Obr. 26: Procentuální zastoupení dílů za seznamu schopností dle typů letadel.....	64



Seznam tabulek

Tab. 1: TOP 5 nejčastěji opravované díly na ULC-KO v roce 2015	36
Tab. 2: TOP 5 nejčastěji opravované díly na ULC-KO v roce 2021	36
Tab. 3: Výkonnostní efektivita seznamu schopností z prosince 2021 v průběhu 7 let	52
Tab. 4: Hodnoty SMAPE [%] pro predikované počty oprav na ULC v období leden 2022– červen 2022	56
Tab. 5: Hodnoty SMAPE [%] pro predikovaná množství času na opravy na ULC v období leden 2022–červen 2022	57
Tab. 6: Hodnoty RMSE pro predikované počty oprav na ULC v období leden 2022– červen 2022	59
Tab. 7: Hodnoty RMSE pro predikovaná množství času na opravy na ULC v období leden 2022–červen 2022	59
Tab. 8: Hodnoty MAE pro predikované počty oprav na ULC v období leden 2022–červen 2022	60
Tab. 9: Hodnoty MAE pro predikovaná množství času na opravy na ULC v období leden 2022– červen 2022	60
Tab. 10: Validační tabulka pro uživatele modelu.....	63



Seznam zkratek

ATA	Air Transport Association / Sdružení leteckých dopravců
CMM	Component Maintenance Manual / Příručka pro údržbu komponentu
CSAT	Czech Airlines Technics
EASA	European Union Aviation Safety Agency / Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví
ETS	Exponential Smoothing / Exponenciální vyhlazování
FAA	Federal Aviation Administration / Federální úřad pro letectví (Spojené státy americké)
IT	Inspected and Tested / Inspektováno a testováno
MAE	Mean absolute error / Střední absolutní chyba
MRO	Maintenance and Repair Organization / Organizace provádějící údržbu a opravy
OH	Overhaul / Generální oprava
PN	Part Number / Výrobní (katalogové) číslo
R	Repaired / Opraveno
RMSE	Root Mean Squared Error / Střední kvadratická chyba
S	Serviceable / Provoznoschopný
SMAPE	Symmetric Mean Absolute Percentage Error / Symetrická střední absolutní procentuální chyba.
ULC	dílňa údržby letadlových celků
ULC-AG	dílňa údržby letadlových celků – agregáty
ULC-AV	dílňa údržby letadlových celků – avionika
ULC-BR	dílňa údržby letadlových celků – brzdy
ULC-EL	dílňa údržby letadlových celků – elektronika
ULC-KB	dílňa údržby letadlových celků – kola a brzdy
ULC-KO	dílňa údržby letadlových celků – kola
ULC-NP	dílňa údržby letadlových celků – nouzové vybavení



Úvod

Letectví je oborem, který se neustále rozvíjí, modernizuje a zdokonaluje. Jak je známo, v současné době se klade velký důraz na bezpečnost tohoto typu dopravy a nepřímou součástí bezpečnosti je i údržba letadel.

Údržba letadel zahrnuje celou řadu procesů a postupů, které se provádějí jak na samotném letadle, tak i na jeho komponentech a systémech. Procesy údržby jsou prováděny k tomu určenými a oprávněnými organizacemi, které mají definovaný rozsah povolených zákroků. Každá taková společnost má svoji strukturu a používá určité množství personálu, který je potřeba řídit. Řízení personálu je důležitým prvkem pro úspěšný chod jakékoliv organizace. V údržbě letadel je potřeba mít především specificky vyškolený a kvalifikovaný personál a z toho i vyplývá, že množství takového personálu je omezené. To je jedním z důvodů, proč je potřeba pečlivě hlídat a optimálně využívat kapacity v údržbové společnosti.

Obecně, pro jednodušší a optimální řízení kapacit se zavádí plánovací systém. Na základě platné legislativy může údržbová společnost vybrat plánovací systém podle konkrétních požadavků a možností. Tento systém může být integrován jak pro celou společnost, tak i pro její část nebo určité oddělení. Zavedení plánovacího systému umožňuje jeho uživateli lépe plánovat budoucí využití kapacit.

V rámci této diplomové práce se popisuje problematika využití dílenských kapacit na příkladu dílen údržby letadlových komponentů údržbové společnosti Czech Airlines Technics a.s. Motivací pro řešení této problematiky je optimalizace využití dílenských kapacit těchto dílen a také návrh postupů pro jejich budoucí plánování.

Pro optimální řízení dostupných kapacit jakéhokoliv pracoviště je potřeba zjistit jaké zatížení lze očekávat na vybraném pracovišti. Jelikož plánování je proces, který se provádí v budoucím čase, je potřeba budoucí zatížení předpovídat dopředu. Tento proces lze uskutečnit několika způsoby, jako např. využití plánu revize těžké údržby, garantovaný objem oprav ze strany zákazníka, nebo i matematický odhad.

Řešení, navrhované v rámci této diplomové práce, využívá matematický odhad budoucího zatížení na základě historických dat vybraných dílen. Tento způsob predikce zatížení byl zvolen vzhledem ke stávajícímu systému plánování práce na vybraných dílnách.



Potřebné predikce model vypočítává pomocí řady predikčních metod z historických dat. Navrhovaný model by měl také splňovat řadu požadavků, týkajících se jeho funkčnosti a použití, jako např. intuitivní provedení, minimální školení pro uživatele, nebo určitá spolehlivost predikce.

Kromě vypracování samotného modelu je cílem diplomové práce stanovit výkonnostní efektivitu seznamu schopností vybraných dílen a následně analyzovat tuto vlastnost z hlediska realizace oprav. I přesto, že seznam schopností nehraje, v rámci této diplomové práce, velkou roli, má tento seznam určitý vliv na zatížení dílen, a tak i na využití a plánování kapacit těchto dílen. A proto je potřeba uvažovat o tom, že i seznam schopností může být řídicím prvkem zatížení vybraných dílen.



1. Řízení kapacit v údržbě letadel

Ještě před provedením analýz, výpočtů a vypracováním návrhu, je potřeba definovat co je problematikou dané diplomové práce, a hlavně jaký problém bude řešen v následujících kapitolách. Aby bylo možné porozumět problematice a definovat problém k řešení, jsou v této kapitole zmíněny potřebné informace, tykající se údržby a plánování kapacit na její provedení. V této kapitole je také zmínka o společnostech a datech, pomocí kterých bylo vypracováno finální řešení stanovené problematiky.

1.1. Údržba letadel

Pro pojem údržba letadel existuje celá řada definic. Obecně je údržba definována jako činnost, která je požadována za účelem obnovy nebo opravy dílu do provozuschopného stavu, zahrnující servis, opravy, modifikace, generální opravy a kontroly. (1) Podobně tento pojem popisuje i FAA, která definuje údržbu jako kontrolu, generální opravu, opravu, konzervaci a výměnu dílů, vyjma preventivní údržbu. (2)

Obě výše uvedené definice popisují pojem údržby letadel jako činnost, kterou musí provést personál údržbové společnosti, ale nezmiňuje cíl ani výsledek této činnosti. Jack Hessburg, ze společnosti Boeing, popisuje údržbu jako činnost nezbytnou pro zachování nebo obnovení výkonu a integrity letadla a zahrnuje různé typy kontrol, konzervace nebo výměn. (3) Více univerzální definicí pojmu údržby letadel stanovil Harry A. Kinnidon, který definuje údržbu jako proces, zajišťující nepřetržité plnění funkce systému na požadované úrovni spolehlivosti a bezpečnosti. (1)

1.1.1 Typy údržby letadel

Z hlediska legislativy pojem údržba letadel zahrnuje tři typy údržby:

- Traťová údržba – Line Maintenance

Dle EASA Part 145 se jedná o údržbu letadel, kterou z hlediska umístění letadla, je možné provádět jak v hangáru, tak i mimo hangár. (4) V rámci tohoto typu údržby se provádějí různé kontroly, jako např. předletové kontroly nebo denní kontroly, a také odstraňování menších závad, drobné opravy apod.



- Těžká údržba – Base Maintenance

Na rozdíl, od již zmíněné traťové údržby, těžká údržba podle EASA Part 145, se provádí v hangáru a zabývá se dlouhodobými a důkladnějšími opravami na letadle. Pro provedení tohoto typu údržby je často potřeba použít speciální vybavení a zařízení. Kromě pravidelných kontrol na letadle, v rámci těžké údržby se také mohou provádět i modifikace. (4)

- Údržba letadlových komponentů – Component Maintenance

Tento typ údržby není závislý na umístění letadla. Dle EASA Part 145, údržba letadlových komponentů se provádí na jednotlivých dílech, předem demontovaných z letadla. (5) Údržba těchto komponentů pak probíhá na speciálních dílnách dle typů komponentů.

Veškeré výše definované typy údržby se provádějí k tomu určenými organizacemi, které musí být schválené příslušnými úřady k provedení určitého rozsahu práce na letadlech a jejich komponentech.

1.1.2 Letadlové komponenty

Vzhledem k tomu, že praktická část této diplomové práce je věnována hlavně údržbě rotujících letadlových komponentů, je potřeba definovat co je letadlový komponent. Pod pojmem letadlové komponenty rozumíme jakýkoliv díl nebo systém, instalovaný na letadle. (3)

Pod skupinu rotujících dílů spadají komponenty, které se demontují, nebo vyměňují na základě sledovaných intervalů vybraných veličin, jako jsou dny, letové hodiny, cykly, nebo i na základě poruchy či selhání. Tyto díly jsou opravitelné, většinou mají dlouhou životnost a po provedení opravy se vracejí do provozuschopného stavu. Znamená to, že mohou být instalovány na letadla několikrát po uvedení zpět do provozuschopného stavu. (6)

Většinou také platí, že tyto díly představují menší systémy, což znamená, že se skládají z určitého množství menších dílů, které mohou být jak rotující, tak i spotřební. Pod skupinu rotujících celků spadá velké množství dílů z různých částí letadel, např. kola, brzdy, motory, panely, baterky, tlakové lahve apod.

1.2. Plánování kapacit v údržbě letadel

Pro hladký a efektivní průběh údržby letadel, nebo komponentů je důležité provádět plánování nejen úkolů údržby, ale i dílenských kapacit.



Hlavním cílem provedení plánování kapacit v údržbě letadel je potřeba definovat optimální množství zaměstnanců, které provede požadované množství oprav v každém plánovaném období.

Efektivní plánování kapacit je závislé na mnoha faktorech, včetně charakteru a objemu prováděné práce, dostupnosti kapacit a možnostech jejich nasazení. Dostupnost a množství kapacit hraje velkou roli v plánování údržby, zvláště při větších a náhlejších změnách objemu práce. Velkou roli při plánování hraje i řízení objemu oprav neboli jeho predikce. (7)

Dle EASA Annex II (Part 145) může plánovací systém být, v závislosti na množství a složitosti práce, jak v jednoduchém provedení, tak i v komplexním. (4) Jednou z funkcí plánovacího systému, bez ohledu na jeho typ, je provedení plánování údržbových prací do budoucna.

V plánování údržbových prací v údržbě letadel existují dva hlavní problémy:

- Vysoká úroveň nejistoty ohledně rozsahu na dané práci.

Tento problém je většinou spojen s tím, že skutečný rozsah prováděné práce je znám až po provedení investigace na letadle/komponentu a zjištění složitostí a komplexností opravy.

- Komplikovaná predikce výskytu závady.

Daný problém vychází z možností odhadnout vznik závady ještě před tím, než na letadle/komponentu bude zahájena údržba. (8) Tak dochází k demontáži nefunkčního komponentu s neznámou závadou, která se odhaluje až v průběhu opravy.

Kromě těchto faktorů, má vliv na plánování i celkové zatížení oddělení nebo společnosti, které závisí na dalších faktorech. Jedním z těchto faktorů je seznam schopností oddělení nebo společnosti, jelikož právě tento dokument určuje, jakou práci může organizace nebo oddělení provádět. A jelikož řízení kapacit, včetně jejich plánování, se většinou vztahuje k úrovni zatížení, lze říci, že i seznam schopností může hrát určitou roli v tomto procesu.

Všechny tyto faktory ovlivňují výsledky predikce očekávaného zatížení na vybraném pracovišti. Proto je potřeba počítat i s odchylkou reálných hodnot od předpovídaných. Předpovídané



hodnoty charakteristik zatížení se následně používají i pro plánování pracovních směn, pracovního nasazení zaměstnanců a jejich organizaci.

Kromě předpovědi, lze také zatížení regulovat pomocí různých metod, jako je zavedení "STOP" stavu na určitém pracovišti nebo na určitý produkt, propagace vybraných prováděných prací mezi zákazníky, nebo i řízením obsahu seznamu schopností.

Oba tyto procesy, predikce a řízení zatížení, ovlivňují postupy plánování kapacit. Jejich vhodná kombinace vede k dosažení rovnoměrného rozložení zatížení mezi dostupnými kapacitami a jejich optimálnímu využití pomocí vhodného plánovacího systému.

Údržbová organizace může zvolit plánovací systém dle vlastních požadavků. V případě, že v rámci organizace došlo k zavedení několika plánovacích systémů, je potřeba koordinovat predikce a naplánované hodnoty mezi jednotlivými systémy, pokud se jedná o na sebe navazující práce. Obsah plánovacího systému není nějak legislativně definován a vychází z požadavku organizace, případně dostupných dat.

1.3. Czech Airlines Technics

Czech Airlines Technics je jedna z údržbových společností, která má oprávnění k provedení všech tří typů údržby letadel z kapitoly 1.1. Tato společnost je organizací, která poskytuje širokou nabídku služeb v oboru letectví, avšak hlavní službou je údržba letadel.

Společnost Czech Airlines Technics provádí:

- těžkou údržbu letadel;
- traťovou údržbu (na letišti Václava Havla v Praze);
- údržbu podvozků;
- údržbu komponentů;
- drakové opravy;
- atd. (9)

Vzhledem k tomu, že CSAT provádí opravy různých typů, jsou její interní dílny rozděleny podle druhů oprav, které se tam provádějí. Z hlediska organizační struktury, údržbová organizace Czech Airlines Technics má 4 oddělení pro provedení hangárové údržby, údržby letadlových podvozků, dílenské údržby a údržby letadlových celků. Každé z těchto 4 oddělení se následně dělí na více pododdělení.



Tato diplomová práce je vypracována jen pro jedno oddělení údržby v rámci CSAT, a to oddělení údržby letadlových celků. Toto oddělení má zkratku ULC a skládá se z šesti dílenských pracovišť.

1. ULC – AG (údržba letadlových celků – agregáty) - tyto dílny jsou zaměřeny na provedení zkoušení a opravy hydraulických podvozkových agregátů;
2. ULC – AV (údržba letadlových celků – avionika) – dané dílny se věnují opravám avionických komponentů letadla;
3. ULC – BR (údržba letadlových celků – brzdy) - hlavním zaměřením těchto dílen jsou opravy letadlových brzd a jejich součástí;
4. ULC – EL (údržba letadlových celků – elektro) – tyto dílny opravují eklektické díly a komponenty;
5. ULC – KO (údržba letadlových celků – kola) – dané dílny jsou zaměřeny na opravy kol a manipulace s pneumatikami;
6. ULC – NP (údržba letadlových celků – nouzové prostředky a kyslík) - jedná se o dílny, které pracují s nouzovým vybavením a tlakovými lahvemi.

Každá z těchto dílen má určitý počet zaměstnanců, které provádějí příslušné opravy. Některé zaměstnanci mohou provádět opravy i na jiných dílnách, např. personál dílny ULC-AG může vypomáhat na dílně ULC-KO apod.

1.3.1. Plánování kapacit v ÚLC CSAT

V současné době v CSAT není zaveden žádný společný plánovací systém, který by fungoval napříč celou společností. Každé oddělení provádí plánování práce a kapacit dle své struktury a požadavků.

Oddělení, které potřebují provádět plánování, používají určité plánovací systémy, které mohou být napojeny na interní software nebo separovány. Dají se najít sofistikované softwarové systémy a zároveň i jednoduché systémy ručního plánování.



Co se týče dílen údržby letadlových celků CSAT, toto oddělení nemá žádný softwarový systém pro provedení plánování práce, nebo dílenských kapacit. Plánování práce se provádí jednoduchým způsobem: předepsáním konkrétních oprav konkrétním zaměstnancům, a to na cca 3 pracovní dny dopředu.

Tento systém plánuje provedení oprav ve velice krátkém časovém úseku a žádným způsobem nenavazuje na trend oprav, nebo sezonní vytiženost. Jedná se spíše o rozdělení práce mezi zaměstnance dílen dle aktuálního počtu požadavků na opravu. Dlouhodobější plánování se provádí hrubým odhadem na základě zkušeností a znalostí personálu a intenzity provozu, není na to žádný výpočetní, nebo predikční systém.

Jedním z důvodů tohoto plánování na ULC je to, že daný typ dílen nemá v současné době smluvní závazky ani garantovaný objem oprav komponentů od zákazníků nebo jiných oddělení údržbové společnosti. To znamená, že se větší část oprav provádí na „ad hoc“ bázi. Plánování takových oprav je velice obtížné, jelikož nejčastěji se jedná o náhodné a těžko odhadované množství oprav.

Použití takového způsobu plánování kapacit řeší rozdělení zatížení mezi pracovníky pouze v krátkodobém měřítku a optimalizace pomocí tohoto postupu je dost obtížná, jelikož se počítá jen s aktuálním zatížením. V tomto případě dochází k relativně rychlému přeskupování zaměstnanců a většímu tlaku na personál, což může pak ovlivnit i kvalitu poskytovaného servisu.

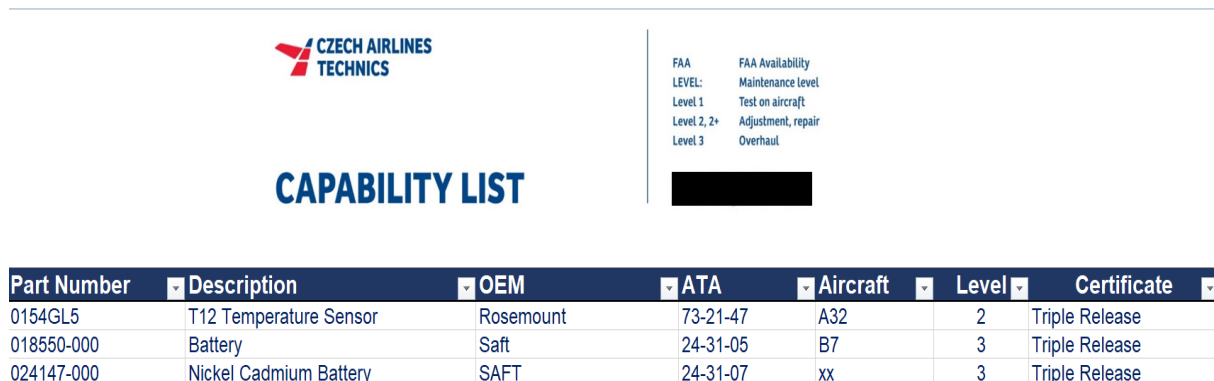
Proto hlavním cílem dané diplomové práce je navrhnout model, který bude schopen predikovat zatížení vybraných dílen na delší časový úsek do budoucna pro znázornění situace na ULC a pak i pro jednodušší řízení dílenských kapacit.

Navržený model by měl řešit opravdové plánování kapacit na několik měsíců dopředu a poskytovat informace k optimálnímu rozložení zatížení mezi pracovníky.

1.3.2. Seznam schopností ÚLC CSAT

Seznam schopností (capability list), dle EASA Part 145, je seznam definujících produkty, které mohou být udržované schválenou údržbovou společností a uvolněny do provozu s osvědčením o uvolnění. (4) Tento dokument není řízen legislativou, vytváří se a používá dle potřeby a rozhodnutí společnosti.

Seznam schopností je vypracováván údržbovou společností na základě aktuálních schopností organizace, nebo dílny a obsahuje řadu informací, jako jsou PN opravovaných dílů, výrobce dílů, ATA, do které spadá daný díl, číslo CMM a maximální možnou úroveň prováděné údržby. Struktura seznamu schopností dílen ULC CSAT je zobrazena na následujícím obrázku 1.



Part Number	Description	OEM	ATA	Aircraft	Level	Certificate
0154GL5	T12 Temperature Sensor	Rosemount	73-21-47	A32	2	Triple Release
018550-000	Battery	Saft	24-31-05	B7	3	Triple Release
024147-000	Nickel Cadmium Battery	SAFT	24-31-07	xx	3	Triple Release

Obr. 1: Příklad seznamu schopností dílen ULC CSAT

Tento seznam má určitý dopad na objem oprav, a tím pádem i na zatíženost dílen, která hraje velkou roli při plánování a využití dílenských kapacit. Pomocí seznamu schopností a jeho změn se dá regulovat a řídit objem oprav. Seznam schopností je dokumentem, pomocí kterého zákazník je informován o možnosti provedení potřebných oprav v příslušné údržbové organizaci.

Analýzou seznamu schopností a historii oprav je možné sledovat i rozsah využití obsahu seznamu schopností vzhledem k provedeným opravám. Tuto návaznost se dá nazvat výkonnostní efektivitou, kterou je možné představit jako charakteristiku seznamu schopností, která kvantitativně vyjadřuje, v jakém rozsahu jsou díly, z celkového počtu nabízených, opravdu opravovány. Tato charakteristika je jedním ze způsobů vyhodnocení kvality obsahu seznamu schopností. Sledováním této vlastnosti a její změny, lze studovat i poptávku zákazníka po opravách vybraných komponentů.

Dílny údržby letadlových komponentů CSAT svůj seznam schopností aktualizují dle potřeby, většinou na měsíční bázi. Tento seznam schopností dílen ULC je přístupný pro partnery a zákazníky údržbové organizace CSAT. V současné době seznam schopností je většinou upravován pomocí dvou procesů:

- Vyřazení dílů na základě nemožnosti opravy (ztráta CMM, nedostatek vybavení apod).
- Zavedení nových dílů na základě požadavku zákazníka (dle konkrétního požadavku na provedení opravy).



Aktualizace seznamu schopností stávajícím způsobem není systematická a řeší pouze konkrétní případy, nebo díly. Tím dochází k dlouhodobému evidování málo opravovaných, nebo i vůbec neopravovaných dílů, např. starších typů komponentů, nebo dílů na méně používané typy letadel. Tyto díly v seznamu schopností snižují jeho výkonnostní efektivitu, což má řadu následků, jako je zbytečné odvádění pozornosti zákazníka od jemu potřebných dílů, zbytečné náklady spojené se zachováním možností opravy těchto komponentů.

Proto jedním z cílů této diplomové práce bylo stanovit výkonnostní efektivitu seznamu schopností dílen ULC CSAT.



2. Data a metody zpracování dat

2.1. Metodologie

Všechny výpočty a analýzy jsou, v rámci vypracování této diplomové práce, zpracovány prostřednictvím programu Microsoft Excel, resp. Excel Makro. Pro výpočet predikce, která je součástí řešení problematiky, se použily tři principy predikce: exponenciálního vyhlazování ETS pomocí AAA algoritmu, regresní analýza a metoda vážených klouzavých průměrů.

Takové množství metod bylo zvoleno vzhledem k tomu, že každá z vybraných 6 dílen má jiný trend provedení oprav a přesnost výsledků predikce závisí hlavně na metodě výpočtu. Tím pádem jedna metoda může poskytovat výsledky o různé přesnosti pro každou dílnu, tím vznikají větší odchylky u některých výpočtů.

Pří použití více metod, lze dosáhnout nižších odchylek a přesnějších výsledků pro každou dílnu. Dostupnost více metod výpočtu poskytuje modelu lepší flexibilitu vůči typu dílny a také budoucím globálním změnám objemu oprav. Jednotlivé metody jsou popsány v následujících podkapitolách.

2.1.1. Exponenciální vyhlazování ETS pomocí AAA algoritmu

Pod pojmem exponenciální vyhlazování je představena určitá technika pro vyhlazování hodnot určitého časového řádu (odstranění náhodné složky) a zároveň odhadu hodnot v budoucím čase. (10)

Metoda exponenciálního vyhlazování ETS, která pracuje s chybovou, trendovou a sezonní složkou, podporuje 30 modelů, které používají různé typy těchto složek. Tyto složky mohou být jak nezadané, tak i multiplikační, nebo aditivní. Například metoda ETS (A, N, A) používá aditivní chybovou a sezonní složku a nepoužívá složku trendovou.

Metoda ETS poskytuje uživateli systémový rámec pro odhad parametrů, konstrukci predikčních intervalů a také výběr několika typů exponenciálního vyhlazování. (11) Technika ETS používá všechna dostupná historická data a dělí časovou řadu na tři části: sezonní, trendovou a chybovou. (10)

Model exponenciálního vyhlazování ETS pomocí AAA algoritmu používá všechny 3 složky ETS (chybová, trendová a sezonní) a ty jsou aditivní, což je zřejmé i z názvu algoritmu (AAA – aditivní, aditivní, aditivní).



V tomto případě lze model definovat pomocí následujících rovnic:

$$L_t = \alpha(y_t - S_{t-m}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + B_{t-1}) \quad (2.1)$$

$$B_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1} \quad (2.2)$$

$$S_t = \gamma(y_t - L_{t-1} - B_{t-1}) + (1 - \gamma)S_{t-1} \quad (2.3)$$

$$y_{t+h/t} = L_t + hB_t + S_{t-m+h_m^+} \quad (2.4)$$

kde, L_t – úroveň časové řady, B_t – směrnice, S_t – sezonnost, m - počet sezon v roce, α, β, γ – vyhlazovací konstanty v intervalu $[0,1]$, h – horizont předpovědi, h_m^+ - $(h-1)*m$. (10)

Metoda exponenciálního vyrovnaní ETS pomocí AAA algoritmu, v rámci této diplomové práce, je použita jako již existující funkce FORECAST.ETS v Microsoft Excel. Detailní popis použití této metody a zvolených argumentů funkce je představen v kapitole 2.2.2.1.

2.1.2. Regresní analýza

Druhou metodou, která byla použita při návrhu predikční části modelu, je regresní analýza dat. Tato metoda je založená na zjištění vztahu mezi potřebnou proměnnou a jednou nebo více nezávislými proměnnými. (12)

Při použití regresní metody na data časových řad, lze vytvořit dva různé typy predikce. Tyto dva typy se liší na základě toho, co je známo při výpočtu predikce. (13)

1. Predikce „ex-ante“ – tento typ predikce je založen na použití dat, které jsou známé ještě před výpočtem predikce. To znamená, že predikce se počítá pouze z historických známých dat, které jsou dostupné ještě před zahájením predikce a v průběhu predikce do výpočtu nevstupují žádná novější data. V tomto případě se jedná o skutečnou předpověď.
2. Predikce „ex-post“ – tento typ predikce používá i novější data. Predikce tohoto typu může používat skutečná pozorovaná data v průběhu predikce. V tomto případě se nejedná o skutečnou predikci. Tento typ se používá pro jiné účely, jako je například studium jiných predikčních modelů.

V některých případech se provádí porovnání výsledků obou typů predikce, za účelem zjištění zdrojů nespolehlivosti predikce. Tímto způsobem, lze zjistit, jestli jsou chyby predikce



způsobeny špatným stanovením regresních koeficientů, nebo špatně zvoleným predikčním modelem. (13)

V rámci navrhovaného modelu se použil první typ predikce „ex-ante“, kde vstupní historická data nebyla průběžně doplňována a měla stejný obsah po celou dobu výpočtů predikce a modelování.

Tato metoda byla, v rámci vypracování modelu, realizována pomocí analytického nástroje, který již existuje v Microsoft Excel. Tento způsob simuluje nelineární regresi, jako množinu dílčích lineárních regresí. Takovou regresní analýzu, za účelem stanovení jednotlivých koeficientů lze provádět s požadovanou hladinou spolehlivosti, ve většině případů, včetně navrhovaného modelu, se používá hladina spolehlivosti 95 %.

Stanovené koeficienty jsou konstantami rovnice regresní křivky, která vyjadřuje vztah mezi veličinami. Tyto konstanty jsou nutným parametrem pro budoucí predikci, kterou pak lze popsat matematickou rovnicí.

$$P_{t+n} = K + (p_1; p_2; \dots; p_m)(k_1; k_2; \dots; k_m), \quad (2.5)$$

Kde P_{t+n} – predikovaná hodnota v čase $t+n$, n – horizont predikce, K – vstupní koeficient, p – doplňkové parametry, k – koeficienty k doplňkovým parametrům, m – počet doplňkových parametrů.

2.1.3. Metoda vážených klouzavých průměrů

Princip metody vážených klouzavých průměrů je založen na přiřazení větší váhy k novějším datům a menší váhy ke starším datům. Tento proces probíhá pomocí násobení každé hodnoty příslušným váhovým koeficientem. (14)

Vážené klouzavé průměry se také nazývají klouzavé průměry klouzavých průměrů. Jedná se o aplikaci klouzavých průměru o jedné periodě na klouzavé průměry o jiné periodě. (13) Jinak řečeno, místo nahrazení nejstarších dat, vážený klouzavý průměr nahradí nejstarší klouzavý průměr nejnovějším. Tento proces umožňuje váženým klouzavým průměrům pracovat s trendy historických dat lépe než prosté klouzavé průměry. Předpovídání pomocí vážených klouzavých průměrů se často používá pro překonání silného vlivu extrémů vybrané časové řady. Probíhá to díky přiřazení větší váhy aktuálnějším datům, místo starších dat. (14)



Predikci pomoci této metody lze popsat matematickým vzorcem:

$$P_{t+n} = w_1 P_t + w_2 P_{t-1} + \dots + w_n P_{t-(n-1)}, \quad (2.6)$$

kde P – studovaný parametr (hodnota), w – váhový koeficient, n – horizont predikce.

Metoda klouzavých poměrů je podobná metodě exponenciálního vyhlazování, která byla popsána v kapitole 2.1.1. Obě metody kladou větší důraz na novější data a jsou schopny eliminovat prudké výkyvy hodnot a identifikovat trend. Perioda, používaná v rámci této metody, není předdefinována a může být vybrána dle potřeby uživatele metody.

2.2. Data a jejich zpracování

Pro vypracování návrhu a provedení výpočtů byla použita data, poskytnutá společností Czech Airlines Technics. Jedná se o soubor dat z interního softwaru AMOS a seznamu schopností ULC. Data o opravách obsahují údaje, potřebné pro popis zatížení vybraných dílen, když seznam schopností hraje jen vedlejší roli v navrhovaném modelu.

Data o provedených opravách, představovala seznam informací o realizovaných opravách na všech dílnách ULC, které byly dokončeny během posledních 7 let. Tento soubor historických dat obsahoval celou řadu údajů, například PN opravovaného dílu, jeho název, kondice při uvolnění dílu, čas na opravu a další. Struktura poskytnutých dat je uvedená na obrázku 2.

vendor	orderno	cm_projectno	partno	description	time	closing_date	condition
ULC-EL	R0920118	CM111387	20032-2	GENERATOR-AC	19,5	26.07.2018	OH
ULC-EL	R1113918	CM112667	1658-6	BATTERY-EMERG	5,7	02.08.2018	OH
ULC-EL	R1051219	CM126235	2758	MAIN BATTERY	4,3	26.07.2019	OH
ULC-EL	R0155520	CM134428	2758	MAIN BATTERY	3,2	07.02.2020	OH
ULC-EL	R1044720	CM141852	2758	MAIN BATTERY	3	29.10.2020	OH
ULC-EL	R1095320	CM142108	40678-2	BATTERY-MAIN	5	08.07.2021	OH
ULC-EL	R0418521	CM147484	2758	MAIN BATTERY	3,3	31.05.2021	OH
ULC-EL	R0660617	CM96796	40678-2	BATTERY-MAIN	4	25.05.2017	OH
ULC-EL	R1008917	CM99100	2758	MAIN BATTERY	3	25.08.2017	R
ULC-EL	R1387917	CM102172	40678-2	BATTERY-MAIN	1	07.11.2017	US
ULC-EL	R0215618	CM106780	2758	MAIN BATTERY	5	16.02.2018	OH
ULC-EL	R0312418	CM107548	8260-123	STARTER GENER	20,5	19.03.2018	OH

Obr. 2: Příklad souboru historických dat (CSAT)

Pro zpracování zatížení a návrh finálního modelu byly použity jen vybrané údaje z celé řady poskytnutých, detailní popis vybraných údajů se nachází v následující podkapitole 2.2.1.



2.2.1. Charakteristiky zatížení dílen

Zatížení dílen se dá popsat pomocí několika charakteristik. Pro danou diplomovou práci byly vybrány dvě charakteristiky zatížení ULC dílen, které spolu vytváří jeden ze způsobů kvantitativního popisu zatížení vybraných dílen v určitém / vybraném čase.

První charakteristikou je počet oprav, prováděných na každé z šesti dílen. Zjednodušeně řešeno se jedná o množství opravovaných dílů. Predikcí této charakteristiky získáváme odhad množství dílů, které lze očekávat do opravy.

Druhou charakteristikou je množství času potřebného na provedení oprav. Jedná se o množství hodin, které jsou vykazovány na provedení příslušných oprav komponentů. Predikcí této charakteristiky dostáváme předpověď potřebného času na provedení oprav.

Pomocí výše uvedených charakteristik lze získat nejen informace o počtu oprav a množství času, ale i o složitosti těchto oprav atd. Kombinací těchto dvou charakteristik můžeme rozšířit popis budoucí vytiženosti dílen. A přidáním dalších proměnných, jako např. délka pracovní směny, lze vypočítat další parametry zatíženosti dílen, jako např. počet pracovních směn v příslušném časovém intervalu.

Pro použití těchto parametrů je potřeba nejdříve definovat je jako veličiny, které bude možné získat z historických dat a následně použít ve výpočtech.

Počet oprav byl vyjádřen jako počet vybraných vyhovujících objednávek na opravu komponentů a počet vykázaných hodin jako celkové množství hodin na těchto objednávkách. Tyto nově zavedené veličiny jsou detailně popsány v následujících kapitolách.

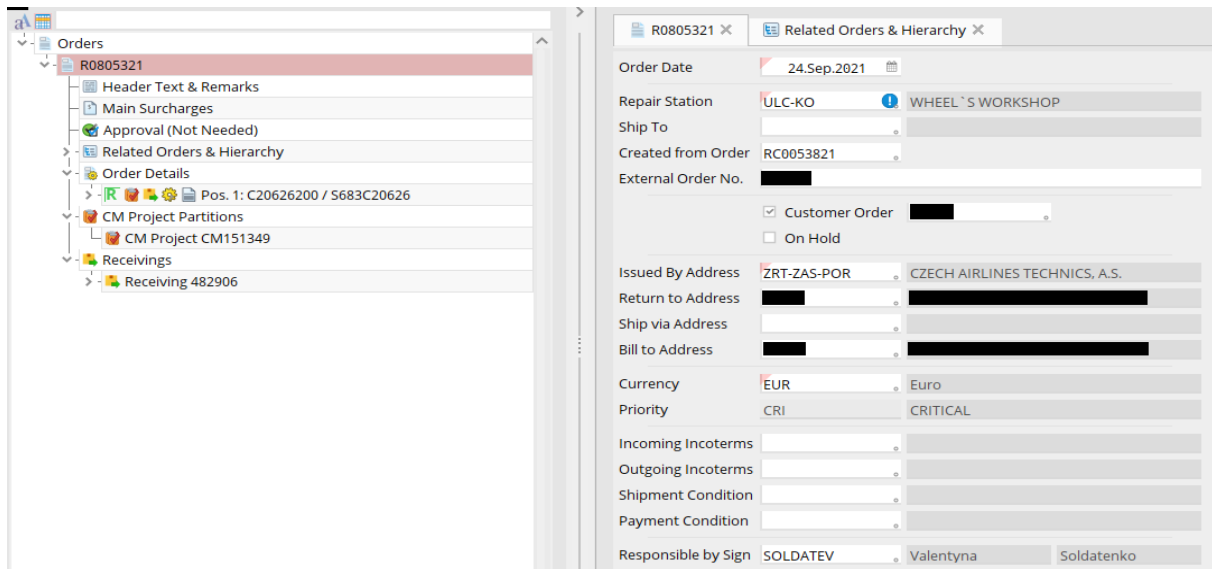
2.2.1.1. Počet oprav

V interním systému CSAT existuje celá řada objednávek, které se používají napříč celou společností a mají různé účely. Historická data o provedených opravách, která byla použita jako zdroj dat, obsahovala také několik typů objednávek.

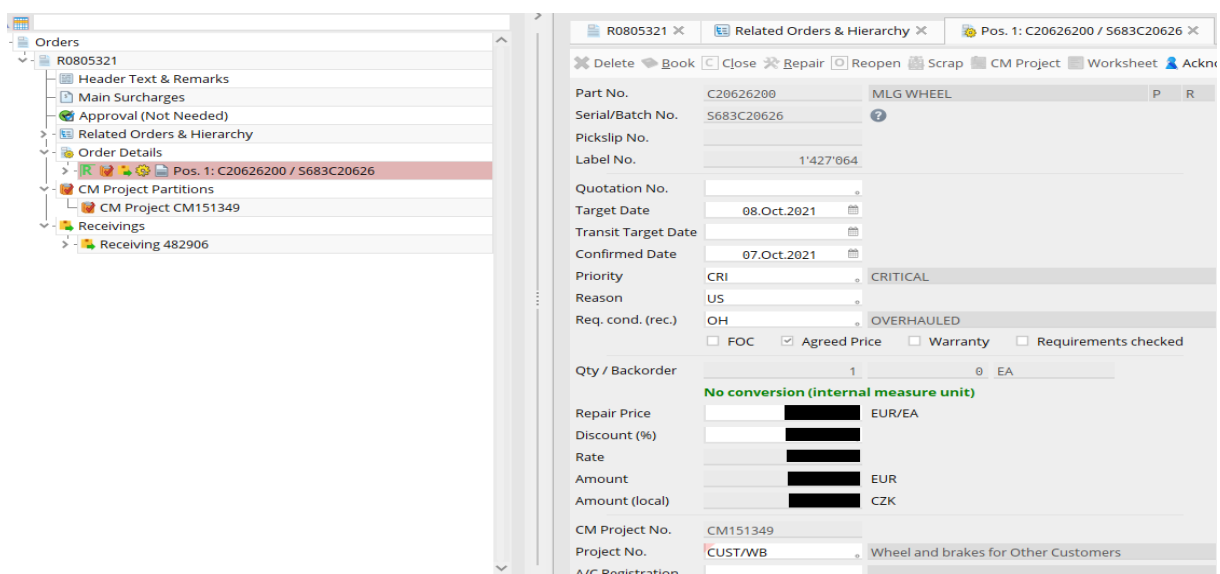
Pro vyjádření počtu oprav byly použity jen dva typy objednávek souboru dat, poskytnutých společností Czech Airlines Technics. Oba typy objednávek se týkají přímo realizace oprav komponentů.

- R – repair order

Tento typ objednávek představuje objednávku na provedení opravy komponentu. Příklad objednávky na opravu je zobrazen na následujících obrázcích 3 a 4.



Obr. 3: Příklad objednávky na opravu v AMOS – obecné informace



Obr. 4: Příklad objednávky na opravu v AMOS – informace o komponentu

- W – warranty order

Pod W objednávkou se zpracovávají záruční opravy. Tento typ objednávky má stejný obsah jako R objednávka. Hlavním důvodem existence W objednávky je jednoduchá detekce záručních oprav.



Každá objednávka na provedení opravy (R, W) je vystavována pouze na jeden komponent, což znamená, že každý opravovaný díl má svoji objednávku. V případě, že se jedná o komponent, který se skládá z více rotujících dílů, které mohou být opravovány jako samostatný díl, mohou nastat dvě situace. V případě, že se oprava provádí pouze na tzv. nejvyšším dílu (ten který je složen z několika jiných dílů), objednávka na opravu se vytváří pouze na právě ten. To znamená, že nižší díly nebudou certifikovány a opravovány v rámci této objednávky a opravy. V tomto případě se jedná o opravu pouze jednoho komponentu.

Pokud během opravy vyššího celku je potřeba zasahovat do nižších celků, vystavují se objednávky na každý z rotujících nižších celků, tak může nastat situace, že díly z několika objednávek na opravu budou složeny do jednoho vyššího komponentu. V tomto případě probíhá více jednotlivých oprav a každý z těchto dílů je nutné uvolňovat pod individuálním certifikátem o uvolnění (EASA Form 1 (15), Form FAA 8130-3 (16)).

Kromě toho, každá z objednávek na opravu, bez ohledu na její typ, nebo typ opravovaného komponentu, obsahuje celou řadu údajů, které jsou potřebné jak pro provedení opravy, tak i pro další účely, jako např. fakturace, odesílání apod. V rámci zpracování dat, pro vypracování finálního návrhu, byly použity pouze následující údaje:

- údaje o dílně, kde byla oprava provedena;
- datum uzavření objednávky (ukončení opravy);
- PN opravovaného dílu (identifikace dílu);
- return condition (stav dílu při uvolnění).

Pomocí těchto údajů, resp. jejich kombinací, byly pro následující zpracování vybrány objednávky, které splňovali následující požadavky:

- Dílna: byly vybrány pouze R a W objednávky, vystavené pro ULC-AV, ULC-EL, ULC-NP, ULC-KO, ULC-BR, ULC-AG a již neexistující ULC-KB.

Dílna ULC – KB představovala dílnu, která prováděla opravy na kolech a brzdách. Tato dílna již neexistuje, místo ní vznikly dvě odlišné dílny: ULC-KO a ULC-BR. Objednávky na ULC-KB byly, během zpracování dat, rozděleny a přiřazeny k ULC-KO a ULC-BR dle opravovaných dílů.



- Stav uvolněného dílu: byly vybrány pouze objednávky, u kterých opravený díl byl uvolněn v provozuschopném stavu (OH, R, M, IT, S, atd). Zbývající objednávky, u kterých díly měli výslednou kondici US nebo SC nebyly zahrnuté do výpočtů, jelikož tyto díly nebyly uvolněny i přesto, že na některých již byla provedená investigace.
- Datum ukončení opravy: byly vybrány objednávky, které byly uzavřeny v období od 01.01.2015 do 31.12.2021. To znamená, že jejich údržba byla ukončena a díl byl uvolněn do provozu v tomto časovém intervalu.

Pro následující výpočty a analýzy byly použity jen objednávky, které současně splňovaly všechny tři výše uvedené podmínky. Tyto podmínky byly aplikovány pomocí filtrace potřebných parametrů v původním souboru historických dat, které jsou uvedeny na obr. 5.

vendor	orderno	cm_projectno	partno	description	time	closing_date	condition
ULC-EL	R0920118	CM111387	20032-2	GENERATOR-AC	19,5	26.07.2018	OH
ULC-EL	R1113918	CM112667	1658-6	BATTERY-EMERG	5,7	02.08.2018	OH
ULC-EL	R1051219	CM126235	2758	MAIN BATTERY	4,3	26.07.2019	OH
ULC-EL	R0155520	CM134428	2758	MAIN BATTERY	3,2	07.02.2020	OH
ULC-EL	R1044720	CM141852	2758	MAIN BATTERY	3	29.10.2020	OH
ULC-EL	R1095320	CM142108	40678-2	BATTERY-MAIN	5	08.07.2021	OH
ULC-EL	R0418521	CM147484	2758	MAIN BATTERY	3,3	31.05.2021	OH
ULC-EL	R0660617	CM96796	40678-2	BATTERY-MAIN	4	25.05.2017	OH
ULC-EL	R1008917	CM99100	2758	MAIN BATTERY	3	25.08.2017	R
ULC-EL	R1387917	CM102172	40678-2	BATTERY-MAIN	1	07.11.2017	US
ULC-EL	R0215618	CM106780	2758	MAIN BATTERY	5	16.02.2018	OH
ULC-EL	R0312418	CM107548	8260-123	STARTER GENER	20,5	19.03.2018	OH

Obr. 5: Příklad souboru historických dat – separace vyhovujících objednávek (CSAT)

V průběhu zpracování této tabulky došlo k přenosu některých objednávek mezi vybranými dílnami. Počty oprav na ULC-AV, ULC-NP byly opraveny, vzhledem k tomu, že veškeré objednávky na opravu skluzů byly do roku 2021 registrovány na ULC-NP i když ve skutečnosti byly prováděny zaměstnanci ULC-AV, veškeré objednávky na tyto komponenty byly odečteny z počtů oprav na ULC-NP a připočítány k opravám na ULC-AV.

Podobným způsobem byly zpracovány i veškeré objednávky na ULC-KB. Opravy prováděné na dílech, patřících ULC-KO byly přičteny k opravám na této dílně, stejně tak i opravy na ULC-KB. Tímto způsobem byly objednávky na ULC-KB likvidovány a v následujících krocích tato dílna už nevskytuje.

Po provedení těchto kroků a změn, celkový počet vyhovujících objednávek pro následné zpracování a výpočet predikce, bylo přibližně 25 000. Tyto objednávky byly následně



přeneseny do kontingenční tabulky, pomocí, které byly spočítány počty realizovaných objednávek na každé z ULC v každém měsíci v průběhu 7 let.

Provedením všech popsaných úkonů v této podkapitole, vznikla tabulka historických dat o počtech provedených oprav na každé z dílen ULC CSAT v období 2015-2021 – Příloha A. Hodnoty z této tabulky byly použity jako historická vstupní data o počtech oprav na ULC při následujícím vytvoření finálního návrhu.

2.2.1.2. Vykázaný čas na opravy

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly 2.2.1., vykázané hodiny představují čas, který je potřeba strávit na provedení opravy dílu. Tento čas závisí na několika parametrech:

- typ opravovaného dílu: tento parametr je dán komplexností a konstrukcí dílu;
- typ prováděné opravy: čas na opravu přímo závisí na úrovni opravy. Platí, že čím vyšší je úroveň opravy, tím je čas na provedení této opravy delší.

Na rozdíl od převodu dat na počty oprav, u množství vykázaných hodin nehraje žádnou roli počet objednávek. V tomto kroku hlavním zdrojem dat jsou hodiny, které byly zaznamenány u každé z vyhovujících objednávek na opravu, které byly popsány v kapitole 2.2.1.1.

Každá z objednávek na provedení opravy měla svoji hodnotu vykázaných hodin. Tyto hodnoty pak byly zpracovány podobným způsobem jako i počty oprav – sečteny dle měsíce ukončení opravy. Tento proces byl proveden pomocí sečtení jednotlivých časů, ukázaných na obrázku 6.

vendor	orderno	cm_projectno	partno	description	time	closing_date	condition
ULC-EL	R0920118	CM111387	20032-2	GENERATOR-AC	19,5	26.07.2018	OH
ULC-EL	R1113918	CM112667	1658-6	BATTERY-EMERG	5,7	02.08.2018	OH
ULC-EL	R1051219	CM126235	2758	MAIN BATTERY	4,3	26.07.2019	OH
ULC-EL	R0155520	CM134428	2758	MAIN BATTERY	3,2	07.02.2020	OH
ULC-EL	R1044720	CM141852	2758	MAIN BATTERY	3	29.10.2020	OH
ULC-EL	R1095320	CM142108	40678-2	BATTERY-MAIN	5	08.07.2021	OH
ULC-EL	R0418521	CM147484	2758	MAIN BATTERY	3,3	31.05.2021	OH
ULC-EL	R0660617	CM96796	40678-2	BATTERY-MAIN	4	25.05.2017	OH
ULC-EL	R1008917	CM99100	2758	MAIN BATTERY	3	25.08.2017	R
ULC-EL	R1387917	CM102172	40678-2	BATTERY-MAIN	1	07.11.2017	US
ULC-EL	R0215618	CM106780	2758	MAIN BATTERY	5	16.02.2018	OH
ULC-EL	R0312418	CM107548	8260-123	STARTER GENER	20,5	19.03.2018	OH

Obr. 6: Příklad souboru historických dat – vykázaný čas na opravy (CSAT)



Finální hodnoty součtů vykázaných hodin v jednotlivých měsících vybraného časového období byly následně formátovány do formátu HHH, vznikající hodnoty minut byly zaokrouhleny na hodiny.

Tabulka vykázaných hodin na každé z dílen ULC v každém měsíci během 7 let je uvedena na konci této diplomové práce jako Příloha B a stejně jako Příloha A, byla použita jako historická data při vytvoření finálního návrhu.

2.2.2. Vypočet predikce

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout model pro optimalizaci využití a plánování dílenských kapacit, které jsou těsně propojeny s predikcí budoucího zatížení vybraných dílen ULC. Pro vypočet predikce byly zvoleny tři predikční metody, které používají odlišné principy predikování. V této kapitole jsou popsány postupy výpočtů jednotlivých typů predikce pomocí principů, již popsaných v kapitole 2.1.

2.2.2.1. Predikce pomocí exponenciálního vyhlazování

Metoda exponenciálního vyhlazování pomocí AAA algoritmu, v rámci vypracování dané práce nepotřebuje připravovat žádná doplňková data nebo parametry pro budoucí výpočet. Tato metoda je v rámci navrhovaného modelu představená jako již existující funkce programu Excel, která pro výpočet potřebuje pouze předpřipravená historická data charakteristik zatížení. Zbytek potřebných argumentů funkce se zadává přímo do výpočetní funkce. Žádné doplňkové výpočty nejsou požadovány. Argumenty, navrhované pro výpočet predikce v rámci finálního řešení, jsou následující.

1. Povinné údaje:

- cílové datum: je následující měsíc od posledního měsíce z historických dat (od 01.01.2022);
- hodnoty: číselné hodnoty příslušných veličin z tabulky historických dat;
- časová osa: každý měsíc z tabulky historických dat (od /01/2015 do 12/2021).

2. Nepovinné údaje:

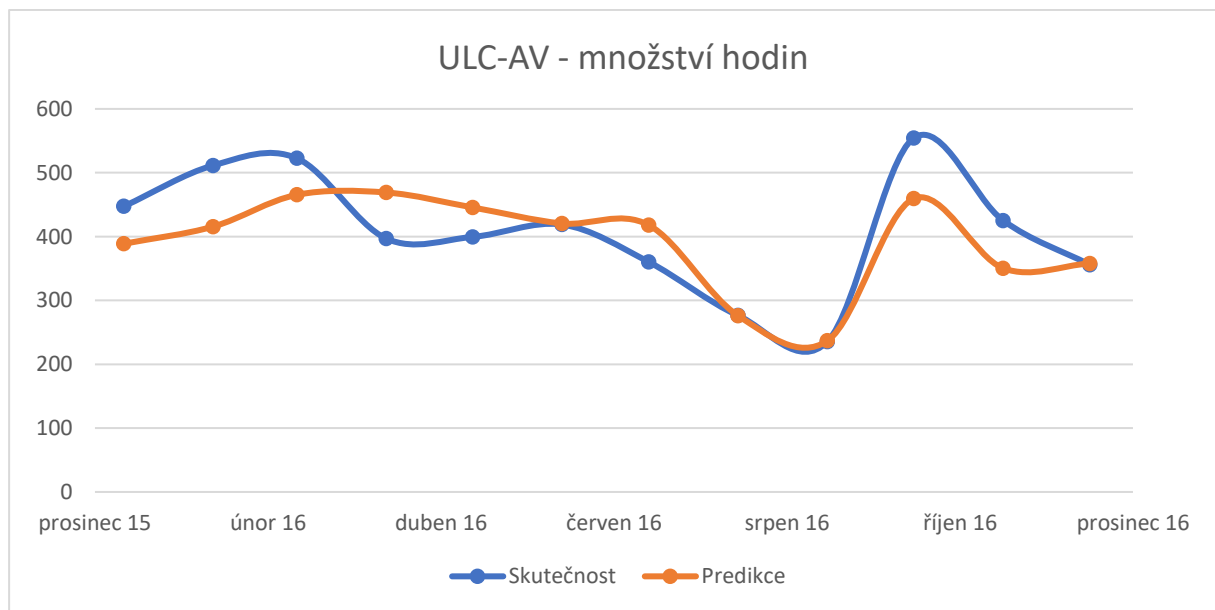
- sezónnost: 12, jelikož historická data mají cyklický charakter – 1 kalendářní rok;
- doplnění dat: 1 – dochází k automatickému doplňování chybějících dat, za účelem eliminace chybějících predikcí a přerušení návazností odhadů.

3. Volitelné udejte:

- agregace: 1 – používá se průměr hodnot všech cyklů.

Po doplnění všech výše popsaných argumentů do funkce FORECAST.ETS jako výsledek vzniká predikce potřebné hodnoty na příslušný měsíc pro vybranou dílnu.

Pro kontrolu funkčnosti predikční metody byla provedena řada predikcí pro již známá historická data a porovnána se skutečnými hodnotami. Například predikované a skutečné hodnoty množství času na opravy na ULC-AV v roce 2016 byly vykresleny do níže uvedeného grafu na obrázku 7.



Obr. 7: Skutečné a predikované (pomocí metody exponenciálního vyhlazování) hodnoty množství času na ULC-AV v roce 2016 (vlastní zpracování)

Po ověření funkčnosti zvolené metody a vybraných argumentů funkce FORECAST.ETS, byla tato funkce použita i ve finálním návrhu řešení.

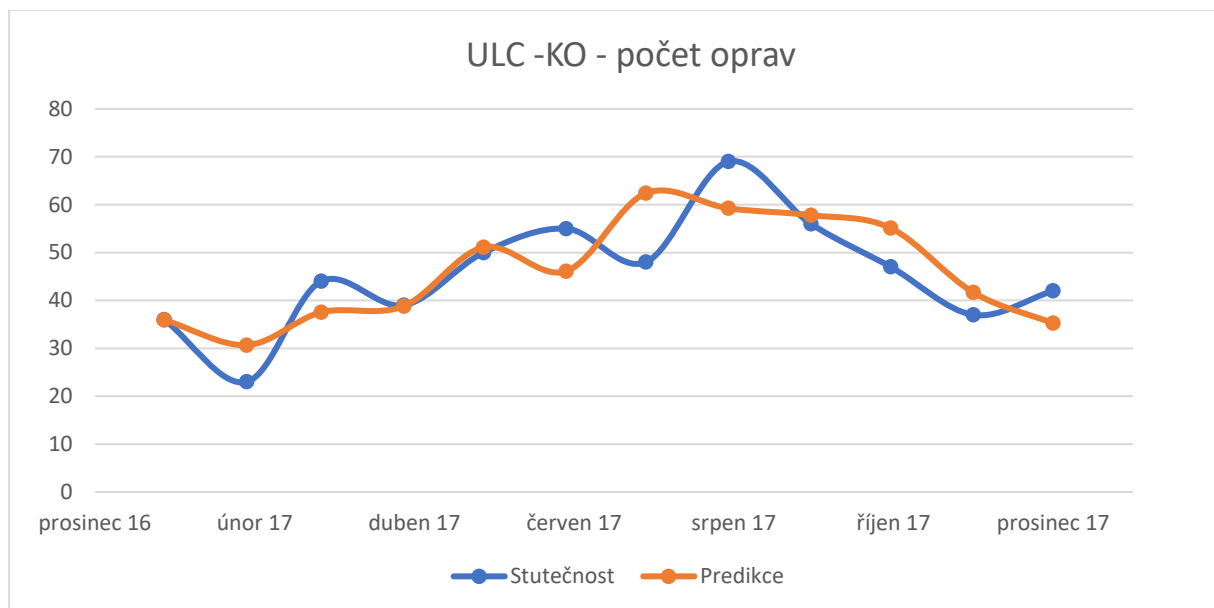
2.2.2.2. Predikce pomocí regresní analýzy

Na rozdíl od předchozí metody predikce, predikce pomocí regrese už potřebuje předem definovat a připravit jiná než historická data. Mezi tato data spadají regresní koeficienty, které byly stanoveny pomocí Analytického nástroje Excel – Regrese.

První stanované koeficienty byly použity pro predikci již známých hodnot charakteristik zatížení pro období leden 2016–prosinec 2021. Pro získané predikované hodnoty byla vypočítaná

symetrická střední absolutní procentuální chyba (SMAPE), pomocí, které byly původní koeficienty vylepšeny. Toto vylepšení bylo provedeno pomocí nástroje Řešitel – hledání minima funkce výpočtů SMAPE. Tento postup stanovení regresních koeficientu byl proveden pro všech šest dílen ULC.

Podobně jako i u metody exponenciálního vyhlazování, pro ověření funkčnosti metody byla provedena predikce i pro již známá data. V tomto kroku byla ověřována funkčnost metody s již vylepšenými regresními koeficienty. Na níže uvedeném grafu na obrázku 8 jsou vykresleny predikované a skutečné hodnoty počtů oprav na ULC-KO v roce 2017.



Obr. 8: Skutečné a predikované (pomocí regresní metody) hodnoty počtů oprav na ULC-KO v roce 2017 (vlastní zpracování)

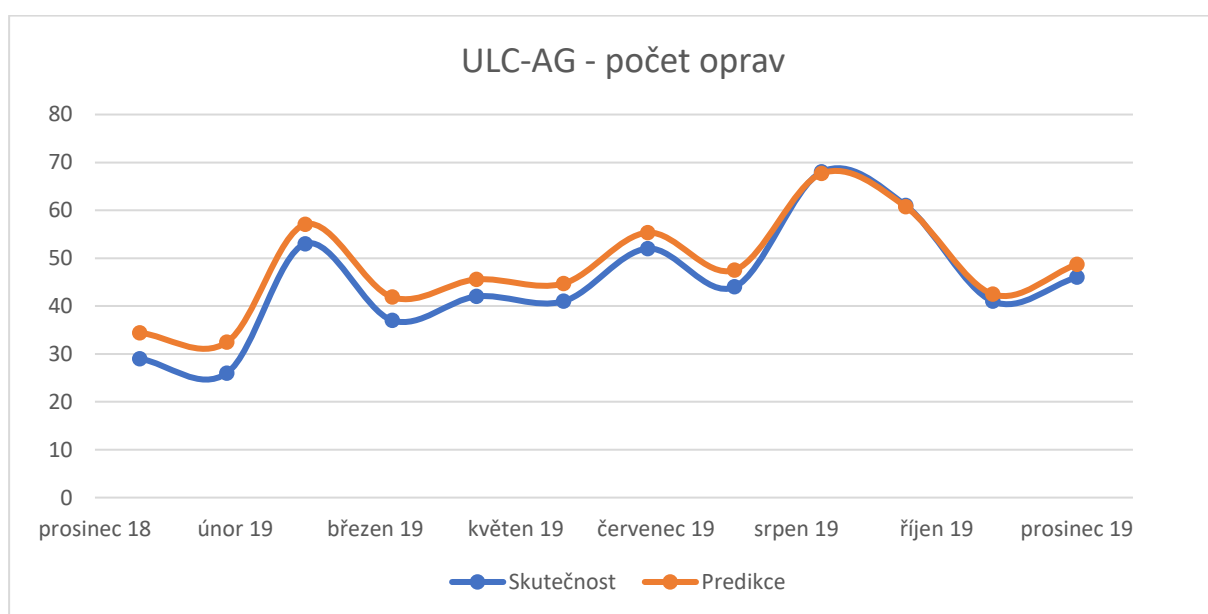
Celkem bylo stanoveno 12 sad koeficientů, 6 pro každou charakteristiku zatížení. Stanovené vylepšené koeficienty jsou navrženy k použití pro predikci v rámci navrhovaného modelu.

2.2.2.3. Predikce pomocí vážených klouzavých průměrů

Metoda vážených klouzavých průměrů používá pro predikci jiné koeficienty, které se nazývají váhové koeficienty. Počet těchto koeficientů závisí na stanovené periodě daného modelu. V rámci vypracování navrhovaného modelu byly zvoleny tři periody: 12, 6 a 3 měsíců. Pro každou periodu bylo potřeba stanovit příslušné množství koeficientů pro každou dílnu a pro každou z charakteristik zatížení zvlášť.

Na začátku byly předběžné koeficienty stanoveny ručně a to tak, aby starší hodnoty charakteristik zatížení měli menší váhu než novější. Tyto koeficienty byly pak následně použity pro predikci již známých historických hodnot, podobně jako u předchozí metody predikce, popsané v kapitole 2.2.2.2., a stejným postupem vylepšeny pro každou z dílen a charakteristik zatížení, dle stanovených průběžných hodnot SMAPE.

Celkem bylo stanoveno 36 sad vážených koeficientů obou charakteristik zatížení pro 6 dílen a 3 periody, které byly následně navrženy k použití v rámci finálního řešení. Graf na obrázku 9 zohledňuje predikované a skutečné počty oprav na ULC-AG v roce 2019 dle již vylepšených vezených koeficientů s periodou 12 měsíců.



Obr. 9: Skutečné a predikované (pomocí metody vážených klouzavých průměrů s periodou 12 měsíců) hodnoty počtů oprav na ULC-AG v roce 2019 (vlastní zpracování)

2.2.3. Nejčastěji opravované díly na ULC

Kromě dat potřebných k provedení predikce, byly pro vypracování finálního návrhu, stanoveny i seznamy nejčastěji opravovaných dílů na dílnách ULC. Tyto informace doplňují popis zatížení dílen z hlediska opravovaných komponentů, což zlepšuje představu uživatele modelu o dílech, které byly nebo budou opravovány. Tak je uživatel schopen analyzovat nejen objem oprav, ale i jejich složitost.

Tady nedochází k predikování, ale k statistickému zpracování PN dílů dle četností jejich oprav v každém roce od roku 2015 do roku 2021. Tento proces byl proveden pomocí kontingenční



tabulky a separací pěti nejčastěji opravovaných dílů. Ke každému PN dílu bylo také vypočítáno procento oprav tohoto dílu ku všem opravám na příslušné dílně v příslušném roce.

Seznam nejčastěji opravovaných dílu v predikčním období, což znamená od začátku roku 2022, je stanoven na základě seznamu příslušné dílny pro poslední kalendářní rok (v tomto případě – 2021). Obsah tohoto seznamu je automaticky porovnáván s poslední verzí seznamu schopností (v tomto případě – seznam schopností od prosince 2021). Tím dochází k potvrzení, že obsah seznamu schopností pro předchozí kalendářní rok je stále součástí seznamu schopností.

V některých případech seznamy nejčastěji opravovaných dílů mají úplně, nebo částečně stejný obsah. Například seznam nejčastěji opravovaných dílů v roce 2015 dílů na ULC-KO obsahuje PN z následující tabulky 1.

Tab. 1: TOP 5 nejčastěji opravované díly na ULC-KO v roce 2015

ULC-KO			
2015	PN	Qty	%
1	C20195162	225	39 %
2	3-1531-X	134	23 %
3	3-1518-2	37	6 %
4	AH54474	30	5 %
5	3-1528	30	5 %
Celkový součet		576	

A v roce 2021 už obsahoval seznam nejčastěji opravovaných dílů na ULC-KO, zobrazený v tabulce 2 i jiné PN, než seznam pro rok 2015, ačkoliv první 2 PN dílů, jsou stejné v obou seznamech (fotky těchto dílů jsou na konci této podkapitoly – Obr. 10 a Obr. 11).

Tab. 2: TOP 5 nejčastěji opravované díly na ULC-KO v roce 2021

ULC-KO			
2021	PN	Qty	%
1	C20195162	84	22%
2	3-1531-X	70	19%
3	5010720-1	41	11%
4	3-1550-1	29	8%
5	AHA2114	16	4%
Celkový součet		378	

Všechny seznamy nejčastěji opravovaných dílů na všech dílnách ULC za 7 let jsou součástí finálního modelu a slouží jako doplňující údaje k popisu zatížení dílen.



Obr. 10: Kolo PN C20195162 (vnitřní strana) – první PN ze seznamu nejčastěji opravovaných dílů na ULC-KO v roce 2015 a 2021 (vlastní zpracování/CSAT)



Obr. 11: Kolo PN C20195162 (vnější strana) – druhý PN ze seznamu nejčastěji opravovaných dílů na ULC-KO v roce 2015 a 2021 (vlastní zpracování/CSAT)



2.2.4. Výkonnostní efektivita seznamu schopností

Pro vypracování této diplomové práce, ze seznamu schopností, poskytnutého společností Czech Airlines Technics, byly použity hlavně informace o PN dílů z tohoto seznamu.

Pro následné použití vybrané části seznamu schopností, byly PN dílů ze seznamu schopností sjednoceny s PN opravovaných dílů z historických dat. Tak PN dílů v obou souborech byly opraveny a označovány stejně, např. PN ze seznamu schopností DK120/90 a PN ze souboru historických oprav DK120-90 byly sjednoceny do jedné podoby PN DK120-90.

Vybraná a upravená část seznamu schopností byla následně použita pro stanovení výkonnostní efektivit seznamu schopností a také jako vstupní data ve finálním návrhu řešení.

Výkonnostní efektivita, definice, která jak již bylo uvedeno v kapitole 1.3.2., je kvantitativní charakteristikou, což znamená, že musí být vyjádřena číselně. Tuto charakteristiku lze také pojmenovat jako efektivnost zapojení zdrojů a matematicky vyjádřit následujícím vzorcem:

$$E = \frac{Y}{X} \quad (2.7)$$

kde, Y – výstupy, X – vstupy. (17)

V rámci výpočtu výkonnostní efektivit výstupem jsou PN dílů a opravy, které byly realizovány v určitém časovém intervalu. Vstupem jsou všechny PN dílů ze seznamu schopností. Pro provedení výpočtu byl každý PN ze seznamu schopností vyhledán v seznamu PN opravovaných dílů. Počet všech nalezených v historických datech PN ze seznamu schopností byl následně použit jako výstup při výpočtu. Tímto způsobem byly spočítány výkonnostní efektivit seznamu schopností ULC CSAT jak z dlouhodobého hlediska (pro období 7 let), tak i z krátkodobého (pro každý kalendářní rok z vybraného období). Celkem bylo stanoveno 8 výkonnostních efektivit pro jeden seznam schopností dílen ULC. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v kapitole 3.2.



3. Výsledky

V této kapitole jsou uvedené výsledky, vypracovány v rámci této diplomové práce. Jedná se o stanovenou výkonnostní efektivitu seznamu schopností dílen ULC CSAT a návrh modelu zatížení. V jednotlivých podkapitolách jsou výsledky popsány z hlediska jejich obsahu. Validace a rozbor těchto výsledků jsou uvedeny v následujících kapitolách 3.3. a 4.

3.1. Model zatížení dílen ULC CSAT

Na začátku této diplomové práce bylo zmíněno, že hlavním cílem je navrhnout postupy pro optimalizaci využití a plánování dílenských kapacit. Tento proces, jak bylo popsáno v problematice, je závislý na zatížení dílen, a proto bylo potřeba vypracovat řešení, které bude umět pracovat se zatížením vybraných dílen, a hlavně predikovat budoucí zatížení.

Původní vize řešení definované problematiky spočívala ve vytvoření procentuálních odchylek zatížení jednotlivých dílen od průměru pro každý měsíc v roce. K těmto sadám odchylek, stanovených na bázi historických dat, by se ještě vypracoval určitý postup na provedení výpočtu budoucích hodnot. Tento koncept byl založen na ručním zpracování dat a výpočtu budoucích hodnot, což má řadu nevýhod a je dost omezený z hlediska využití tohoto způsobu.

Proto bylo rozhodnuto, že potřebné postupy budou transformovány do automatizovaného modelu. Tím se ušetří čas vypracování predikce, jelikož postupy obsahující řadu výpočtů nebudou realizovány ručně, eliminuje se lidská chyba, která by mohla vzniknout při ručním zpracování a také se tímto vyhne zbytečným zvyšováním nákladů spojeným s personálem, který by navržené výpočty prováděl. Tak vznikla koncepce samostatného modelu s omezeným vstupem člověka do procesu modelování a maximální automatizací potřebných procesů.

Ještě před zahájením vypracování samotného modelu byly definovány požadavky, které by měl navržený model splňovat. Tyto požadavky byly rozděleny do dvou skupin: konstrukční a funkční.

Do skupiny konstrukčních požadavků spadají následující požadavky:

- intuitivní uživatelské provedení;
- minimální zásah uživatele do procesu modelování;
- minimální školení uživatele;



- možná integrace modelu do jiných systémů;
- zobrazení všech potřebných informací na jedné obrazovce.

Tyto požadavky se vztahují na procesní a grafické vytvoření modelu, proto jejich splnění bylo dosaženo v průběhu vytvoření softwarového rozhraní a konstrukce modelu. Tyto požadavky nemají vliv na funkčnost modelu a následky jejich nesplňování nejsou definovány.

Ohledně funkčností modelu byly předdefinovány následující požadavky:

- predikované hodnoty v rámci modelu musí mít hodnoty SMAPE pod 25 % (18);
- pro následné použití modelu musí být vypočítána aspoň jedna ze dvou charakteristik zatížení.

Tyto požadavky se týkají matematické realizace modelu, proto část z něj byly ověřovány, kdy verze modelu už byla postavena. U funkčních požadavků, na rozdíl od konstrukčních, jsou předdefinovány následky nesplnění požadavků. V případě, že hodnota SMAPE bude vyšší, než je požadována, měl by být uživatel o tom informován a o použití takto predikovaných hodnot by měl rozhodnout uživatel. Pokud nebude splněn druhý požadavek ze seznamu funkčních požadavků, model by neměl být použit.

Z pohledu vstupních dat, model je schopen použít samotná historická data bez výpočtu predikce, a zobrazit tak zatížení dílen v minulosti. V případě použití modelování v již minulém časovém období, nedochází k žádnému výpočtu predikce, ale k výběru příslušných dat a popisu situací na základě existujících dat. Pomocí tohoto typu modelování je uživatel schopen zjistit jaké zatížení bylo na vybrané dílně v minulosti a porovnávat zatížení dílen mezi jednotlivými lety.

3.1.1. Struktura modelu

Navrhovaný model je souborem v programu Excel Makro s několika listy dat a výpočtů. Celkem obsah souboru modelu lze rozdělit na 3 části:

1. Vstupní a doplňková data
2. Výpočet predikce
3. Ovládací panely

Každá z těchto skupin obsahuje určité množství listů, které jsou propojené řadou funkcí v závislosti na požadovaném výsledku.



Uživatel modelu má přístup pouze k poslednímu typu listu – listům řídicích panelů, kde má dost omezené právo zásahu. Toto je jedním z konstrukčních požadavků modelu a účelem tohoto omezení je snaha vyhnout se náhodným či nechtěným změnám ve vzorcích výpočtů, nebo kódu modelu. Ke zbytku obsahu modelu uživatel nemá žádný přístup a případné aktualizace nebo opravy provádí správce modelu.

V následujících podkapitolách je popsán obsah všech listů modelu, včetně listů, kam uživatel přístup nemá.

3.1.1.1. Vstupní a doplňková data

Jak je vidět z názvu, listy spadající do této části obsahu modelu obsahují vstupní data pro následující výpočty a také doplňková data, která se nevyužívá jako hlavní zdroj dat, ale jsou potřeba pro určité funkce modelu. Aby navrhovaný model fungoval rychle a byl jednoduše přenosný, byly všechna potřebná pro výpočet data a údaje uloženy přímo v souboru modelu.

Celkem bylo vytvořeno 6 listů Excel se vstupními a doplňkovými daty:

- historická data o počtech oprav;
- historická data o množstvích vykázaných hodin;
- koeficienty pro regresní predikci;
- koeficienty pro metodu vážených klouzavých průměrů;
- seznamy nejčastěji opravovaných dílů;
- seznam schopností dílen ULC.

Postup získání těchto dat již byl popsán v kapitole 2, kde byly uvedeny i některé příklady těchto dat.

3.1.1.2. Výpočet predikce

Za účelem zamezení chyby při použití modelu uživatelem a zjednodušení velice rozsáhlých vzorců, bylo rozhodnuto umístit výpočty predikovaných hodnot na individuálních listech souboru modelu v Excel.

Tak k již existujícím 6 listům zdrojů výpočtů a modelování, bylo přidáno dalších 9 listů, kde probíhají samotné výpočty predikovaných hodnot potřebných veličin. Tyto listy jsou organizovány dle níže popsané struktury.



1. Listy predikce pomoci FORECAST.ETS:
 - predikce počtu oprav;
 - predikce množství hodin.

2. List predikce pomocí vážených klouzavých průměru.

3. Listy predikce pomocí regresní analýzy:
 - predikce počtů oprav a množství času pro ULC-AV;
 - predikce počtů oprav a množství času pro ULC-EL;
 - predikce počtů oprav a množství času pro ULC-NP;
 - predikce počtů oprav a množství času pro ULC-AG;
 - predikce počtů oprav a množství času pro ULC-KO;
 - predikce počtů oprav a množství času pro ULC-BR.

Tyto listy obsahují řadu tabulek různé struktury, které obsahují vypočtené predikční hodnoty počtů oprav a množství času. Postupy výpočtů již byly popsány v kapitole 2.2.2. této diplomové práce. Získané hodnoty predikovaných veličin zatížení dílen ULC se pak zobrazují na řídicích panelech modelu, dle zadaných parametrů, kde je vidí uživatel.

3.1.1.3. Ovládací panely

Ovládací panely jsou jediné, kam se může dostat běžný uživatel modelu. Jedná se o listy souboru modelu, kde již neprobíhají výpočty z historických dat, ale zobrazují se jejich výsledky.

Tyto listy jsou graficky zpracovány a informace, které jsou jejich obsahem, jsou uspořádány pro uživatele logickým a jednoduchým způsobem. Proto tyto listy mají název panely. V rámci jejich obsahu uživatel nastavuje požadavky na modelování a tím dochází k řízení modelu.

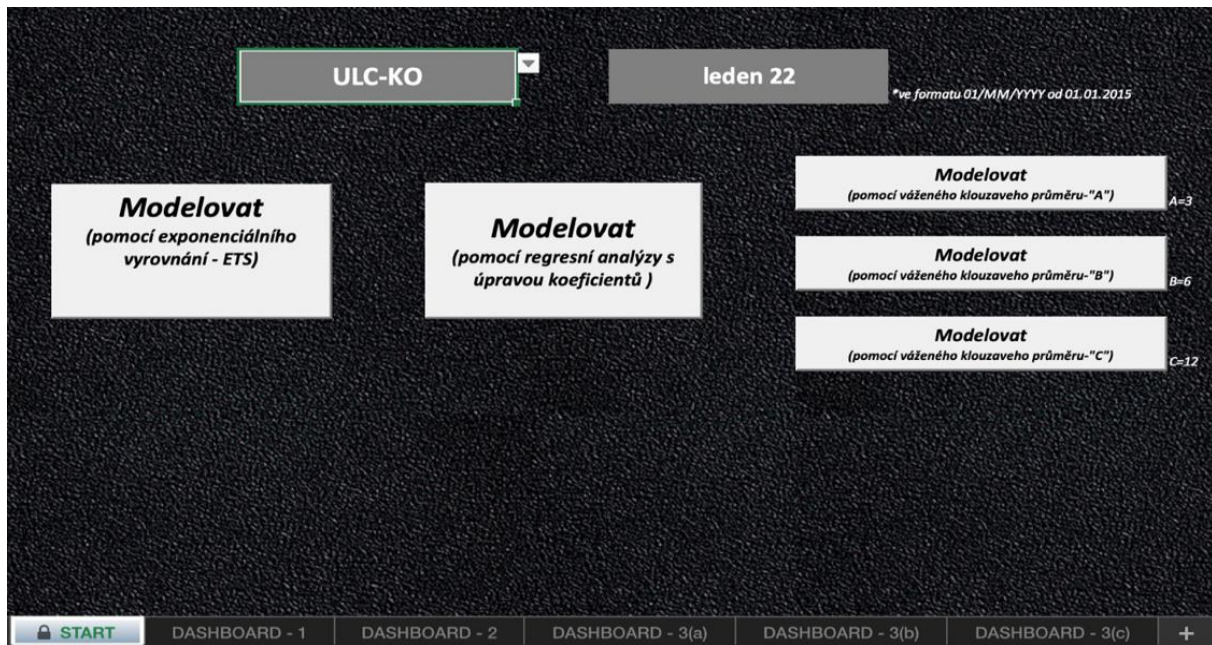
Jedná se o dva typy panelů:

- Panel START
- Panel DASHBOARD

Tyto panely jsou propojeny a používají se ve dvojici. Jejich struktura, funkce a obsah jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.1.1.3.1. Panel START

Panel START, jak je vidět z názvu, je prvním listem, který uživatel uvidí po spuštění modelu, jeho vzhled je zobrazen na obrázku 12.



Obr. 12: Vzhled panelu START navrhnutého modelu (vlastní zpracování)

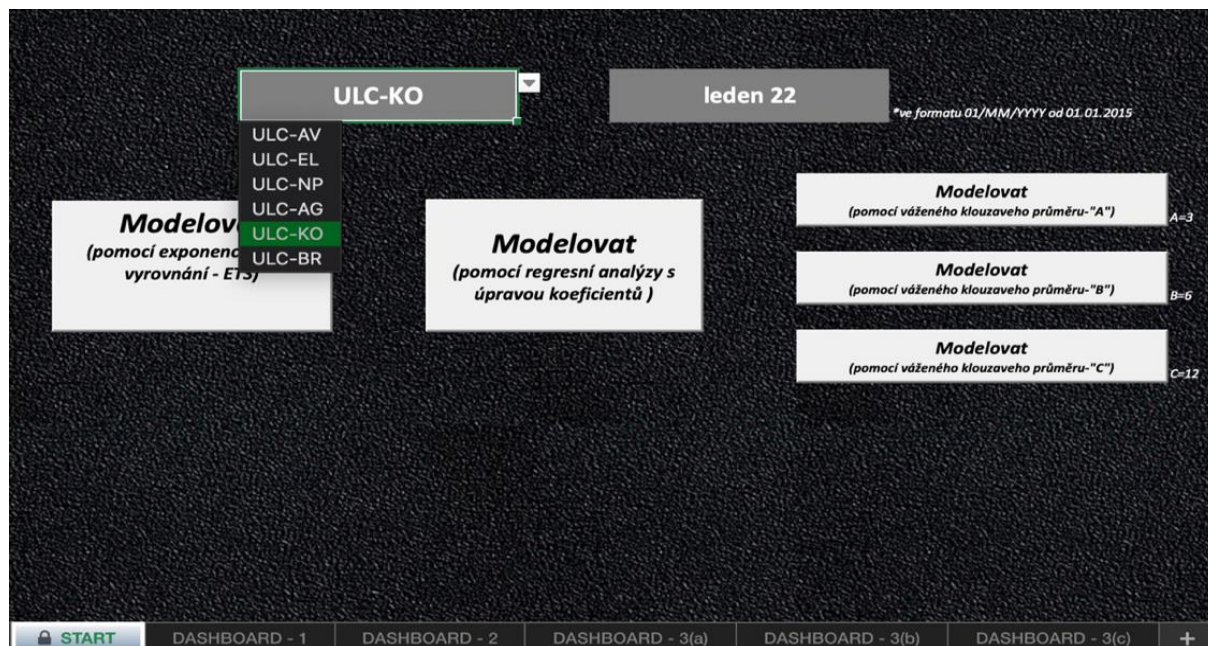
Panel START je složen ze dvou oken pro zadávání parametrů modelování a 5 tlačítek pro spuštění modelování pomocí různých metod.

Hlavním cílem tohoto panelu je vyžádat od uživatele potřebné parametry pro provedení následného modelování zatížení. Mezi tyto parametry patří: typ dílny a počáteční datum modelovaného období. Tyto parametry jsou povinné a musí se vyplňovat vždy. Pokud aspoň jeden z těchto parametrů nebude vyplněn, nebo bude ve špatném formátu, model nebude schopen provést modelování a uživatel dostane upozornění o špatném zadání parametrů modelování.

Co se týče počátečního datumu modelování, uživatel musí napsat první počáteční datum predikce ve formátu 01/MM/YYYY. Tento datum bude prvním, pro který se bude provádět modelování zatížení na následující 6 měsíců. Zvolený datum může také být i z historického časového úseku, v tomto případě bude provedené modelování historického zatížení.

Požadavek na výběr dílny je nastaven tak, že model, při vstupu do příslušného okna panelu START, automaticky nabídne jeho uživateli seznam z šesti možných dílen a uživatel může

zvolit potřebnou dílnu pouze z předdefinovaného seznamu. Žádný jiný způsob výběru dílny, v rámci modelu, není povolen. Ukázka předdefinovaného seznamu dílen je na obrázku 13.



Obr. 13: Vzhled panelu START navrhnutého modelu – výběr dílny (vlastní zpracování)

Po zadání obou potřebných detailů je model připraven k modelování zatížení a uživatel v tomto kroku musí vybrat metodu predikčního modelování. V případě modelování historického zatížení, výběr metody nehraje žádnou roli, jelikož se jedná o stahování již známých historických dat. Výsledek pak bude stejný pro všechny metody modelování. V případě predikce, model nabízí uživateli 5 metod modelování, založených na třech principech popsaných v kapitole 2.1.

Stisknutím vybraného tlačítka, uživatel spustí modelování zatížení a je automaticky přesměrován na příslušný panel DASHBOARD.

3.1.1.3.2. Panel DASHBOARD

Panel DASHBOARD je hlavním panelem celého modelu pro uživatele a obsahuje všechny charakteristiky a informace o zatížení dílny, dle zadaných detailů na panelu START.

Celkem navržený model obsahuje 5 nezávislých na sobě panelů DASHBOARD. Každý z těchto panelů je přiřazen k jedné z metod predikce. V závislosti na zvoleném tlačítku na panelu START je uživatel přesměrován na příslušný panel DASHBOARD.

Uživatel nemá oprávnění zasahovat nebo opravovat obsah panelů DASHBOARD. V případě potřeby je ale možné ručně otevírat další panely DASHBOARD, na kterých dochází k modelování zatížení pomocí jiných metod, ale dle stejných zvolených parametrů. To znamená, že pro změnu vstupních parametrů musí uživatel začít nové modelování na panelu START, když pro změnu pouze metody predikce stačí otevřít příslušný panel DASHBOARD.

Platí, že každý panel DASHBOARD má pevně přiřazenou metodu predikce a značení. Tím pádem, panel DASHBOARD - 1 používá metodu exponenciálního vyhlazování,

DASHBOARD – 2 – regresní metodu,

DASHBOARD – 3 – metodu vážených klouzavých průměrů, kde

(a) -používá periodu 3 měsíce,

(b) – 6 měsíců,

(c) – 12 měsíců.

Celková struktura panelu DASHBOARD je zobrazena na níže uvedeném obrázku 14, kde jako příklad je modelováno zatížení ULC-AV s počátečním datumem 01.01.2022 pomocí predikční metody exponenciálního vyhlazování.



Obr. 14: Vzhled panelu DASHBOARD navrhnutého modelu (vlastní zpracování)

Celý obsah panelu DASHBOARD lze rozdělit do čtyř částí, které obsahují určitá data nebo informaci, popisující jednu nebo více specifických charakteristik zatížení. Dohromady tyto čtyři části poskytují uživateli kompletní informace o zatížení dle zvolených parametrů. Bez ohledu na typ modelování (predikční, kombinované nebo historické) má tento panel stejný vzhled, mění se jen údaje o zatížení.

- První část panelu DASHBOARD

První část panelu DASHBOARD obsahuje predikované nebo historické hodnoty hlavních charakteristik zatížení a nachází se v levém horním rohu panelu DASHBOARD.

Pouze v této části dochází ke skutečné predikci hodnot, jiné prvky tohoto panelu matematickou predikci nepoužívají. Na obrázku 15 je vidět, jak tato část panelu vypadá a jakou má strukturu.

<i>Predikce - exponenciální vyrovnání</i>		
ULC-AV	Množství oprav	Množství potřebného času
Mesíc	Qty	MHRS
leden 22	25	393
únor 22	23	311
březen 22	26	380
duben 22	17	288
květen 22	18	248
červen 22	23	358

Obr. 15: První část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu (vlastní zpracování)

Tato část panelu má tvar tabulky, která je složena ze dvou segmentů: hodnot množství oprav a hodnot množství potřebného času. V levé části této tabulky se nachází časový horizont predikce nebo historických dat.

Hodnoty predikce jsou stahovány z příslušných listů predikce, zmíněných v kapitole 3.1.1.2., v závislosti na parametrech modelování z panelu START. V případě, že se jedná o zobrazení zatížení v historickém časovém intervalu, tak do této části panelu DASHBOARD stahují příslušné historické hodnoty z listů vstupních dat popsanych v kapitole 3.1.1.1.

První měsíc časového horizontu v této části panelu DASHBOARD souhlasí s počátečním měsícem modelování z panelu START a sám horizont je složen z pořadí 6 jdoucích měsíců za sebou.

Pro lepší orientaci uživatele ve změnách hodnot charakteristik zatížení, jsou oba segmenty této části panelu DASHBOARD barevně formátovány.

V segmentu, který se týče množství oprav jsou hodnoty automaticky zabarveny ve spektru barev zelená až – žlutá, kde zelená barva je charakteristická pro vyšší hodnoty a žlutá pro nižší.

Podobně jsou formátovány i hodnoty druhého segmentu: nejvyšší hodnoty mají modré zabarvení a nejnižší hodnoty jsou označovány oranžově. Tento způsob formátování pomáhá uživateli se hned zorientovat ve větších a náhlých změnách hodnot jdoucích za sebou.

- Druhá část panelu DASHBORD

Hned pod tabulkou hodnot charakteristik zatížení se nachází druhá část panelu DASHBOARD. Tato část představuje sebou tabulku TOP 5 nejčastěji opravovaných dílů a závisí pouze na zvoleném roce modelování.

Postup stanového obsahu tohoto prvku byl popsán v kapitole 2.2.3., vzhled této části je zobrazen na obrázku 16.

TOP 5 dílů		ULC-AV
1	3214-31	28%
2	D31865-XXX	12%
3	D31516-XXX	5%
4	D31517-XXX	5%
5	301-3017	5%

Obr. 16: Druhá část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu (vlastní zpracování)

Druhá část panelu DASHBOARD má za cíl definovat, jakých dílů na vybrané dílně lze očekávat (nebo bylo opraveno) nejvíc a zároveň jejich procentuální poměr ku celkovému počtu oprav ve vybraném roce.

Podobně jako i první část panelu DASHBOARD, tato část je složená ze dvou segmentů. Tyto segmenty jsou těsně spojeny mezi sebou a nemohou být použity zvlášť, na rozdíl od segmentů první částí.

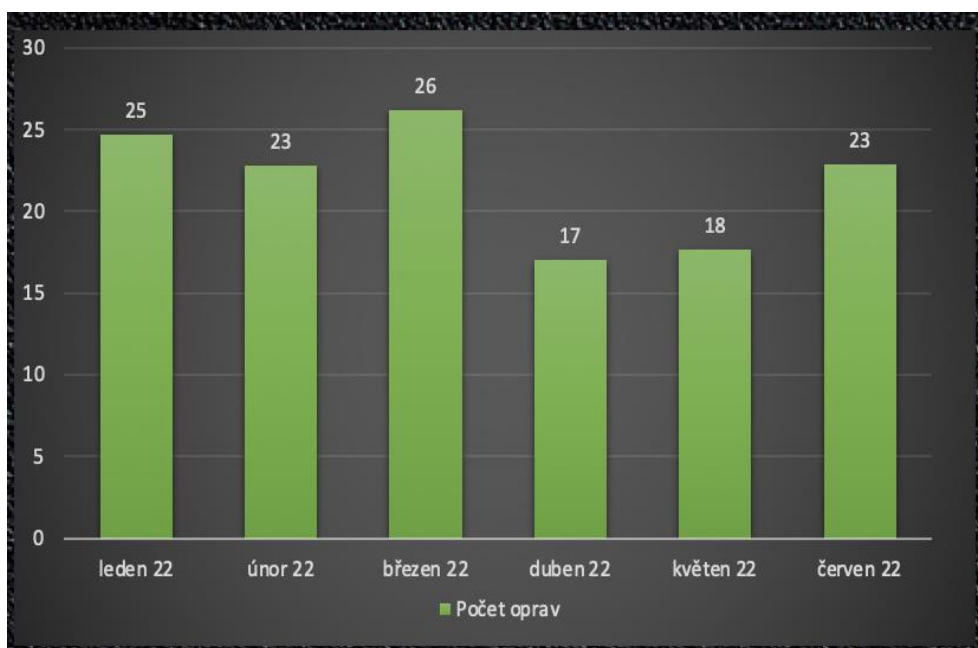
Pro predikční období je obsah této části představen seznamem nejčastěji opravovaných dílů za poslední celý kalendářní rok, který je porovnáván se seznamem schopností, který je součástí vstupních dat modelu. V tomto případě na panelu DASHBOARD se zobrazují pouze díly, které jsou součástí seznamu schopností.

Pomocí této části panelu DASHBOARD uživatel modelu má možnost udělat si lepší představu o opravovaných dílech a zatížení dílny z hlediska opravovaných komponentů.

- Třetí část panelu DASHBOARD

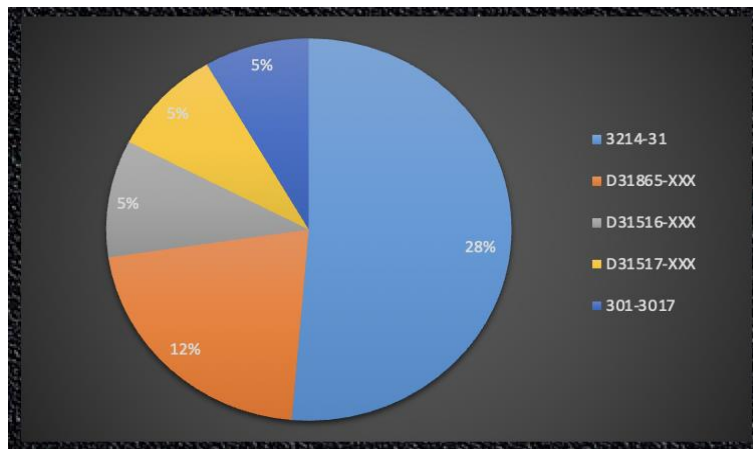
Třetí část panelu DASHBOARD neobsahuje žádné výpočty a jeho hlavním cílem je vizualizace hodnot již popsaných v rámci první a druhé částí panelu DASHBOARD.

Grafy zohledňující obsah první částí panelu DASHBOARD, týkající se predikovaných nebo historických hodnot počtů oprav a množství času, mají sloupcový charakter. Příklad grafu pro počet oprav je uveden níže jako obrázek 17.



Obr. 17: Třetí část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu
(segment počtu oprav) (vlastní zpracování)

Graf, zobrazující poměry nejčastěji opravovaných dílů, spadá pod výsečový typ grafu. Příklad takového grafu je na obrázku 18.



Obr. 18: Třetí část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu (segment TOP 5 dílů) (vlastní zpracování)

- Čtvrtá část panelu DASHBOARD

Poslední čtvrtá část panelu DASHBOARD se věnuje přímo plánování dílenských kapacit na základě predikovaného zatížení v první částí panelu. Tato část se nachází v pravém spodním rohu panelu DASHBOARD.

Tato část je také složena ze dvou segmentů a poskytuje uživateli informace o možném rozložení zatížení vzhledem k dostupným dílenským kapacitám a organizaci práce. Jedná se o nástroj k vytvoření možných scénářů pomocí dalších dvou parametrů. Struktura této části, představené ve tvaru dvou tabulek, je zobrazena na obrázku 19.

Delká pracovní směny	7,5	hod
Počet zaměstnanců	5	os.
Potřebný počet	směn/měsíc	směn/os.
leden 22	52	10
únor 22	41	8
březen 22	51	10
duben 22	38	8
květen 22	33	7
červen 22	48	10

Obr. 19: Čtvrtá část panelu DASHBOARD navrhnutého modelu (vlastní zpracování)



První segment se nachází nahoře čtvrté částí panelu DASHBOARD. Prostřednictvím tohoto segmentu je uživatel schopen vybrat dva parametry: délku pracovní směny a počet dostupných pracovníků, již zvolené na panelu START, dílny.

Model nabízí na výběr tři varianty délky pracovní směny: 4, 7,5 nebo 11 hodin a počet dostupných zaměstnanců: od 1 do 8 osob. U obou parametrů je možnost nevybírat žádnou hodnotu a nechat prázdné okno, tím ale nedochází k výpočtům v druhé dílčí části.

Avšak, pokud uživatel zvolí potřebnou kombinaci parametrů, dochází v druhém segmentu této částí panelu DASHBOARD k výpočtům počtů potřebných pracovních směn v příslušných měsících (zvolených na panelu START) a také počtů směn o vybrané délce na jednoho z dostupných zaměstnanců vybrané dílny.

Pomocí tohoto prvku panelu DASHBOARD dostává uživatel konkrétní informace k plánování dílenských kapacit, nebo k optimalizaci využití dostupných kapacit. Tyto hodnoty pak mohou být přímo použity pro plánování docházky apod.

3.1.2. Postup použití modelu

V předchozích kapitolách jsou popsány jednotlivé kroky vytvoření modelu a také jeho struktura. V této kapitole je navrhovaný model popsán z pohledu uživatele, dá se říci, že se jedná o postup použití navrhovaného modelu.

Na základě požadavků, sumarizovaných na začátku kapitoly 3.1., navržený model je možné jednoduše a intuitivně používat, bez složitých kroků nebo speciálního školení. Také, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.1., uživatel má velice omezený přístup k obsahu modelu a může používat jen panely START a DASHBOARD s určitými omezeními uvnitř těchto panelů. Proto celý postup použití modelu, resp. jeho řídicích panelů, se z pohledu jeho běžného uživatele skládá z následujících 3 kroků.

1. Otevření modelu a vyplnění panelu START.

Po otevření souboru navrhovaného modelu uživatel se zobrazuje na první panel – START. Tento panel je určen pro zadání požadovaných parametrů modelu: typu dílny a požadovaného období modelování. Tyto parametry jsou nutné pro následné modelování a musí se vyplňovat vždy.



Tak uživatel musí vybrat jednu z šesti nabízených dílen pro provedení modelování zatížení na této dílně a zadat počáteční datum modelování ve formátu 01.MM.RRRR a to od 01.01.2015.

2. Spuštění modelování

Jakmile jsou parametry modelování zadány může uživatel spustit modelování pomocí vybrané metody predikce prostřednictvím jednoho z 5 tlačítek „Modelovat“.

Pro jednodušší výběr metody modelování uživatel používá validační tabulku pro všechny možné kombinace dílen a metod, dle které zvolí jemu vyhovující kombinaci a následně i metodu. Spuštěním modelování uživatel je automaticky přeměřovat na panel DASHBOARD, který používá zvolenou metodu.

3. Konec modelování

Na panelu DASHBOARD uživatel nemá žádné oprávnění k opravám hodnot, má možnost jen vybírat určité parametry u jedné z částí panelu DASHBOARD.

Modelované parametry zatížení může uživatel také vytisknout, nebo uložit v jemu potřebném formátu standardním postupem v Excel.

Uživatel může procházet všemi panely DASHBORD, bez toho, aby se musel znovu vracet na panel START. Pokud uživatel chce změnit jakýkoliv ze dvou počátečních parametrů modelování, má uživatel možnost kdykoliv se vrátit na panel START a začít nové modelování.

3.2. Výkonnostní efektivita seznamu schopností

Dle definovaného popisu výpočtů výkonnostní efektivit seznamu schopností v předchozí kapitole 2.2.4., byla provedena řada výpočtů této vlastností seznamu schopností pro různé časové intervaly.

Výkonnostní efektivita seznamu schopností z prosince 2021 z dlouhodobého hlediska neboli za 7 let provedení oprav stanovila 74 %. To znamená, že 74 % všech dílů z vybraného seznamu schopností byly opravovány v průběhu posledních 7 let.

Celková výkonnost seznamu schopností není součtem výkonnostních efektivit v každém z jednotlivých let, jelikož tato vlastnost seznamu schopností neřeší četnost těchto oprav.



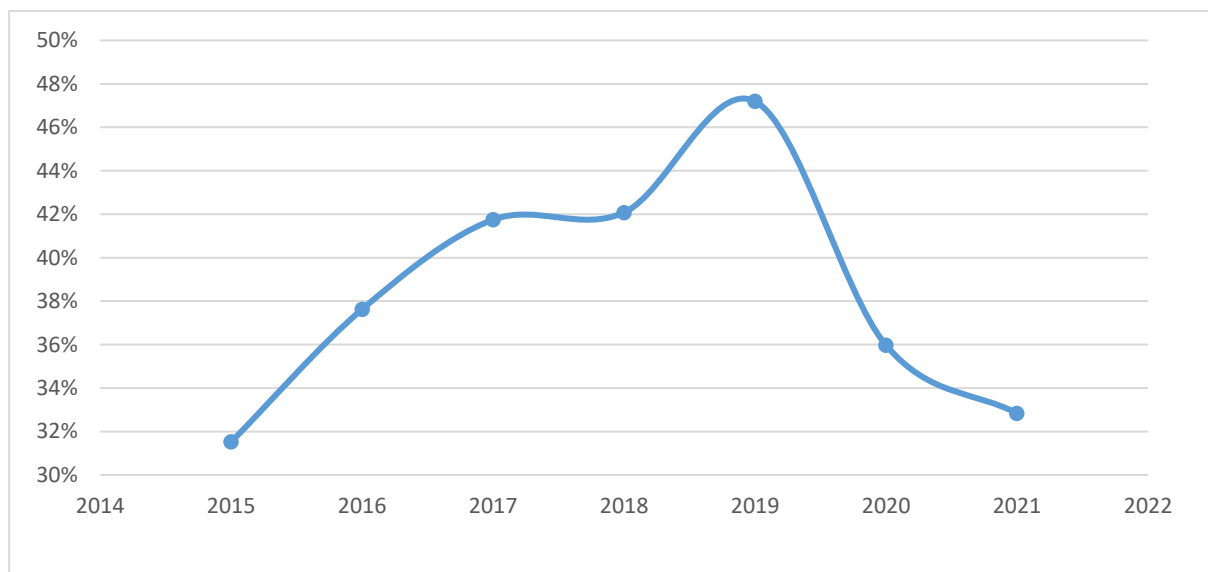
Proto některé díly se opravovali každý rok ve zvoleném období, jiné jen ve vybraných letech, nebo i jen jednou za 7 let.

Z krátkodobého hlediska byly zvláště vypočítány výkonnostní efektivity zvoleného seznamu schopností pro každý rok z období 7 let od roku 2015 do roku 2021. Hodnoty jednotlivých výkonnostních efektivit jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3: Výkonnostní efektivity seznamu schopností z prosince 2021 v průběhu 7 let

Rok	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
%	32 %	38 %	42 %	42 %	47 %	36 %	33 %

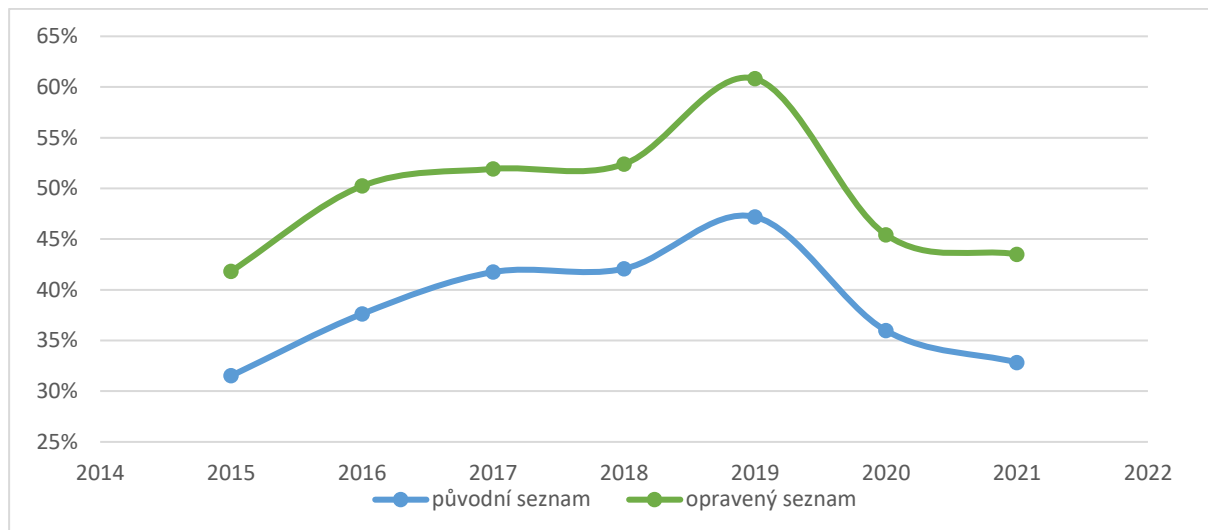
Pro jednodušší sledování změn výkonnostních efektivit vybraného seznamu schopností v průběhu 7 let byly získané hodnoty vykresleny do jednoduchého grafu závislosti výkonnostní efektivity (%) na čase. Pomocí grafu na obrázku 20 je možné sledovat změny hodnot a jejich trend v průběhu let.



Obr. 20: Výkonnostní efektivity seznamu schopností z prosince 2021
v průběhu 7 let (vlastní zpracování)

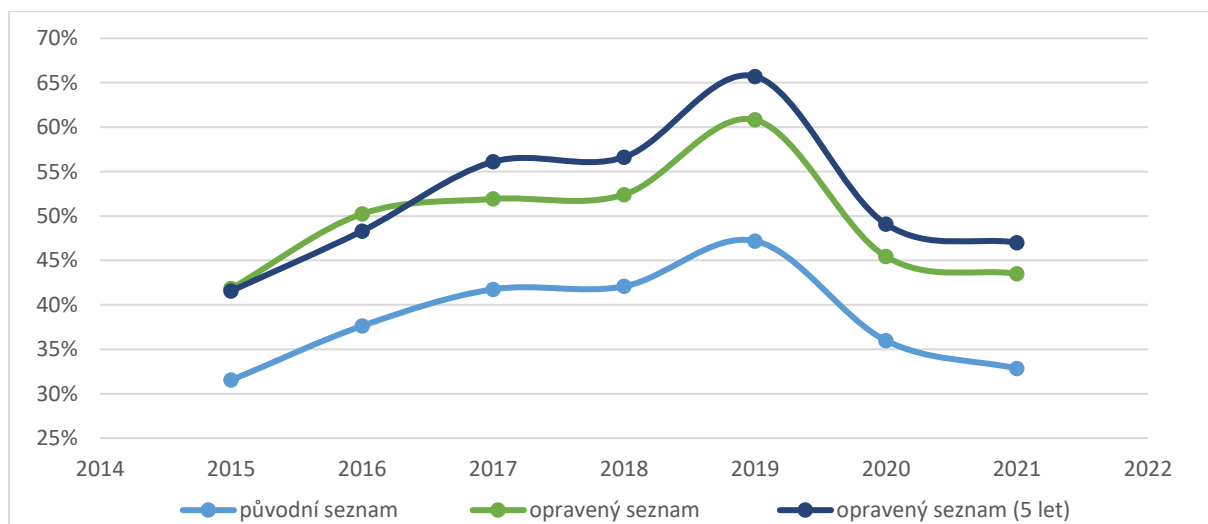
Jako jeden z možných způsobů zvýšení výkonnostní efektivity, bez provedení analýzy obsahu seznamu schopností z technického hlediska, je vyřazení dílů, které nebyly opravovány na ULC za posledních 7 let.

Tím že se tyto díly odstraní (přibližně 30 % obsahu původního seznamu schopností), výkonnostní efektivita v jednotlivých letech období 2015-2021 se změní a pohybují v rozmezí 42 % až 61 %. Jednotlivé hodnoty jsou vykresleny do grafu na obrázku 21.



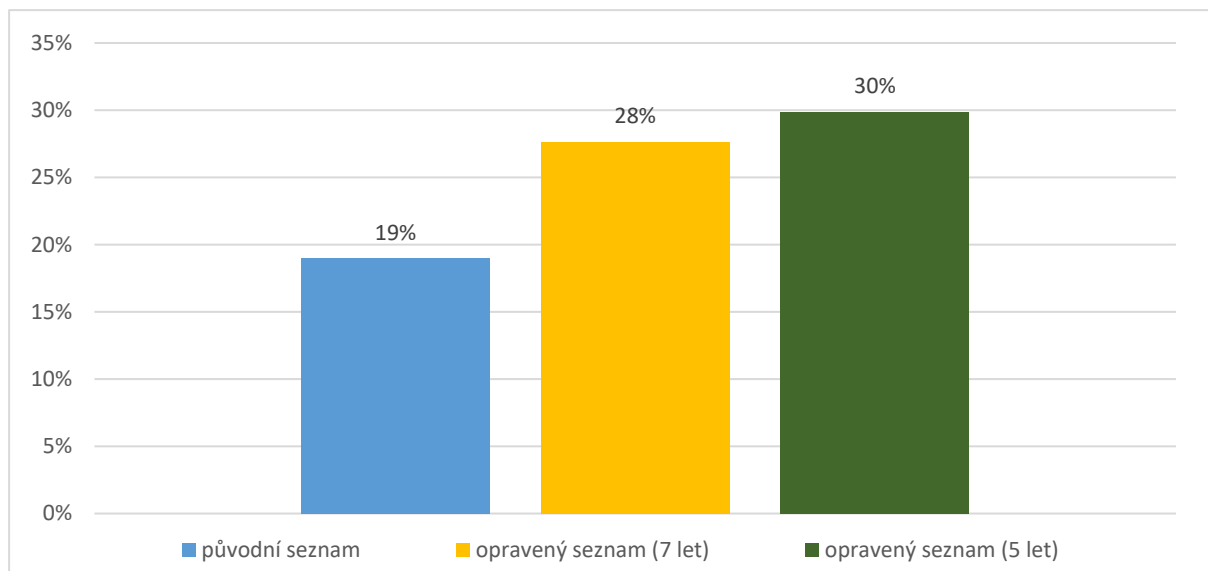
Obr. 21: Výkonnostní efektivita původního a opraveného seznamů schopností v průběhu 7 let (vlastní zpracování)

V případě, že ze seznamu schopností budou odstraněny i díly, které se neopravovaly v průběhu posledních let (přibližně 35 % obsahu původního seznamu schopností), výkonnostní efektivita seznamu schopností posledních 5 let budou ještě vyšší. Hodnoty takto opraveného seznamu schopností se pohybují v rozmezí 42 % až 66 % a jsou dodatečně vykresleny do grafu na obrázku 22.



Obr. 22: Výkonnostní efektivita původního a dvou opravených seznamů schopností v průběhu 7 let (vlastní zpracování)

Vyřazené PN dílů byly porovnány s PN dílů, které se opravovali v prvním půlroce 2022. Výsledkem je, že ani jeden z vyřazených PN dílů nebyl opravován v roce 2022 na dílnách ULC, a to pro obě varianty upravených seznamů schopností. Výkonnostní efektivity původního a opravených seznamů schopností byly vypočítány i pro období leden–červen 2022. Výsledky jsou uvedeny na obrázku 23 v podobě grafu.



Obr. 23: Výkonnostní efektivity původního a opravených seznamů schopností v průběhu prvního půlroku 2022 (vlastní zpracování)

Je také potřeba zmínit, že seznam schopností ULC CSAT obsahuje řadu sériových PN, což znamená, že se pod jedním PN skrývá víc obdobných PN, které se liší pouze jedním, nebo několika čísly, většinou na konci PN. V případě, že by se tyto série rozepsaly na jednotlivé PN, je dost možné, že hodnoty výkonnostní efektivity budou jiné.

3.3. Validace výsledků modelování

V rámci návrhu modelu bylo použito několik druhů dat a vytvořeno množství výpočtů, detailně popsanych v kapitole 2, jak pro predikování, tak i pro zpracování statistických údajů, které se používají v rámci modelování.

Jedním z funkčních požadavků na navrhovaný model, které byly popsány v kapitole 3.1., byla dostačující úroveň spolehlivosti výsledků modelování prostřednictvím tohoto modelu. Proto tato kapitola je věnována ověření modelovaných výsledků predikce vůči reálným hodnotám na dílnách ULC.



Validace výsledků predikčního modelování byla provedena pro každý matematicky predikovaný parametr modelu z kapitoly 2.2.1 a zároveň i pro každou z šesti dílen. Mezi matematicky zpracované parametry modelu spadají pouze hodnoty z první části panelu DASHBOARD – hodnoty predikce charakteristik zatížení.

Vzhledem k tomu, že současný model je postaven tak, že poslední historická data o opravách jsou z prosince roku 2021, první možný počáteční predikční datum je 01.01.2022. Proto validace výsledků predikce byla provedena pro modelování zatížení všech dílen ULC všemi metodami v období leden 2022–červen 2022. Pro validaci výsledků také byly použity data o provedených opravách na dílnách ULC v prvním půlroce 2022, které nebyly použity pro návrh modelu. Tyto hodnoty byly použity pouze pro ověření výsledků predikce vzhledem k reálnému provozu.

Validace výsledků byla ověřena pomocí třech matematických chyb:

- SMAPE (Symmetric Mean Absolute Percentage Error) – Symetrická střední absolutní procentuální chyba:

$$SMAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n \frac{|\hat{y}_t - y_t|}{|\hat{y}_t| + |y_t|} \right) \times 100\%, \quad (3.1)$$

kde n – počet predikčních kroků, \hat{y}_t – predikovaná hodnota, y_t – skutečná hodnota. (19)

- RMSE (Root Mean Squared Error) -Střední kvadratická chyba:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}, \quad (3.2)$$

kde n – počet predikčních kroků, \hat{y}_t – predikovaná hodnota, y_t – skutečná hodnota. (19)

- MAE (Mean absolute error) – Střední absolutní chyba:

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |\hat{y}_t - y_t|}{n}, \quad (3.3)$$

kde n – počet predikčních kroků, \hat{y}_t – predikovaná hodnota, y_t – skutečná hodnota. (20)

Pro všechny tři chyby platí, že čím nižší je jejich hodnota, tím vyšší je spolehlivost a predikované hodnoty jsou bližší k reálným hodnotám.



Tyto chyby byly také průběžně vypočítány k historickým datům do prosince 2021 u vybraných metod, použitých v modelu, detailní popis je v kapitole 2.2.2. této diplomové práce. Účelem bylo zlepšení argumentů predikčních metod.

Finální vyhodnocení modelu pomocí výše zmíněných chyb bylo provedeno jen pro čistě predikované hodnoty v období leden 2022–červen 2022, které nebyly použity pro vytvoření modelu.

V následujících podkapitolách 3.3.1., 3.3.2., 3.3.3. jsou uvedeny získané hodnoty jednotlivých chyb pro provedené predikce, které tvoří sebou výsledky validace modelu.

3.3.1. SMAPE

Vypočítané hodnoty SMAPE pro predikované hodnoty dvou charakteristik zatížení v období leden 2022–červen 2022 byly poskládaný do dvou tabulek dle predikovaných veličin.

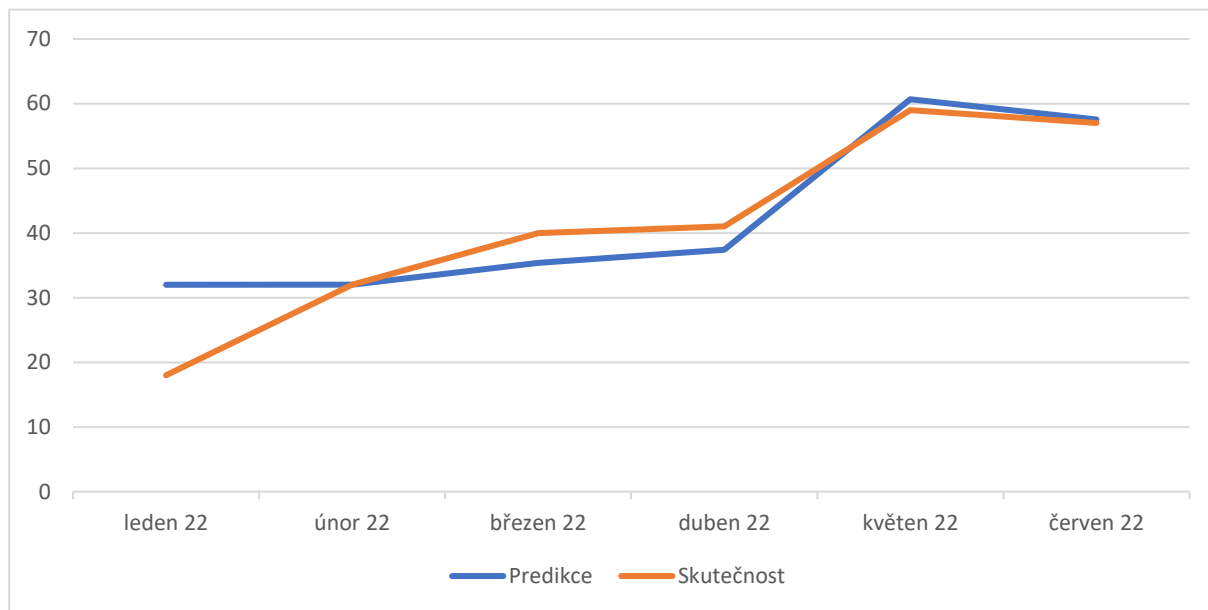
Tak hodnoty SMAPE pro predikované počty oprav na ULC ve zvoleném období jsou zobrazeny v níže uvedené Tab. 4.

Tab. 4: Hodnoty SMAPE [%] pro predikované počty oprav na ULC
v období leden 2022–červen 2022

SMAPE [%]	Predikce počtu oprav					
	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
Exponenciální vyhlazování	26 %	64 %	48 %	21 %	13 %	58 %
Regresní analýza	20 %	15 %	15 %	15 %	7 %	2 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 12)	11 %	15 %	25 %	16 %	12 %	15 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 6)	8 %	14 %	20 %	15 %	13 %	16 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 3)	12 %	15 %	20 %	19 %	9 %	18 %

Stejně jako i v kapitole 2 byly predikované hodnoty počtů oprav pro období leden–červen 2022 také porovnávány se skutečnými hodnotami oprav v tomto časovém intervalu.

Graf na obrázku 24 obsahuje příklad takového porovnání dat pro dílnu ULC-KO.



Obr. 24: Skutečné a predikované (pomocí regresní metody) hodnoty počtů oprav na ULC-KO v prvním půlroce 2022 (vlastní zpracování)

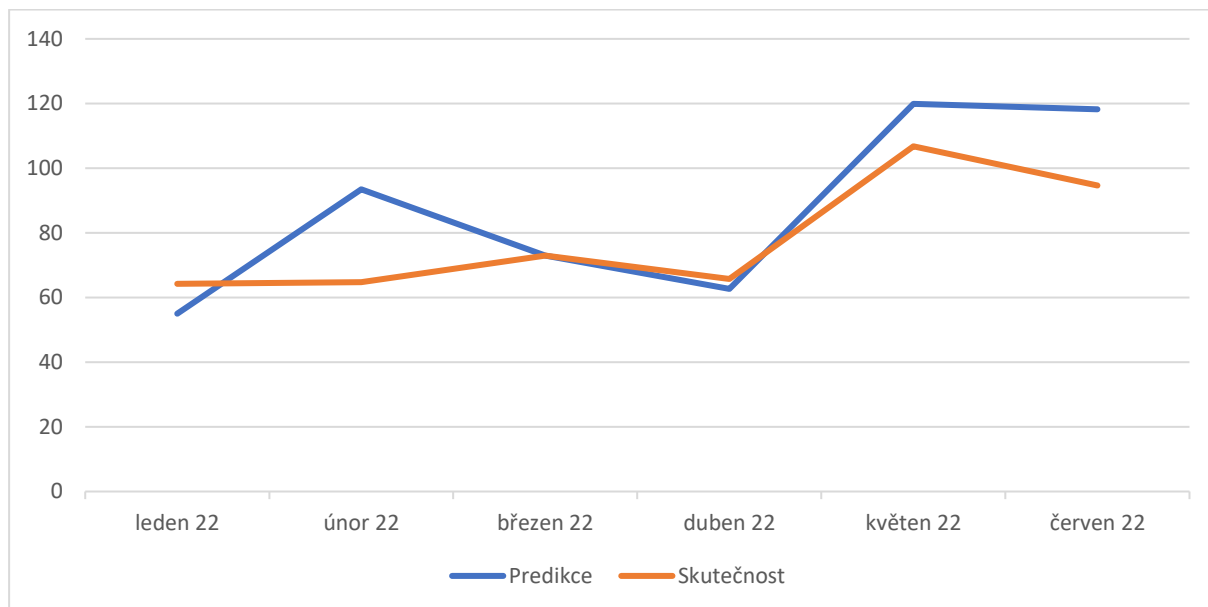
Stejnou strukturu má i Tab. 5, která obsahuje hodnoty SMAPE pro predikci času potřebného na provedení oprav na dílnách ULC ve stejném validačním období.

Tab. 5: Hodnoty SMAPE [%] pro predikovaná množství času na opravy na ULC v období leden 2022–červen 2022

SMAPE [%]	Predikce množství času					
	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
Exponenciální vyhlazování	22 %	32 %	27 %	20 %	20 %	26 %
Regresní analýza	14 %	71 %	14 %	15 %	5 %	8 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 12)	12 %	14 %	22 %	19 %	12 %	10 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 6)	13 %	12 %	20 %	16 %	14 %	10 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 3)	13 %	13 %	22 %	18 %	13 %	10 %

Predikované hodnoty množství času pro první půlrok 2022 byly také porovnány se skutečnými hodnotami vykázaných hodin v tomto období.

Výsledky porovnání predikovaných a skutečných hodnot na ULC-BR jsou zobrazeny na obrázku 25.



Obr. 25: Skutečné a predikované (pomocí regresní metody) hodnoty množství času (vlastní zpracování)

U obou tabulek tučným písmem jsou zvýrazněny nejnižší hodnoty SMAPE pro každou dílnu. Tyto hodnoty ukazují na jednu nebo více nespolehlivějších metod pro každou dílnu ULC vůči ostatním metodám.

3.3.2. RMSE

Hodnoty RMSE byly určeny a zaneseny do jedné tabulky pro každou predikovanou charakteristiku zatížení, podobně jako předchozí validační parametr SMAPE.

Podobně jako i u SMAPE, platí, že spolehlivější metoda predikce má nižší RMSE.



V následujících tabulce Tab. 6 jsou uvedeny vypočítané hodnoty RMSE pro predikci počtu oprav a tučným písmem jsou označeny nejnižší hodnoty. Tím byly určeny nejspolehlivější metody pro každou z dílen ULC dle této chyby.

Tab. 6: Hodnoty RMSE pro predikované počty oprav na ULC
v období leden 2022–červen 2022

RMSE	Predikce počtu oprav					
	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
Exponenciální vyhlazování	21	38	27	9	9	22
Regresní analýza	17	4	14	7	6	1
Vážený klouzavý průměr (Perioda 12)	13	7	19	8	11	3
Vážený klouzavý průměr (Perioda 6)	9	5	15	8	12	3
Vážený klouzavý průměr (Perioda 3)	14	6	16	9	9	4

Stejně tak v tabulce Tab.7 jsou uvedeny hodnoty RMSE pro predikce množství času, nejnižší hodnoty jsou zvýrazněny tučným písmem.

Tab. 7: Hodnoty RMSE pro predikovaná množství času na opravy na ULC
v období leden 2022–červen 2022

RMSE	Predikce množství času					
	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
Exponenciální vyhlazování	151	33	70	45	70	56
Regresní analýza	68	171	46	35	19	17
Vážený klouzavý průměr (Perioda 12)	72	13	60	38	58	20
Vážený klouzavý průměr (Perioda 6)	74	12	58	36	74	20
Vážený klouzavý průměr (Perioda 3)	75	12	61	38	60	19



3.2.1. MAE

Poslední validační parametr MAE, byl zpracován stejným způsobem jako předchozí dva parametry validace (SMAPE a RMSE). I u MAE platí, že čím nižší je tato chyba, tím lepší je predikce.

Hodnoty MAE pro predikované počty oprav a množství času v průběhu ledna – června 2022 jsou uvedeny v následujících dvou tabulkách Tab. 8 a Tab. 9.

Tab. 8: Hodnoty MAE pro predikované počty oprav na ULC
v období leden 2022–červen 2022

MAE	Predikce počtu oprav					
	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
Exponenciální vyhlazování	17	35	24	9	9	22
Regresní analýza	14	3	8	5	4	1
Vážený klouzavý průměr (Perioda 12)	8	4	16	6	9	2
Vážený klouzavý průměr (Perioda 6)	6	3	12	6	10	3
Vážený klouzavý průměr (Perioda 3)	9	3	12	8	7	3

Tab. 9: Hodnoty MAE pro predikovaná množství času na opravy na ULC
v období leden 2022–červen 2022

MAE	Predikce množství času					
	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
Exponenciální vyhlazování	115	31	58	36	66	56
Regresní analýza	53	169	25	25	11	13
Vážený klouzavý průměr (Perioda 12)	47	9	48	34	40	16
Vážený klouzavý průměr (Perioda 6)	52	9	45	27	52	16
Vážený klouzavý průměr (Perioda 3)	52	9	48	32	47	16



4. Diskuze

V předchozích kapitolách byly podrobně popsány všechny postupy zpracování modelu a vedlejších veličin, potřebných buď pro vytvoření modelu, nebo pro vyhodnocení jeho spolehlivosti. V této kapitole jsou diskutovány výsledky této diplomové práce, a hlavně modelu zatížení dílen ULC CSAT.

V průběhu vypracování diplomové práce bylo potřeba stanovit jakým způsobem bude řešení vytvářeno. Na základě současné plánovací situace na vybraných dílnách, bylo zvoleno navrhnout postup optimalizace využití dílenských kapacit prostřednictvím navržení predikčního modelu, který bude predikovat budoucí zatížení těchto dílen. Tento model je i hlavním výsledkem této práce.

Kromě predikce charakteristik zatížení (počtu oprav a množství času) navržený model obsahuje i řádu dalších informací a výpočtů, které mají vliv a charakterizují zatížení dílen. Model přiřazuje ke každé dílně seznam nejčastěji opravovaných dílů včetně jejich procentuálních poměrů. V rámci predikce je možné prostřednictvím navrženého modelu provést určité výpočty a získat konkrétní informace, týkající se plánování budoucích směn apod.

Celý model byl vytvořen v relativně jednoduchém a intuitivním provedení. Uživatel nepotřebuje žádné speciální školení, nebo zácvik pro použití tohoto modelu. Uživatel také má dost omezený přístup k obsahu modelu a může používat pouze vybrané panely, což pomáhá chránit model proti zbytečným a nechtěným změnám v jeho programním provedení.

Také je potřeba zmínit, že model lze integrovat do jiných programů a softwarů pro automatizaci některých procesů, jako je stažení historických dat, nebo seznamu schopností. Tím se nejen zjednoduší jeho procesní podpora, ale také se zrychlí aktualizace vstupních dat a rozšíří se rozsah jeho funkcí.

Detailní popis obsahu, funkcí a použití modelu je uveden v kapitole 3.1, postup zpracování dat a popis použitých metod lze najít v kapitole 2 této diplomové práce.

Co se týče spolehlivosti navrženého modelu, v kapitole 3.3. jsou uvedené jednotlivé výsledky validace každé z použitých metod pro každou dílnu ULC. V případě validace predikce počtu oprav, všechny tři chyby měly téměř stejný trend. Pro většinu dílen ULC (ULC-NP, ULC-AG, ULC-KO a ULC-BR) nejspolehlivější metodou predikce je metoda regresní analýzy.



A pro ULC-AV nejspolehlivější výsledky predikce počtu oprav byly obdrženy pomocí predikce metodou vážených klouzavých průměrů s periodou 6 měsíců. U dílny ULC-EL nejspolehlivější výsledky byly poskytnuty regresní metodou a metodou vážených klouzavých průměrů s periodou 6 měsíců.

V rámci vyhodnocení spolehlivosti metod pro predikci počtu oprav, je potřeba zmínit, že nejnižší spolehlivost patří ve většině případů metodě exponenciálního vyhlazování. SMAPE této metody dosahovala u některých dílen hodnot vyšších než 50 %. Celkem u 5 z 6 dílen ULC tato metoda měla nejvyšší procento SMAPE. Co se týče jiných typů chyb (RMSE a MAE), metoda exponenciálního vyhlazování měla nejvyšší hodnoty u 4 z 6 dílen.

I přesto, že hodnoty SMAPE této metody byly vyšší, jsou až na výjimky, v akceptovatelném rozsahu dle jednoho z funkčních požadavků na model z kapitoly 3.1. Dokonce u některých dílen rozdíly mezi hodnotami SMAPE jednotlivých metod se pohybují v řádu jednotek procent, což znamená, že spolehlivost těchto metod je velice podobná.

Z hlediska predikce množství času, pro většinu dílen ULC (ULC-NP, ULC-AG, ULC-KO a ULC-BR) je nejspolehlivější metodou metoda regresní analýzy. Pro ULC-AV nejspolehlivější metodou je metoda vážených klouzavých průměrů s periodou 12 měsíců. A u ULC-EL nejspolehlivější metodou je, podobně jak i v případě predikce počtu oprav vážených klouzavých průměrů s periodou 6 měsíců.

Nejvyšší hodnoty chyb z celého vyhodnocení predikce množství času byly poskytnuty metodou exponenciálního vyhlazování. Také rozdíly mezi jednotlivými hodnotami chyb u vybraných dílen nebyly moc velké. V případě predikce času na ULC – AG metoda exponenciálního vyhlazování měla MAE 36 a metoda vážených klouzavých průměru s periodou 12 měsíců – MAE 34. To znamená, že pro predikci potřebných charakteristik zatížení, lze použít několik metod a výsledky budou velice podobné s minimálním rozdílem spolehlivosti.

Z pohledu vyhodnocení všech metod, které se použily v rámci navrženého modelu, dle SMAPE, jsou výsledky predikce spolehlivé. V případě predikce počtu oprav pouze 4 z celkem 30 hodnot SMAPE byly vyšší než 25 % a pouze 2 – vyšší, než 50 %. Podobně i v případě predikce množství času na opravy, pouze 4 hodnoty SMAPE byly vyšší, než 25 %. Z toho plyne, že 87 % všech predikcí provedených pomocí navrženého modelu mají SMAPE pod 25 %. V případě predikce počtu oprav hodnoty SMAPE pro všechny akceptované



kombinace dílen a metod pohybují v rozmezí od 2 % do 25 %, u predikce množství časů – v rozmezí od 8 % do 22 %.

Při výběru metody by se měl uživatel řídit hlavně tabulkou hodnot SMAPE, jelikož se jedná o procentuální vyjádření chyby, které není přímo navázáno na hodnoty charakteristik zatížení. Další typy chyb jsou uváděny jako počty oprav, nebo množství času, což pak komplikuje orientaci uživatele ve velikosti odchylek.

Při analýze navrženého modelu, dle původních požadavků, bylo zjištěno, že všechny konstrukční a funkční požadavky z kapitoly 3.1. byly splněny. Model je dost intuitivní a integrovatelný do jiných systémů. Uživatel nepotřebuje žádné speciální školení a má přístup pouze k vybraným částem modelu, které on potřebuje. A důležité informace pro uživatele se nachází na jednom panelu DASHBOARD.

Ohledně funkčních požadavků, model poskytuje 87 % spolehlivých predikcí, o zbylých 13 % je uživatel informován prostřednictvím dostupné validační tabulky 10, tím se splňuje první funkční požadavek z kapitoly 3.1. Druhý funkční požadavek je také splněn, jelikož navržený model vypočítal obě charakteristiky zatížení ve 100 % pokusů modelování.

Tab. 10: Validační tabulka pro uživatele modelu

SMAPE [%]	Predikce - průměr					
	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
Exponenciální vyhlazování	24 %	48 %	38 %	21 %	17 %	42 %
Regresní analýza	17 %	43 %	15 %	15 %	6 %	5 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 12)	12 %	15 %	24 %	18 %	12 %	13 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 6)	11 %	13 %	20 %	16 %	14 %	13 %
Vážený klouzavý průměr (Perioda 3)	13 %	9 %	21 %	19 %	11 %	14 %

Jak bylo zmíněno na začátku této kapitoly, kromě návrhu optimalizace využití dílenských kapacit, bylo cílem stanovit výkonnostní efektivitu seznamu schopností.

Detailní popis zpracování a výsledky byly popsány v kapitolách 2.2.4. a 3.2. Dle získaných hodnot, lze říci, že seznam schopností od prosince 2021 má vysokou výkonnostní efektivitu (74 %) z dlouhodobého hlediska, kdy docházelo k větším organizačním a globálním změnám.

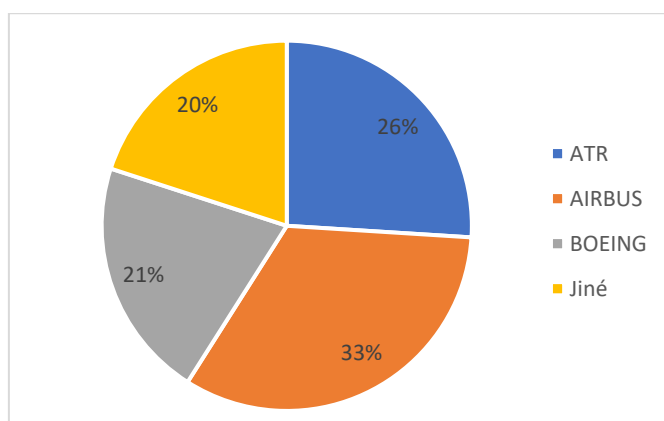


Výkonnostní efektivita vybraného seznamu schopností v jednotlivých letech se měnila a lze zde najít určitý trend (Obr.20). Na základě těchto změn lze sledovat, jak do roku 2020 rozsah opravovaných dílů narůstal v průměru o 4 % každý rok. Tento nárůst je spojen s rozvojem letecké dopravy v těchto letech a také se smluvními vztahy s řadou společností. V roce 2020 došlo k náhlému poklesu výkonnostní efektivita seznamu schopností, což bylo pravděpodobně spojeno s celosvětovou pandemií COVID -19. V roce 2021 tento pokles pokračoval, ale s menším trendem takřka o 2/3.

Po vyřazení, neopravovaných dílů, během posledních 7 let, ze seznamu schopností výkonnostní efektivita se zvýšila o cca 10 % v každém analyzovaném roce. To znamená, že přibližně půlka obsahu opraveného seznamu schopností se opravovala.

Seznam schopností bez dílů, které nebyly opravovány za posledních 5 let, měl téměř stejné hodnoty výkonnostní efektivita jako opravený seznam opravovaných dílů za posledních 7 let. Z toho plyne, že pro dosažení vyšší výkonnostní efektivita stačí vyřadit pouze 30 % dílů ze seznamu schopností, které nebyly opravovány v delším časovém intervalu (7 let). Změny v kratším časovém intervalu (2 roky) nemají tak velký vliv na výkonnostní efektivitu a mohou být ignorovány. V tomto případě je doporučeno sledovat podobné změny z dlouhodobého hlediska.

Celkem se dá říci, že výkonnostní efektivita je závislá na situaci v letecké dopravě a dopad na objem oprav má přímý vliv na rozsah opravovaných PN ze seznamu schopností. Je také potřeba zmínit, že výkonnostní efektivita seznamu schopností zaleží i na dalších faktorech, jako jsou např. typy letadel, které provozují zákazníci. Dle obrázku 26, přibližně 25 % ze všech dílů ze seznamu schopností, u kterých je definován typ letadla, jsou určeny pro letadla ATR, 20 % - pro letadla BOEING a přes 30 % - pro letadla AIRBUS.



Obr. 26: Procentuální zastoupení dílů za seznamu schopností dle typů letadel (vlastní zpracování)



Důležité je, že více než 25 % dílů z vybraného seznamu schopností nebylo opravováno v průběhu posledních 7 let. Proto by bylo dobré provést důkladnou analýzu tohoto seznamu schopností z hlediska jeho obsahu a případně vyřadit ze seznamu schopností díly s menším potenciálem k provedení oprav.

Tím by došlo nejen ke zvýšení výkonnostní efektivity seznamu schopností, ale hlavně k úsporám, týkajícím se zachování schopností opravy těchto dílů a také zaostření pozornosti zákazníka na komponentech s větším potenciálem opravy.



5. Závěr

Tato diplomová práce je věnovaná návrhu, jak optimalizovat využití a plánování dílenských kapacit v údržbové společnosti na bázi interních dílen údržby letadlových celků společností Czech Airlines Technics. Jedná se o model, pomocí kterého lze predikovat zatížení a následně kvantitativně provádět plánování využití dostupných dílenských kapacit, případně řídit je optimálním způsobem.

Hlavním cílem vypracování této diplomové práce bylo navrhnout řešení tak, aby bylo možné provádět plánování na delší časový interval.

Vzhledem k tomu, že každá z dílen má individuální zatížení, bylo rozhodnuto vytvořit predikční model s více principy predikce. Tento krok umožňuje uživateli modelu vytvořit více predikcí a vybrat z výsledků nejvhodnější, resp. nejspolehlivější. Také model zůstane funkční i pokud dojde k výraznějším změnám spojeným s objemem oprav na vybraných dílnách, nebo nečekané situaci v letecké dopravě a tím i v opravách letadlových komponentů. Dá se říci, že výběr několika predikčních metod v rámci navrženého modelu, poskytuje modelu větší flexibilitu jeho použití v dlouhodobé perspektivě.

Finální model je schopen modelovat jak historické zatížení (z historických dat), tak i budoucí zatížení (pomocí predikce). Predikovat budoucí zatížení dílen je v rámci modelu možné pomocí 5 metod, založených na třech principech, popsanych v kapitole 2.1. Predikce se provádí na 6 měsíců pro dvě charakteristiky zatížení: počet oprav a množství času na opravy.

Navržený model úspěšně prošel validací, i přesto, že v některých případech jsou výsledky validace nedostačující. O těchto nedostačujících výsledcích je uživatel modelu informován. Celkové výsledky validace jsou uvedeny v kapitole 3.3 a následně diskutovány v kapitole 4.

Bez ohledu na to, že navržený model je funkční a má relativně dobré validační výsledky, existuje celá řada možností zlepšení a rozšíření navrženého modelu. Patří k tomu jak zlepšení spolehlivosti výsledků, tak i rozšíření modelu o další potřebné informace pro provoz, avšak řada těchto informací je navázaná na další systémy a data příslušné údržbové společnosti.



Pro zlepšení a rozšíření modelu je doporučeno napojit ho na interní software údržbové společností (případně jiné systémy společností) a rozvíjet model dále už dle potřeb konkrétního oddělení společnosti.

Napojením modelu na interní software údržbové společností se dá automatizovat stahování všech potřebných dat pro výpočty v rámci modelu a také získat více doplňkových dat. Tyto data se pak dají implementovat do různých částí modelu. I samotný model lze rozšířit např. o informace o zákaznících, aktuálních zásobách materiálu apod.

Kromě toho je možné do modelu přidat informace o zákaznících opravovaných dílů a jejich speciální požadavky na provedení oprav. V souvislosti se zákazníky, lze model rozšířit i o finanční analýzu a tím pádem predikovat finanční výsledky odhadovaných oprav.

Většinu těchto možností lze kombinovat mezi sebou a tím vytvořit multifunkcionální model, který by informoval uživatele nejen o zatížení, ale také o materiálovém zabezpečení, požadavcích na opravy, aktuálnosti technické dokumentaci, finančních výsledcích apod.

Současný stav modelu je zaměřen pouze na modelování zatížení dílen. Model je autonomní a z hlediska jeho struktury a funkce i univerzální a použitelný i pro jiná oddělení údržbové společností.

Vzhledem k tomu, že letecká doprava se nadále rozvíjí a její intenzita po COVID -19 znovu narůstá, lze očekávat i nárůst objemu oprav letadlových komponentů. Optimalizace využití a plánování dostupných dílenských kapacit umožňuje provedení většího množství oprav, snížení tlaku na personál a zvýšení efektivity dílen.

Kromě vypracování návrhu řešení problematiky využití kapacit, byla v rámci této diplomové práce analyzována výkonnostní efektivita seznamu schopností vybraných dílen. Jelikož seznam schopností má také určitý vliv na zatížení dílen, bylo potřeba ho prostudovat jako jeden z řídicích prvků zatížení. Jednou z možností bylo stanovit výkonnostní efektivitu, jako charakteristiku, která zohledňuje, jak je tento seznam schopností používán vůči reálným opravám.

V kapitolách 3.2. a 3.3. bylo uvedeno, jak se měnila výkonnostní efektivita seznamu schopností napříč 7 lety a také možné vztahy této charakteristiky seznamu schopností se změnami v letecké dopravě a v opravárenském provozu.



Kromě toho byly provedeny dvě změny obsahu původního seznamu schopností, výsledky těchto změn byly zmíněny v kapitole 3.2. Na základě těchto výsledků, lze doporučit vybraným dílnám zvážit možnost vyřazení neopravovaných dílů ze seznamu schopností. Také pomocí analýzy opravovaných dílů, lze definovat díly, které již nejsou aktuální na současně používaných letadlech. Takové díly by mohly být také vyřazeny nebo opravovány pouze na požadavek zákazníka. Z hlediska rozvoje seznamu schopností, je možné analyzovat poptávky po opravách komponentů z obchodního oddělení a určit díly, které jsou perspektivní a jejich zavedením do seznamu schopností rozšířit rozmanitost typů prováděných oprav, nebo typů letadel.

Celkem pomocí seznamu schopností a optimálnímu využití dílenských kapacit, je možné vytvořit komfortní a efektivní chod provozu dílen údržbové společnosti. Proto věřím, že výsledky této diplomové práce, obzvlášť navržený model bude přínosný a jeho použití pomůže optimalizovat využití kapacit dílen, jejichž data byla použita v rámci této diplomové práce. Také věřím, že model bude možné vylepšit a jeho spolehlivost zvýšit pro modelování ještě lepších výsledků.



Seznam použité literatury

1. **Harry A. Kinnison, Tariq Siddiqui.** *Aviation Maintenance Management.* New York : The McGraw Hill Companies, Inc., 2004. ISBN-10 0071805028.
2. **U.S. Department of Transportation.** *Aviation Maintenance Technician Handbook - General.* Washington : Federal Aviation Administration, 2018. ISBN-10 9878834352.
3. **Hessburg, Jack.** *Air Carrier MRO Handbook: Maintenance, Repair and Overhaul.* New York : The McGraw Hill Companies, Inc., 2021. ISBN-10 0071361332.
4. **European Aviation Safety Agency.** *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex II (PART-145) to Regulation (EU) No 1321/2014.* Cologne : EASA, 2015.
5. **European Aviation Safety Agency.** *Foreign Part-145 approvals - Aircraft maintenance.* Cologne : EASA, 2018.
6. **P. Gopalakrishnan, A.K.Banerji.** *Maintenance and spare parts management.* Delhi : PHI Learning Private Limited, 2013.
7. **Salih. O. Duffuaa, Hesham K. Alfares.** *Methods and Approaches for Maintenance Capacity Planning.* Dubai : autor neznámý, 2015.
8. **Duarte Dinis, Ana Barbosa-Póvoa.** *Aircraft Maintenance Capacity Planning: A Decision Support Framework.* Saarbrücken : autor neznámý, 2017.
9. **Czech Airlines Technics.** *Czech Airlines Technics.* [Online] [Citace: 30. 1 2022.] <https://www.csatechnics.com/cs/sluzby-2>.
10. **Christoph Bergmeir, Rob J Hyndman, Jose M Benítez.** *Bagging Exponential Smoothing Methods using STL Decomposition and Box-Cox Transformation.* Clayton : MONASH University, 2014.
11. **Ivan Svetunkov, Nikolaos Kourentzes, John Keith Ord.** *Complex exponential smoothing.* místo neznámé : Wiley, 2022.
12. **Ruckstuhl, Andreas.** *Introduction to Nonlinear Regression.* Zürich : ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2010.



13. **Rob J Hyndman, George Athanasopoulos.** *Forecasting: Principles and Practice, 2nd Edition.* Melbourne : Monash University, 2018. ISBN-10 0987507117.
14. **Hyndman, Rob J.** *Moving averages.* 2009.
15. **European Aviation Safety Agency.** *COMMISSION REGULATION (EU) No 748/2012.* Cologne : EASA, 2012.
16. **Federal Aviation Administration.** *Federal Aviation Administration.* [Online] 01. 02 2014. [Citace: 22. 11 2022.] <https://www.faa.gov/forms/index.cfm/go/document.information/documentid/186171>.
17. **Singapore, SPRING.** *A Guide to Productivity Measurement.* Singapore : SPRING Singapore, 2011. ISBN 9789814150279.
18. **Lewis, C.D.** *Industrial and Business Forecasting Methods.* London : Butterworths, 1982. ISBN-10 0408005599.
19. **Jorge Vargas Florez, Irineu de Brito Junior, Adriana Leiras, Sandro Alberto Paz Collado, Miguel Domingo González Alvarez, Carlos Alberto González-Calderón, Sebastian Villa Betancur, Michelle Rodriguez, Diana Ramirez-Rios.** *Production and Operations Management.* Lima : Springer, 2021. ISBN 9783031068614.
20. **Nicolas Reynolds, Márta Turcsányi-Szabó.** *Key Competencies in the Knowledge Society.* Brisbane : Springer, 2010. ISBN-10 3642153771.



Seznam příloh

Příloha A: Počet provedených oprav na ULC v období 01.01.2015 – 31.12.2022.....72

Příloha B: Počet vykázaných hodin na opravy na ULC v období 01.01.2015 – 31.12.2021...75



Přílohy

Příloha A: Počet provedených oprav na ULC v období 01.01.2015 – 31.12.2022

	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
leden 15	21	85	6	30	17	38
únor 15	27	115	8	40	18	42
březen 15	41	105	23	39	22	48
duben 15	39	151	13	30	32	76
květen 15	50	117	23	42	59	97
červen 15	39	120	12	43	69	92
červenec 15	12	91	9	34	84	82
srpen 15	15	82	18	38	62	35
září 15	15	66	23	39	66	59
říjen 15	24	85	17	35	69	109
listopad 15	13	65	32	26	46	35
prosinec 15	25	75	26	30	29	97
leden 16	10	71	22	44	41	37
únor 16	23	74	30	27	36	69
březen 16	26	112	27	30	47	40
duben 16	11	103	28	37	39	49
květen 16	23	88	20	29	55	36
červen 16	18	106	38	30	57	40
červenec 16	19	121	19	41	53	37
srpen 16	14	83	21	40	53	49
září 16	17	72	38	39	46	26
říjen 16	41	116	13	34	42	45
listopad 16	33	96	23	41	30	55
prosinec 16	25	85	23	36	39	37
leden 17	26	114	27	33	36	46
únor 17	23	68	20	42	23	39
březen 17	25	91	28	53	44	40
duben 17	19	70	16	42	39	40
květen 17	12	145	32	34	50	52
červen 17	20	121	29	56	55	40



červenec 17	18	65	21	39	48	50
srpen 17	22	83	22	45	69	58
září 17	23	153	8	41	56	50
říjen 17	27	167	23	38	47	65
listopad 17	35	104	30	36	37	177
prosinec 17	9	131	17	29	42	78
leden 18	31	149	25	31	38	164
únor 18	19	78	25	29	34	56
březen 18	20	108	23	47	41	162
duben 18	17	111	15	38	67	167
květen 18	13	80	27	54	77	237
červen 18	21	81	24	45	56	77
červenec 18	18	80	21	41	77	77
srpen 18	26	82	18	39	69	63
září 18	36	77	20	43	51	85
říjen 18	35	114	10	46	57	63
listopad 18	14	111	40	35	38	82
prosinec 18	18	87	17	32	38	75
leden 19	12	73	24	29	36	45
únor 19	29	81	20	26	23	41
březen 19	27	92	15	53	40	73
duben 19	17	85	33	37	37	29
květen 19	11	98	14	42	59	119
červen 19	23	87	9	41	49	159
červenec 19	8	95	7	52	96	57
srpen 19	12	134	21	44	88	82
září 19	13	243	15	68	82	56
říjen 19	8	180	22	61	92	64
listopad 19	10	180	9	41	43	41
prosinec 19	6	107	15	46	36	25
leden 20	2	163	17	44	33	26
únor 20	1	97	17	60	38	53
březen 20	8	60	20	48	25	40
duben 20	0	52	23	21	11	28



květen 20	0	40	10	30	13	26
červen 20	0	47	0	19	4	35
červenec 20	1	81	2	33	17	35
srpen 20	1	72	1	19	16	22
září 20	10	82	9	29	19	56
říjen 20	31	90	13	25	18	18
listopad 20	31	56	2	12	34	54
prosinec 20	42	52	5	22	14	59
leden 21	51	54	2	20	29	24
únor 21	27	45	0	29	21	16
březen 21	35	61	7	20	22	10
duben 21	15	66	4	27	25	9
květen 21	19	78	9	31	23	9
červen 21	24	38	1	12	11	28
červenec 21	28	38	3	5	40	35
srpen 21	16	81	9	12	36	10
září 21	48	42	7	8	63	14
říjen 21	27	68	13	25	39	10
listopad 21	27	60	4	14	42	31
prosinec 21	23	43	8	12	27	19



Příloha B: Počet vykázaných hodin na opravy na ULC v období 01.01.2015 – 31.12.2021

	ULC-AV	ULC-EL	ULC-NP	ULC-AG	ULC-KO	ULC-BR
leden 15	284	107	48	61	118	38
únor 15	506	178	57	62	134	91
březen 15	374	214	85	136	173	262
duben 15	664	150	125	138	242	82
květen 15	599	177	173	200	399	170
červen 15	465	216	184	77	500	63
červenec 15	491	116	228	20	641	103
srpen 15	339	242	92	26	476	186
září 15	295	210	139	46	503	164
říjen 15	520	137	125	50	493	172
listopad 15	391	103	101	26	336	260
prosinec 15	383	139	124	44	237	198
leden 16	447	157	82	18	299	207
únor 16	512	106	153	84	283	148
březen 16	523	188	53	44	361	314
duben 16	397	218	99	20	289	567
květen 16	400	129	64	54	395	269
červen 16	419	157	103	35	396	266
červenec 16	361	167	91	32	369	192
srpen 16	277	185	121	25	373	157
září 16	236	180	86	33	324	224
říjen 16	555	160	164	154	296	107
listopad 16	425	235	157	109	252	185
prosinec 16	356	186	91	71	287	138
leden 17	501	171	96	87	285	192
únor 17	389	176	73	69	157	214
březen 17	316	183	90	88	350	204
duben 17	329	135	70	38	297	149
květen 17	452	128	138	22	366	211
červen 17	451	233	77	51	392	186
červenec 17	234	174	166	29	327	127
srpen 17	365	224	131	36	429	167



září 17	449	172	154	43	373	111
říjen 17	427	187	212	67	296	242
listopad 17	416	166	160	66	238	285
prosinec 17	460	182	164	12	229	115
leden 18	559	173	193	120	225	243
únor 18	405	147	128	58	179	176
březen 18	740	190	288	36	310	149
duben 18	622	172	227	55	453	131
květen 18	424	311	323	30	545	239
červen 18	463	254	226	45	342	207
červenec 18	406	262	219	32	442	196
srpen 18	526	237	209	56	410	183
září 18	367	224	171	77	324	121
říjen 18	642	281	222	102	394	146
listopad 18	514	227	160	72	240	276
prosinec 18	452	178	195	43	249	167
leden 19	426	120	122	30	196	236
únor 19	535	155	89	62	170	176
březen 19	665	311	167	74	257	147
duben 19	491	253	74	40	260	216
květen 19	527	219	157	38	323	167
červen 19	524	231	214	59	318	126
červenec 19	828	248	173	22	626	98
srpen 19	1270	190	197	29	587	169
září 19	1779	305	133	29	557	144
říjen 19	1688	334	126	18	603	135
listopad 19	1526	228	206	21	268	103
prosinec 19	905	207	166	14	349	181
leden 20	1339	223	143	5	221	195
únor 20	724	237	136	3	214	156
březen 20	319	211	218	19	152	135
duben 20	308	183	179	0	67	223
květen 20	250	110	113	0	63	53
červen 20	267	108	236	0	58	0



červenec 20	658	183	170	10	101	33
srpen 20	662	82	170	2	127	8
září 20	534	139	160	39	147	82
říjen 20	703	84	64	133	63	63
listopad 20	411	35	94	117	259	33
prosinec 20	325	74	132	164	178	5
leden 21	346	69	78	200	147	13
únor 21	269	124	79	124	152	0
březen 21	304	75	56	146	146	61
duben 21	489	120	49	59	158	58
květen 21	358	115	55	83	158	186
červen 21	247	49	133	101	56	9
červenec 21	162	21	120	116	225	29
srpen 21	325	33	49	57	286	150
září 21	256	41	53	199	440	85
říjen 21	373	120	59	125	248	109
listopad 21	293	68	98	120	202	23
prosinec 21	293	52	70	95	116	62