



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Jiří Volt

**OPTIMALIZACE POČTU A ROZMÍSTĚNÍ
ODBAVOVACÍ TECHNIKY NA LETIŠTI VÁCLAVA
HAVLA**

Bakalářská práce

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621**Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jiří Volt

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Optimalizace počtu a rozmístění odbavovací
techniky na Letišti Václava Havla**

Název tématu (anglicky): Number and Positioning Optimization of the Ground
Equipment at Prague Airport

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cíl práce: Navrhnout vhodnější rozmístění a efektivnější využívání techniky pro technický handling na Letišti Václava Havla v Praze
- Současný stav a umístění techniky pro technický handling na Letišti Václava Havla
- Kritéria a vstupní parametry pro výpočet počtu a rozmístění techniky na letišti
- Výpočet počtu jednotlivých druhů techniky potřebných pro plynulý provoz Letiště Václava Havla
- Návrh vhodnějšího rozmístění techniky na letištní ploše
- Dopady navržených změn na Letiště Václava Havla a handlingové agentury



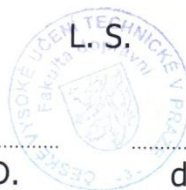
- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Kulčák L.: Provozní aspekty letišť, vydavatelství ČVUT
Horonjeff, R. et al. Planning & Design of Airports, Fifth Edition
Ground operations manual

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**
Ing. Slobodan Stojić

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**
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



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jiří Volt
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2019

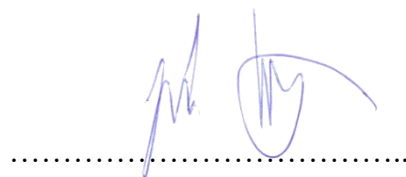
Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 10. srpna 2020



podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli během psaní této práce, ať už poskytnutím podkladů nebo cennými radami, které jsem během psaní využil. Zvláštní poděkování patří vedoucím mé práce Ing. Slobodanu Stojícovi, Ph.D. a doc. Ing. Dušanu Teichmannovi Ph.D. za odborné vedení a konzultace, které mi poskytli. V neposlední řadě bych také rád poděkoval mé rodině za morální a materiální podporu během celého studia.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

OPTIMALIZACE POČTU A ROZMÍSTĚNÍ ODBAVOVACÍ
TECHNIKY NA LETIŠTI VÁCLAVA HAVLA

Bakalářská práce

srpen 2020

Jiří Volt

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je optimalizovat počet techniky pro technické odbavení na Letišti Václava Havla v Praze a navrhnout místa vhodná k jejímu uskladnění v době její nečinnosti. Tím by mělo dojít k zefektivnění procesu odbavení letadel na ploše. Jsou zde popsány vstupní údaje a kritéria nutná k provedení optimalizace. V druhé části práce byl vytvořen software, který umožňuje provést výpočet počtu potřebné techniky a vypočítat potřebnou skladovací kapacitu. Předpokladem pro fungování navrženého systému je možnost sdílení techniky mezi všemi poskytovateli odbavení na letišti. Dále je v práci shrnut dopad navrženého systému na Letiště Václava Havla a handlingové agentury na něm působící.

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is to optimize the number of equipment for aircraft ground handling at Václav Havel Airport Prague and suggest places suitable for its storage during its inactivity. This should improve the process of aircraft handling on the apron. The input data and criteria necessary to perform the optimization are described in the thesis. In the second part of the thesis the software was created. It was used to calculate the number of necessary ground equipment and the required storage capacity. The conditions for the proper function of the proposed system are the mutual sharing of the equipment between all handling providers at the airport. In addition, the work summarizes the impact of the proposed system on Václav Havel Airport and the handling providers, which operate there.

KLÍČOVÁ SLOVA

Technika pro odbavení, odbavení letadel, Letiště Václava Havla v Praze, handlingové agentury, skladování techniky, sdílení techniky

KEYWORDS

Ground handling equipment, aircraft handling, Václav Havel Airport Prague, handling providers, vehicle storage, ground equipment sharing

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Popis technického odbavení letadel na letišti	11
2.1 Technický handling.....	11
2.2 Technika pro odbavení.....	12
2.3 Handlingové agentury	13
3. Současná situace na Letišti Václava Havla.....	15
3.1 Letištní infrastruktura.....	15
3.2 Handlingové agentury na Letišti Václava Havla	15
3.3 Zjištěné nedostatky v oblasti nakládání s technikou pro odbavení.....	16
3.4 Návrh řešení problému.....	16
4. Kritéria a vstupní parametry pro výpočet počtu a rozmístění techniky	17
4.1 Optimalizační kritérium	17
4.2 Vstupní parametry.....	17
4.2.1 Letový řád	17
4.2.2 Kategorie letadel	18
4.2.3 Časy a počty techniky potřebné k vyložení a naložení zavazadel	19
4.2.4 Velikosti stojánek.....	22
4.2.5 Přidělení stojánky po příletu	23
4.2.6 Mapa letiště	23
4.2.7 Velikosti jednotlivých druhů techniky	24
4.2.8. Rozmístění a kapacita skladů.....	26
5. Návrh skladování techniky.....	27
5.1 Určení polohy skladů	27
5.2 Určení kapacity skladů.....	28
5.2.1 Velikost skladů.....	28
6. Výpočetní program	31
6.1 Programovací jazyk Java	31
6.2 Vstupní data	31
6.2.1 Letový řád	32
6.2.2 Stojánky	32
6.2.3 Zavřené stojánky.....	32

6.2.4 Sklady	32
6.2.5 Graf letiště	33
6.3 Výpočet vzdáleností	33
6.3.1 Floydův algoritmus.....	34
6.4 Výpočet počtu techniky	34
6.4.1 Přílet letadla.....	35
6.4.2 Algoritmus pro přidělování stojánek:	35
6.4.3 Přidělování techniky	36
6.4.4 Přidělování skladů	39
6.4.5 Hlídaní a ubírání časů	40
6.5 Ukládání výsledků	41
6.5.1 Počet techniky	42
6.5.2 Obsazenost letiště	42
6.5.3 Obsazenosti skladů	42
6.6 Kvalita a přesnost výpočtu	42
6.6.1 Postup programu.....	43
6.6.2 Optimální řešení	43
7. Výsledky výpočtu.....	44
7.1 Počet potřebné techniky.....	45
7.2 Uskladnění techniky	47
7.3 Posouzení validity vypočtených dat	49
8. Dopad navržených změn na letiště a handlingové agentury.....	50
8.1 Nové sklady pro uskladnění techniky.....	50
8.2 Technika pro odbavení letadel.....	50
9. Závěr.....	52
Použité zdroje	54
Seznam obrázků.....	57
Seznam tabulek.....	57
Seznam příloh.....	58

Seznam použitých zkratek:

GPU	Ground power unit	pozemní zdroj energie
GH	Ground handling	pozemní odbavení
ULD	Unit Load Device	standardizovaný přepravní kontejner
LKPR	Václav Havel Airport Prague	Letiště Václava Havla v Praze
TRT	Turnaround time	průletový čas
GPS	Global Positioning System	globální poziční systém
RFID	Radio-Frequency Identification	radiofrekvenční identifikace
RWY	Runway	přistávací dráha

1. Úvod

Odbavení letadla před odletem je nedílnou součástí každého obchodního letu. V dnešní době jsou kladeny na odbavení stále větší a větší nároky, a to jak z hlediska bezpečnosti, tak zejména rychlosti a efektivity. Tím se handlingové agentury dostávají stále pod větší tlak, aby byly schopné vyhovět všem požadavkům leteckých dopravců. Dostatek techniky potřebné k provedení odbavení je základ, bez kterého lze jen stěží těmto požadavkům vyhovět.

Letiště Václava Havla v Praze, jakožto největší letiště v České republice, není výjimkou. V současnosti zde působí na severních terminálech tři handlingové agentury. Každá z těchto agentur využívá svou vlastní techniku pro odbavení nebo si jí pronajímá od třetích stran. Odpovídá také za její uskladnění v době její nečinnosti a také za její údržbu. Letiště Václava Havla je letiště se sezonním provozem a intenzita provozu se mění jak v průběhu roku, tak během dne[1]. S tím úzce souvisí i počet techniky potřebné v konkrétní čas. Během zkoumání problému týkajícího se odbavení letadel bylo zjištěno, že počet techniky ve špičkových hodinách může být nedostatečný a mimo špičku přebytný. Může dojít i k situacím, kdy jedna handlingová agentura má techniky přbytek a jiná nedostatek. Tento stav může dále způsobit prodloužení délky odbavení, což může vést k následnému zpoždění odletu.

Dalším problémem je nedostatečné řešení způsobu skladování techniky. Ta je často umístěna nesystematicky po odbavovací ploše, kde může překážet provozu a být bezpečnostním rizikem pro letadla, která se po ploše pohybují.

Protože se v budoucnu očekává opět nárůst počtu odbavených cestujících, lze se domnívat, že tento problém bude stále aktuálnější[2]. Je tedy možné, že ke zpoždování letů důsledkem špatného handlingu tak bude docházet stále častěji. Cílem této práce je navrhnout vhodnější systém využívání a skladování techniky tak, aby nedocházelo ke zbytečným prostojům a jízdám po odbavovací ploše.

V první části této práce je popsán princip technického odbavení a současný stav na Letišti Václava Havla v Praze. Následně je navrženo možné řešení problému pomocí sdílení techniky. K tomu je ale potřeba znát její počet, který bez problému dokáže obsloužit všechny lety. Když totiž bude techniky nedostatek, nebudou včas obsloužena všechna letadla a bude docházet ke zpožděním. Když jí bude naopak přbytek, bude nutné pro ni zbytečně vytvořit větší skladovací prostory a zajistit údržbu většímu počtu této techniky, což nutně povede ke zvýšení variabilních nákladů, ať již pro letiště nebo i pro handlingové agentury.

V další části práce jsou popsána a shromážděna všechna potřebná vstupní data a jsou definována kritéria pro výpočet minimálního počtu a rozmístění techniky. Dále je zde navrženo možné rozmístění skladů sloužících k uskladnění techniky v době její nečinnosti. Za účelem výpočtu byl vytvořen program v programovacím jazyku Java, který ze vstupních dat dokáže vypočítat počet potřebné techniky během určitého období, například dne, a následným zobrazením vypočtených dat ukázat průběhy potřebných počtů techniky a obsazeností skladů během daného období. V závěrečné části je zařazeno posouzení validity vypočtených dat a zhodnocení dopad navržených změn na Letiště Václava Havla a handlingové agentury na něm působící.

2. Popis technického odbavení letadel na letišti

V letecké dopravě se lze setkat s pojmy technický a obchodní handling. Obojí je nedílnou součástí při odbavení letadla na zemi. Obchodní handling se zaměřuje na odbavení cestujících a jejich zavazadel, případně nákladu a pošty v budově terminálu. Patří sem ale i zasilání provozních zpráv a příprava dokumentace, která se následně posílá do destinace, leteckým dopravcům a dalším. Technický handling se týká samotného obslužení letadla na zemi a jeho přípravy na další let. V poslední době se již zejména v zahraničí používá jen souhrnný termín handling. Důvodem je fakt, že při mnoha činnostech, jako například odbavení a nakládání zavazadel, se činnost obchodního a technického handlingu prolíná. Navíc většina handlingových agentur nabízí služby technického i obchodního handlingu v rámci jednoho balíčku služeb.[3]

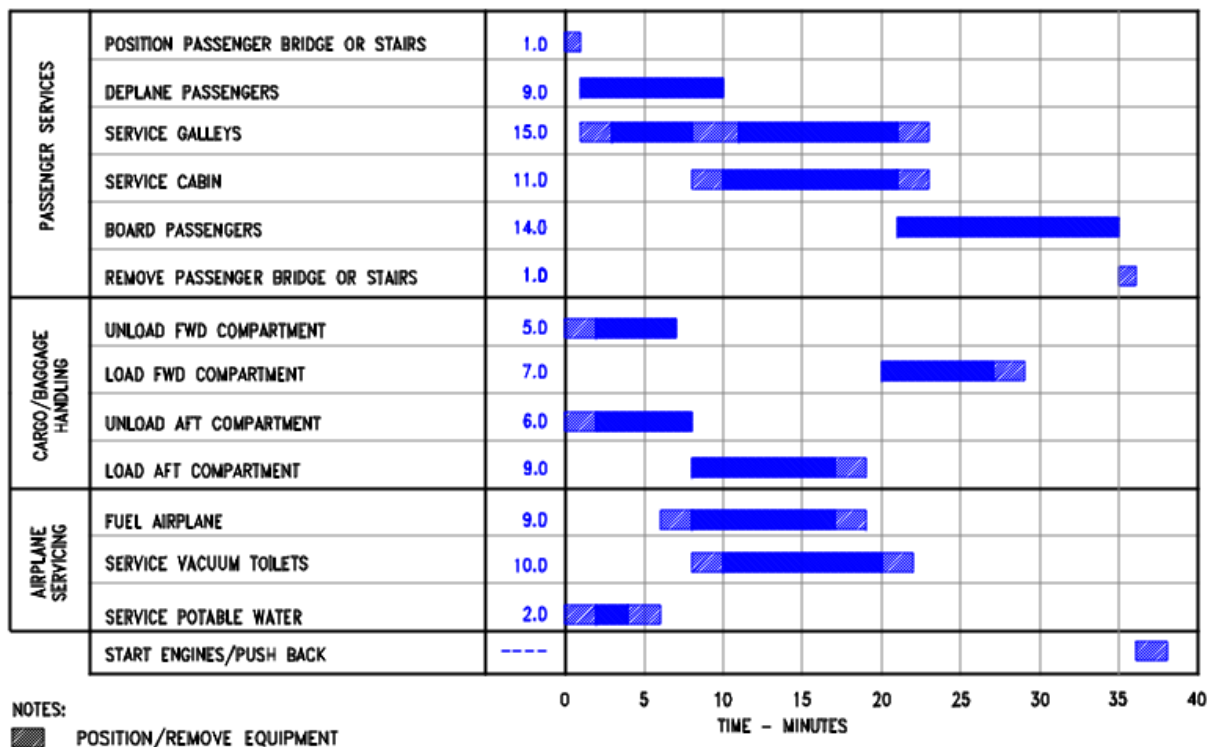
2.1 Technický handling

Jak již bylo řečeno, služby technického handlingu zajišťují odbavení letadla na stojánce během jeho pobytu na letištní ploše a připravují ho na další let. Pracovníci odbavení jsou připraveni na stojánce již před příjezdem letadla proto, aby zkontrolovali plochu stojánky a případně ji vyčistili od cizích předmětů a provozních tekutin, které by následně mohly poškodit letadlo. Dále techniku potřebnou pro odbavení daného letu. Ve chvíli, kdy letadlo zastaví na stojánce, zahajuje se proces jeho odbavení. Ten standardně zahrnuje založení kol, které zabrání samovolnému pohybu letadla po odbrzdění, vykládku a nakládku zavazadel a nákladu, výstup a nástup cestujících, úklid kabiny, doplnění pitné vody a cateringu, vypuštění odpadních vod a plnění letadla palivem. Proces končí odpojením GPU a následným vytlačáním, případně pak odmrazením na předem určených místech před vzletem. K těmto činnostem lze využít vlastní prostředky letadla nebo letištní prostředky, které mohou být buď zabudované, nebo mobilní. Příkladem je plnění letadel palivem, které může probíhat buď z cisteren přepravujících palivo po odbavovací ploše, nebo pomocí centrálního rozvodu paliva, který má na každé stojánce vývod pro plnění. Záleží jak na velikosti letiště a intenzitě provozu, tak na velikosti odbavovaného letadla.[4]

Mezi základní požadavky dopravců na handlingové agentury dnes patří především rychlost, spolehlivost a bezpečnost. Rychlost a spolehlivost odbavení je pro letecké dopravce klíčová, protože letadlo, které stojí na zemi, nevydělává. Požadavkem většiny leteckých dopravců, zejména těch nízkonákladových, je proto maximální zkrácení průletových časů. Proto

upouštějí na úkor kvality od některých služeb handlingu, jako úklid letadla. Jsou tím schopni zkrátit průletový čas například z 50 minut na 25 minut. To však klade větší nároky na handlingové agentury, které v případě nedodržení časů často musí platit penále dopravcům.[5]

Pro hladký průběh odbavení je důležitá koordinace všech jeho složek a včasná dostupnost dané techniky a pracovní síly potřebné k odbavení. Je tedy potřebné, aby letiště a handlingové agentury měly dostatek techniky, a aby byla efektivně rozmístěná a tím i lépe dostupná. Následující obrázek 1 ukazuje všechny standardní operace v průletovém čase pro letadlo Boeing 737-800. Ten je v tomto případě 40 minut.



Obrázek 1 - Harmonogram průletového času pro letadlo B737-800[6]

2.2 Technika pro odbavení

Pro odbavení letadla na stojánce se dnes používá několik druhů techniky. Použitá technika a její počet potřebný k odbavení závisí na velikosti a typu letadla a na způsobu uložení zavazadel a nákladu na palubě letadla. Náklad může být přepravován buď jako volně ložený v zavazadlovém prostoru a zajištěný sítěmi, případně přepážkami, nebo umístěný do standardizovaných kontejnerů, tzv. ULD nebo na paletách. Každý způsob ložení nákladu na palubě letadla má své výhody a nevýhody. Obecně lze konstatovat, že velká letadla určená na dálkové lety, jako například A330 nebo B777, mají náklad uložený v kontejnerech. V zadní

části těchto letadel se často nachází tzv. bulk, část pro volně ložená zavazadla. Menší letadla na kratší a střední tratě mají obvykle celý zavazadlový prostor uzpůsobený pro volně ložený náklad. V současnosti se ale lze setkat i s menšími letadly, zejména u společnosti Airbus, která do letadel řady A320 umožňuje umístění kontejnerů.

Mezi nejdůležitější a nejčastěji používané druhy techniky patří:

Nástupní schody - zajišťují nástup a výstup cestujících a personálu, ať už posádky, nebo pracovníků handlingu do/z letadla. Používají se tam, kde není možné přistavit nástupní most a u menších letadel. Přistavují se většinou jedny k předním a jedny k zadním nástupním dveřím. Menší letadla typu ATR obvykle využívají vlastní schody zabudované do konstrukce letadla.

Autobusy - slouží k přepravě osob ze stání do/z budovy terminálu, když není možné, aby se cestující pohybovali po ploše pěšky. Autobusy se nejčastěji používají v kombinaci s nástupními schody, ale existují i případy, kdy je potřeba přepravit cestující ze stání u nástupního mostu do jiného terminálu, k čemuž jsou autobusy vhodným prostředkem.

Pásový nakladač - slouží k vykládce a nakládce zavazadel, zboží a pošty z nákladového prostoru letadla do vozíků. Používá se výhradně pro manipulaci se zavazadly volně loženými v nákladovém prostoru.

Nůžkový nakladač – používá se pro nakládku a vykládku leteckých kontejnerů, palet a hmotnostně náročného zboží. Zvedá náklad z úrovně paletového vozíků do úrovně cargo dveří.

Klecový vozík – je určen k přepravě volně ložených zavazadel po letištní ploše, zejména mezi letadly a třídírnami. Klecové vozíky jsou spojovány do souprav, které jsou následně pomocí tahače schopné pohybu po ploše.

Paletový vozík - slouží k přepravě palet a leteckých kontejnerů po letištní ploše. Analogicky, jako klecové vozíky, jsou používány v soupravách tažených tahačem.

Mezi další typy vozidel používaných k odbavení letadel patří cisterny s palivem, cateringová vozidla, tahače sloužící k vytlačení letadla ze stojánky, mobilní GPU, fekální vozy či cisterny na pitnou vodu.

2.3 Handlingové agentury

Služby handlingu může na letišti v zásadě poskytovat provozovatel letiště, specializovaná handlingová agentura nebo samotný dopravce. Ten má zároveň právo provádět odbavení

svých letadel na letištích, kam létá. To ale v Evropě není příliš běžné. Důvodem je neekonomičnost a regulace. Dopravci se ekonomicky nevyplatí provozovat na každém letišti, na které létá, vlastní handling, proto si handlingové služby objednáva od místních poskytovatelů.

Podmínky pro provozování handlingu upravuje Zákon č. 49/1997 o civilním letectví. Ten kromě podmínek nutných pro udělení povolení tyto služby poskytovat dále hovoří o regulaci těchto služeb z důvodu zajištění bezpečnosti. Ta říká, že letiště, které odbaví ročně více než 3 miliony cestujících nebo více než 75 tisíc tun nákladu, může omezit počet poskytovatelů handlingu. Kvůli zajištění konkurenčního prostředí je ale minimální počet poskytovatelů 2, z nichž jeden může být provozovatelem letiště. Zákon dále řeší provozní přetížení, tedy případ, kdy není na letišti místo pro dalšího poskytovatele handlingu. To je jeden z důvodů, proč na letišti nemá každý dopravce svůj handling a vlastní techniku pro odbavení.[7]

3. Současná situace na Letišti Václava Havla

Letiště Václava Havla v Praze je největším letišťem v České republice. Nachází se na severozápadním okraji Prahy na území městské části Praha 6. V roce 2019 odbavilo 17,8 milionů cestujících, což je meziroční nárůst o 6%. Celoročně létá z Prahy 71 leteckých společností do 165 destinací. Do budoucna se počítá s narůstajícím počtem cestujících a objemem přepravy.[2]

3.1 Letištní infrastruktura

Na LKPR se nacházejí v severní části dva terminály sloužící k pravidelné osobní dopravě. Terminál 1 je určen pro lety mimo země schengenského prostoru a Terminál 2 je určen pro lety do zemí schengenského prostoru. Dále jsou zde terminály 3 a 4, které se nachází v jižní části letiště. Ty slouží pro soukromou leteckou dopravu a přijímání zahraničních delegací. Tato práce se zabývá řešením pouze odbavovací plochy sever.[8]

Každý terminál disponuje vlastními stojánkami s nástupními mosty, kde se mohou odbavovat letadla. Dále jsou zde odlehlá stání, na kterých parkují letadla, jejichž cestující a zavazadla jsou odbavováni na jednom s terminálů a pomocí autobusů jsou dopravováni k letadlům. Každý terminál navíc disponuje vlastní třídírnou zavazadel, ze které jsou zavazadla dopravována pomocí vozíků a tahačů k letadlům nebo v případě příletů do budov terminálů k výdeji.

Na odbavovací ploše nebo na jejím okraji se nyní nachází i několik míst sloužících pro uskladnění techniky. Obvykle se jedná o ohraničený prostor betonovým zábrany.

3.2 Handlingové agentury na Letišti Václava Havla

V současnosti působí na LKPR tři handlingové agentury, které odbavují pravidelné osobní linky. Jsou to Czech Airlines handling, Menzies Aviation a její dceřiná společnost Czech GH. Každá z těchto společností má smlouvu s některými dopravci létajícími do Prahy, přičemž největší podíl má dnes Menzies Aviation. Ta odbavuje lety nejfrekventovanějším dopravcům jako například Smartwings, ČSA nebo Ryanair.[8][9]

3.3 Zjištěné nedostatky v oblasti nakládání s technikou pro odbavení

Jak již bylo zčásti uvedeno v úvodu práce, v současnosti neexistuje žádný komplexní systém pro hospodaření s letištní technikou. Technika je často ve špatném technickém stavu a je jí zejména ve špičkových hodinách nedostatek. Každá handlingová společnost navíc disponuje určitým množstvím techniky, kterou sama obhospodařuje. Dochází tak k situacím, že jedna společnost má v daný čas přebytek techniky a jiná zase nedostatek.

Dalším problémem je skladování techniky v době její nečinnosti. Současné sklady mají malou kapacitu a nedokážou pojmout požadované množství techniky. Dochází tak k situacím, kdy musí být technika nesystematicky umístována na okraje odbavovacích ploch. To může být potencionálním bezpečnostním rizikem, například při špatném zabrzdění techniky může dojít k jejímu samovolnému pohybu po ploše.

3.4 Návrh řešení problému

Nejjednodušším řešením by bylo mít na letišti pouze jednu handlingovou agenturu. Ta by vlastnila veškerou techniku, kterou by provozovala a následně odpovídala i za její údržbu. Problém se sdílením a vlastnictvím by tak byl vyřešen. Takové řešení ale kvůli vytvoření konkurenčního prostředí v odvětví handlingových služeb neumožňuje zákon o civilním letectví.[7]

Jako přijatelnější se jeví možnost sdílení techniky pro odbavení letadel tak, aby byla efektivněji využívána a nedocházelo k již zmiňovaným disproporcím. Letištní techniku by vlastnil buď jeden subjekt, nebo by si ji handlingové agentury pronajímaly. V prvním případě by byl jejím vlastníkem provozovatel letiště nebo jedna handlingová agentura. Na začátku by se, samozřejmě, muselo vyřešit odkoupení techniky a případný nákup nové. Každá společnost by pak platila např. za ujeté kilometry nebo dobu, po kterou by techniku využívala. K tomu by bylo pravděpodobně potřeba implementovat vhodný systém ke sledování jako například sledování pomocí GPS nebo pomocí technologie RFID.

Za předpokladu sdílení techniky bude možné vypočítat počet potřebné techniky pro celé letiště a k ní i skladovací kapacitu. Klíčová je co nejpřesnější znalost vstupních dat, čemuž je věnována kapitola 4.

4. Kritéria a vstupní parametry pro výpočet počtu a rozmístění techniky

Předpokladem pro správný výpočet je stanovení optimalizačního kritéria a co nejpřesnější znalost vstupních parametrů.

4.1 Optimalizační kritérium

To lze chápat jako veličinu, jejíž hodnotu potřebujeme minimalizovat, případně maximalizovat nebo dosáhnout její požadované hodnoty. Při výpočtu počtu potřebné techniky je cílem minimalizovat její počet. V případě uskladňování techniky pak minimalizovat dojezdovou vzdálenost ke skladu, tedy i jízdní dobu, která je přímo úměrná vzdálenosti, protože výpočet uvažuje konstantní průměrnou rychlost pohybující se techniky po celé ploše.

Protože je velká část skladů navržena do již stávající infrastruktury, je hodnota kapacity skladů pevně dána, tudíž ji nelze navyšovat na základě vyšší poptávky po uskladnění.

4.2 Vstupní parametry

Vstupními parametry, se kterými je následně pracováno, jsou:

- Letový řád
- Kategorie letadel
- Časy a počty potřebné techniky k vyložení a naložení zavazadel
- Průletové časy
- Velikosti stojánek
- Konfigurace odbavovací plochy
- Velikosti jednotlivých druhů techniky
- Rozmístění a kapacita skladů
- Rychlost techniky pohybující se po ploše

4.2.1 Letový řád

Pro výpočet je důležité znát čas přiletu každého letadla. V ten se spouští proces jeho odbavení. Pro účel následujících výpočtů, kdy je uvažován maximalistický scénář, je

uvažováno, že každé letadlo, které na letišti přiletí, z něj také odletí ihned po provedení jeho odbavení. U každého letu je uveden kromě času přiletu i typ letadla a terminál, na kterém bude let odbavován.

Klíčový pro výpočet je vhodný výběr dne, protože je žádoucí navrhnout počet techniky na nejvytíženější období. Tím je zaručeno, že techniky bude dostatek i po zbytek roku. Jak již bylo dříve uvedeno, LKPR je letišti se sezonním provozem, kde největšího počtu odbavených letů dosahuje v době letních prázdnin, v roce 2019 konkrétně měsíci srpnu[1]. Proto byl zvolen modelový den 14. 8. 2019.

4.2.2 Kategorie letadel

Na letišti Václava Havla létá denně velké množství letadel různých kapacit a velikostí. Navíc každé letadlo stejného typu může mít zcela jinou konfiguraci v závislosti na požadavcích konkrétních leteckých dopravců.

Pro potřeby výpočtu bylo vytvořeno 6 kategorií, do kterých jsou zařazena nejběžnější typy letadla, které na LKPR létají nebo lze očekávat jejich nasazení. Tabulka 1 ukazuje rozdělení letadel do těchto kategorií v závislosti na rozpětí, které odpovídá rozdělení podle předpisu L14. Pro potřeby výpočtu byly dále vytvořeny kategorie T a C-. Kategorie T je pro menší turbovrtulová letadla typu ATR, která nepoužívají k nakládání nakladače a na LKPR nezajíždějí k budovám terminálů. Do této kategorie bylo přiřazeno i letadlo Bomb. CRJ900, které svou přepravní kapacitou spíše odpovídá této kategorii. Kategorie C- je pro proudová letadla, která mají výrazně nižší kapacitu než letadla kategorie C a mají rozpětí do 29 metrů, což je hraniční hodnota některých stání na LKPR, kam mohou na rozdíl od kategorie C zajíždět. Velikostmi stání se zabývá kapitola 4.2.4.

kategorie	zástupci letadel
T	ATR 72, Bomb. D-8, Bomb. CRJ 900
C-	E175, E195
C	B737-700, B737-800, A319, A320, A321
D	B767-300
E	A350-300, A350-900, A350-1000, B777-200, B777-300ER, B787-9, B787-10
F	A380

Tabulka 1 - Rozdělení letadel do kategorií [10]

4.2.3 Časy a počty techniky potřebné k vyložení a naložení zavazadel

Pro každou výše definovanou kategorii je nutné znát časy nutné pro nakládku a vykládku letadla. Z nich pak lze vypočítat dobu, po kterou budou vozíky a nakladače potřebné u letadla k jeho odbavení. Pro účel výpočtu jsou uvažovány maximální kritické hodnoty. V reálném případě může dojít ke zkrácení těchto časů. Jsou to:

- TLv – čas vykládky letadla na stojance
- TLn – čas nakládky letadla na stojance
- TTv – čas vykládky zavazadel po příjezdu od letadla k výdeji
- TTn – čas nakládky zavazadel do vozíků ve třídírnách
- Tzn – čas začátku nakládky, jedná se o počet minut od okamžiku příletu.

Důležitý je čas příletu letadla, který vychází z letového řádu. Od toho se tyto časy počítají. Pro výpočet je uvažován jako čas příletu začátek vykládky, tedy až po zašpalkování letadla.

Po příletu začíná vykládka letadla následovaná nakládkou. Pro tu je důležité znát čas zahájení nakládky. Jedná se o časový údaj, v kolikáté minutě po příletu, tedy čase uvedeném v letovém řádu, začne nakládání letadla. Zejména u větších letadel s delšími TRT totiž nezačíná nakládka ihned po vyložení letadla.

U kategorií D, E a F, kde probíhá nakládka kontejnerového i volně loženého nakládku, se tyto časy liší pro každý z těchto typů nakládky.

Tabulka 2 obsahuje příklad výpočtu výše definovaných časů pro kategorii C. Pro velký rozsah tabulek jsou ostatní výpočty uvedeny v příloze 2. Způsob výpočtu je ale pro každou kategorii stejný. Časy TLn a TLv jsou získány jako aritmetický průměr časů všech uvažovaných letadel zaokrouhlený nahoru. Hodnoty vycházejí z veřejných dat od výrobců letadel, kteří je uvádí ve svých *Airplane Characteristics for Airport Planning*. [6][11][12][13][14][15][16][17][18][19][20][21][22]

Společnost Boeing nemá ve svých manuálech uveden pevně stanovený čas ani jiná data týkající se nakládky a vykládky bulku – menšího nákladového prostoru, který se nachází v zadní části jinak kontejnerových letadel. Je tam uvedeno pouze časové okno k tomu určené, jehož délka téměř odpovídá celému TRT. Proto byly tyto hodnoty vypočítány pomocí dat, které uvádí společnost Airbus. Ta pracuje hodnotami 110 kg/min pro vykládku a 95 kg/min pro nakládku. Vydělením kapacity bulku těmito hodnotami se tak získají časy potřebné pro nakládku a vykládku bulku. [16]

Čas TTn vychází z předpokladu, že odbavení standardně začíná 2 hodiny, tedy 120 minut před plánovaným odletem. V tu dobu už musí být vozíky přistavené ke karuselům ve třídárnách, kde jsou nakládány[23]. Od tohoto času se odečte doba, během které dojde k odbavení prvních cestujících u přepážky a jejich zavazadla jsou zkontrolována a vytříděna k příslušnému letu. To může trvat přibližně 10 minut. Od tohoto času se dále odečte čas, kdy už jsou vozíky u letadla při nakládce. Platí tedy vztah:

$$TTn = 120 - 10 - TLn$$

Hodnota TLn je nastavena na nejkritičtější scénář. V reálné situaci může dojít ke zkrácení tohoto času. To závisí na množství odbavovaných zavazadel. Čas TTv , tedy vykládka zavazadel z vozíků na dopravníkový pás, který vede k výdejovým karuselům, je uvažován stejný jako čas vykládky zavazadel z letadla do vozíků, protože se jedná o velmi podobnou činnost. Platí vztah:

$$TTv = TLv$$

Typ letadla	počet cestujících	hmotnost 1 zavazadla (kg)	hmotnost zavazadel (kg)	počet pás. nakladačů	počet klec. vozíků	TLv (min)	TLn (min)	TTv (min)	TTn (min)	Tzn (min)
B737-700	149	15	2235	2	4	11	13	11	97	11
B737-800	189	15	2835	2	5	12	14	12	96	12
A319	156	15	2340	2	4	11	12	11	98	19
A320	186	15	2790	2	4	11	12	11	98	23
A321	236	15	3540	2	6	13	13	13	97	28
Průměry	184	15	2748	2	5	12	13	12	98	19

Tabulka 2 - Výpočet průměrných hodnot pro kategorii C [6]

Hodnoty celkových hmotností v tabulce 2 vycházejí ze součinu hmotnosti jednoho zavazadla a počtu cestujících. Uvažuje se vždy plně obsazené letadlo a kapacita klecového vozíku 700 kg. Hmotnost jednoho zapsaného zavazadla byla získána z průzkumu společnosti EASA, která zkoumala průměrnou hmotnost zavazadel cestujících v letadlech s kapacitou min. 20 osob. Pro kratší lety, například v rámci EU, je to 13 kg a pro delší 15 kg [24]. Pro kategorii letadel T a C-, kde se nepředpokládá nasazení na delší let, bylo uvažováno s hodnotou 13 kg a pro ostatní větší kategorie C-F s hodnotou 15 kg. V případě kontejnerového nákladu odpovídá počet potřebných paletových vozíků maximálnímu počtu kontejnerů LD3, které letadlo přepraví. Druhou možností je uvažovat jen poloviční naložení ULD kontejnery do letadel kategorií D-F. Zbytek nákladového prostoru by byl naložen paletami, k jejich přepravě se ale nevyužívají ani klecové vozíky ani paletové vozíky. Analogicky bude tedy snížen počet

potřebných paletových vozíků na polovinu pro nakládku i pro vykládku. Výpočet bude proveden pro obě metody a výsledky budou následně porovnány.

Protože některé letouny v kategorii C mohou být nakládány i kontejnerově, výpočet obsahuje koeficient, který tento počet odhaduje. Koeficient byl vypočten ze špičkové části dne v čase mezi 7:30 a 9:30. Podle letového řádu je v těchto časech přibližně každé šesté letadlo kategorie C nakládáno ULD kontejnery. Kapacita letadla kategorie C v případě kontejnerového naložení je 7 LD3 kontejnerů.[13]

Na základě celkové hmotnosti nebo počtu kontejnerů je vypočítán počet potřebných vozíků, jak ukazuje tabulka 2. Ten je stejný pro vozíky na přílet i na odlet. Vozíky jsou následně uspořádány do souprav tažených tahačem, ve kterých se pohybují po letišti. Délka souprav je vypočítaná pomocí společných dělitelů všech hodnot potřebných vozíků. Tedy, aby bylo možné z kombinace dvou různých délek souprav vždy složit celkové číslo potřebných vozíků. Na základě tohoto výpočtu vyšly stejné hodnoty pro paletové i klecové vozíky. Kratší souprava tahače a 2 vozíků a delší souprava tahače a 5 vozíků. Počty potřebných souprav pro jednotlivé kategorie ukazuje tabulka 3. Tyto délky souprav jsou pro zjednodušení po celý den pevně dané a nemohou se dělit nebo spojovat.

kategorie	klecové		paletové	
	krátká	dlouhá	krátká	dlouhá
T	1	0	0	0
C-	1	0	0	0
C	0	1	0	0
D	1	0	6	0
E	1	0	6	4
F	1	0	6	3

Tabulka 3 - Počty souprav vozíků potřebné pro nakládku a vykládku

V případě nakladačů stačí opět vyjít z dat od výrobců, kteří navrhují počet potřebných nakladačů. Kromě kategorie T, kde není potřeba žádný nakladač, se zpravidla používají 2 nakladače, jeden se přistavuje k přednímu a druhý k zadnímu nákladovému prostoru. U velkých letadel jsou 2 nůžkové nakladače doplněné jedním pásovým, kterým je nakládán menší bulk. Kapacita bulku je různá pro každé letadlo. Navíc některé společnosti, jako například Lufthansa používají tento prostor jen výjimečně a pouze pro malé množství zavazadel [25]. Společnost Airbus uvádí ve svých Airplane Characteristics for Airport

Planning naložení bulku 1000 kg při standardních letech. Tato hodnota tak bude použita pro všechna letadla, která jsou tímto prostorem vybavena.

Všechna výše uvedená vstupní data shrnuje pro každou kategorii tabulka 4. Prázdná pole znamenají, že se v dané kategorii tento způsob uložení nákladu nevyskytuje.

kategorie	nakládka ULD							nakládka volně loženého nákladu do bulku							
	počet palet. vozíků	počet nůžk. nakladač	TLv (min)	TLn (min)	TTv (min)	TTn (min)	Tzn (min)	kapacita bulku (kg)	počet pás. nakladač	počet klec. vozíků	TLv (min)	TLn (min)	TTv (min)	TTn (min)	Tzn (min)
T									0	2	11	13	11	97	11
C-									2	2	10	12	10	98	10
C									2	5	12	13	12	98	19
D	30	2	21	21	21	89	21	1000	1	2	14	16	14	94	14
E	38	2	26	28	26	83	29	1000	1	2	14	16	14	94	28
F	36	2	29	33	29	77	54	1000	1	2	23	16	23	94	72

Tabulka 4 – Vypočítané manipulační časy pro jednotlivé kategorie letadel

Celkové časy, po které je pak technika potřebná k odbavení jednoho letadla, se spočtou následovně:

$$t_{nakladače} = T_c + Tzn + TLn,$$

kde T_c je doba na jízdu nakladače z jiné stojánky nebo skladu k místu výkonu práce.

$$t_{vozíkNaVykládku} = T_{c1} + TLv + T_{c2} + TTv,$$

kde T_{c1} je doba jízdy vozíků na stojánku, kde probíhá vykládka a T_{c2} doba jízdy ze stojánky do třídirny.

$$t_{vozíkNaNakládku} = T_{c1} + TTn + T_{c2} + TLn,$$

kde T_{c1} je doba jízdy vozíků do třídirny a T_{c2} doba jízdy ze třídirny na stojánku, kde probíhá nakládka letadla.

Časy vycházejí ze vzdáleností získaných z mapy, resp. z distanční matice, jejíž výpočet je popsán v kapitole 6.3. Průměrná rychlost na letištních komunikacích mimo stání je pro tento výpočet uvažována 20 km/h.

4.2.4 Velikosti stojánek

Na LKPR se lze setkat s několika velikostmi stojánek. Nejmenší stojánky mají maximální povolené rozpětí parkovaného letounu 29 metrů a největší 80 metrů [26]. Tak jako v případě kategorizace letadel, jsou i stojánky pro potřeby výpočtu rozděleny do stejných kategorií, aby

bylo možné v průběhu výpočtu párovat vhodné stojánky k letadlům v případě, že není k dispozici informace z letového řádu o přidělování stojánek v modelovaný den. Každá stojánka tak nese označení maximální kategorie letounu, který na ní může stát. Přehledně to ukazuje graf na obrázku 2 v kapitole 4.2.6.

4.2.5 Přidělení stojánky po přiletu

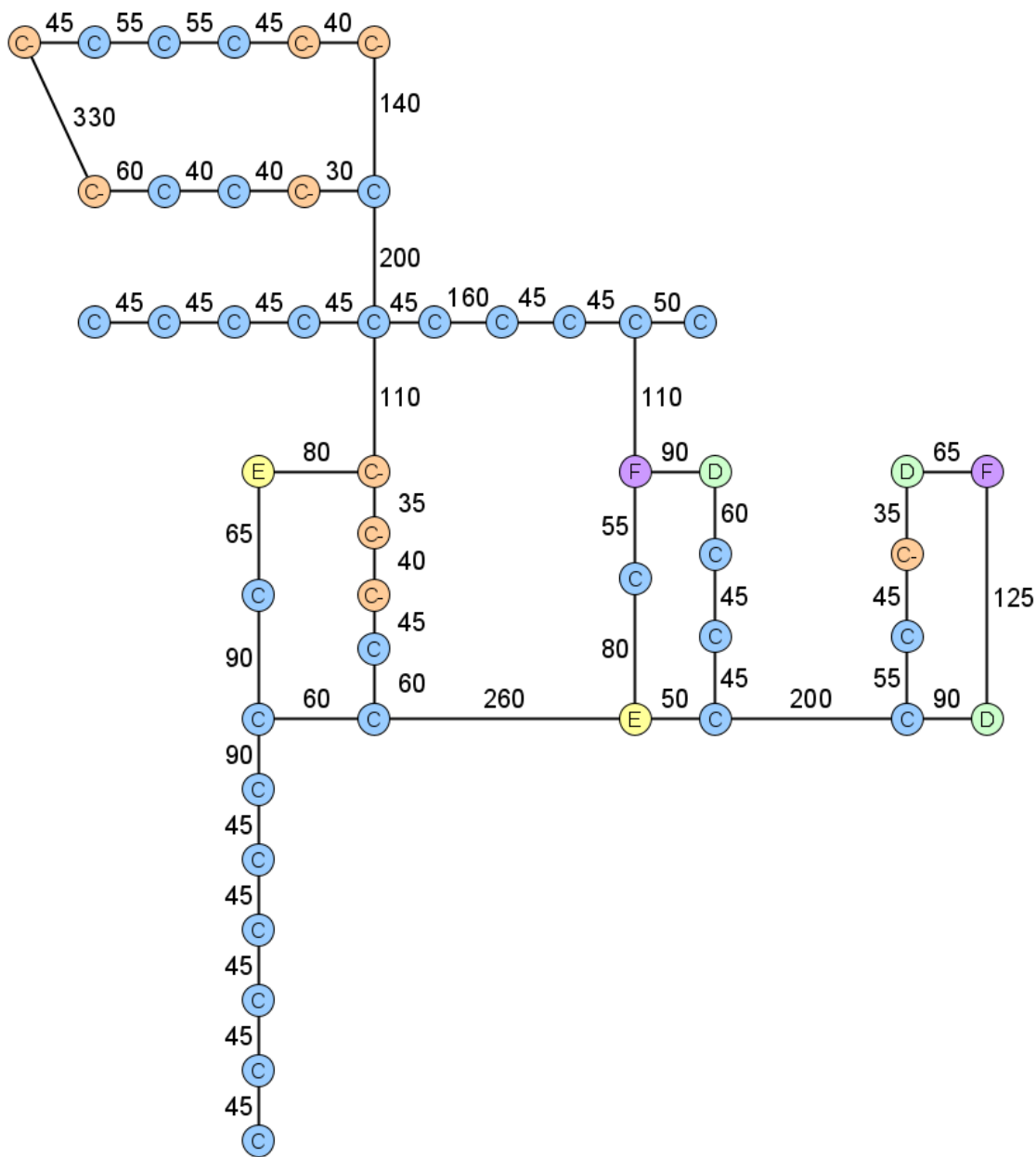
Zde je klíčový pojem faktor denní využitelnosti stojánky. Říká, kolik procent ze dne je stojánka obsazená. Cílem letiště je, aby se využitelnost stojánek co nejvíce přiblížila sta procentům. To v reálné situaci není možné, protože letadlo po ukončení odbavení musí ze stojánky odjet a další zase přijet. Na letištích, kde jsou stojánky přidělovány napříč leteckými dopravci, což je i případ LKPR, činí faktor využití mezi 60% a 80%. Na letištích, kde se určité stojánky přidělují výhradně konkrétním společnostem je využitelnost maximálně 60%. Pro výpočet je nejdůležitější právě nutná mezera mezi odjezdem a příjezdem letadla, která je uvažována v délce minimálně 15 minut.[27]

Samotné přidělování stojánek letadlům je složitý proces, který obsahuje několik vstupních parametrů. To ovšem není cílem této práce. Protože ale součástí výpočtu potřebných časů pro techniku jsou i cesty techniky po letišti, je nutné vědět, na jaké stojánce je dané letadlo odbavováno. Součástí letového řádu ze dne 14. 8. 2019 jsou i čísla stojánek přidělených letadlům během dne, která byla použita.

4.2.6 Mapa letiště

Pro výpočet je nutné znát vzdálenosti mezi jednotlivými místy na letišti. K tomuto účelu byly pomocí nástroje měření vzdálenosti na webovém portálu www.mapy.cz[28] zjištěny vzdálenosti mezi stojánkami, trídírnami a sklady s přesností na 10 metrů, která je pro výpočet dostačující.

Na základě těchto vzdáleností byl vytvořen souvislý, neorientovaný, hranově i vrcholově ohodnocený graf, jak ukazuje obrázek 2. Ohodnocení hrany vždy odpovídá vzdálenosti mezi stojánkami a ohodnocení stojánky její velikost.



Obrázek 2 - Graf reprezentující odbavovací plochu [zdroj: vlastní]

4.2.7 Velikosti jednotlivých druhů techniky

Každá technika má jiné rozměry a na letišti je více typů každého druhu, proto byl za účelem výpočtu velikosti techniky vytvořen model, tzv. bodový systém, který pro zjednodušení převádí rozměry techniky na body. Snahou je vytvořit co nejpřesnější odhad kapacit skladů.

Ze stránek výrobců techniky bylo ke každému druhu vyhledáno několik zástupců daného typu techniky[29][30][31][32][33] a každého z nich byla zjištěna délka a šířka. Z těchto hodnot byl

vypočten aritmetický průměr, který se následně zaokrouhlil nahoru na desetiny metrů, jak ukazuje pro klecové vozíky tabulka 5. Pro velký rozsah tabulek jsou výpočty pro ostatní druhy techniky uvedeny v příloze 3. Rozměry pásového nakladače byly vypočítány 6,9 m na délku a 2 m na šířku. Nůžkový nakladač má délku 6,6 m a šířku 3,6 m.

Klecové vozíky	délka [m]	šířka [m]
BAGGAGE CART/ WITH TARPAULIN	2,4	1,4
Baggage cart BW-01	4	1,4
Baggage cart BAT 2.4 BS/DS	3,4	1,4
Baggage cart TB-1.5R	2,5	1,3
Baggage cart BAT 2.4 BS2	2,4	1,4
Průměrná hodnota	2,94	1,38
ZAOKROUHLENÁ VÝSLEDNÁ HODNOTA	3	1,4

Tabulka 5- Výpočet průměrného rozměru klecového vozíku

V případě souprav vozíků a tahače, jejichž velikost byla spočtena v kapitole 4.2.3, se celková délka soupravy rovná součtu délek vozíků a tahače plus přičtení spojení mezi vozíky, která jsou uvažována 1 metr. Šířka se rovná nejširší části soupravy. Výpočet a výsledné hodnoty délek souprav ukazuje tabulka 6.

Výpočet délky souprav	tahač [m]	vozíky [m]	spojení [m]	CELKEM [m]
klecová 1+2	3	2 · 3	2 · 1	11
klecová 1+5	3	5 · 3	5 · 1	23
paletová 1+2	3	2 · 3,8	2 · 1	12,6
paletová 1+5	3	5 · 3,8	5 · 1	27

Tabulka 6 - Výpočet délek jednotlivých souprav vozíků

Na základě těchto získaných hodnot byl vytvořen rozměr jednoho bodu. Jeden bod je široký 3 metry a dlouhý 7 metrů. Délka se určí jako celé číslo, které je nejbližší nejmenšímu společnému násobku nejkratší a nejdelší parkované techniky. Nejkratší technikou je nůžkový nakladač, který má průměrnou délku 6,6 metru. Nejdelší technikou je souprava tahače s 5 paletovými vozíky s délkou 27 metru, té odpovídá bodová hodnota 4, tedy délka 28 metrů. U každé techniky vznikne rozdíl mezi vypočtenou délkou v metrech a délkou, která je sedminásobkem počtu bodů, kterými byla daná technika ohodnocena. Tato hodnota tvoří rezervu před a za parkovanou technikou, která zaručí, že technika nebude parkovat ve skladech příliš blízko sebe.

Šířka veškeré techniky je 1 bod, tedy 3 metry. Pouze nůžkový nakladač, který je podstatně širší než ostatní technika, je široký 2 body. V těchto hodnotách jsou již také zahrnuty rezervy

vedle parkované techniky. Protože se šířka techniky kromě zmíněného nůžkového nakladače pohybuje od 1,4 m do 2 m, jak ukazuje tabulka 7, je zaručeno, že mezi technikou a krajem skladu bude vždy mezera alespoň 50 cm. V případě, že stojí 2 vozidla vedle sebe, mají mezi sebou dvojnásobnou mezeru, tedy 1 metr. To umožní snazší zajíždění a vyjíždění ze skladu a snadný pohyb osob mezi vozidly.

4.2.8. Rozmístění a kapacita skladů

V současnosti neexistuje příliš mnoho prostor pro skladování techniky, je tedy třeba navrhnout nový systém skladování, který musí být vhodně zasazen do současné již vybudované infrastruktury letiště. V následující kapitole je popsán výběr vhodných míst a následný výpočet kapacit jednotlivých skladů

5. Návrh skladování techniky

V této kapitole je popsáno navržení nových prostor pro uskladnění techniky v době její nečinnosti. Následně bude vypočtena přibližná kapacita jednotlivých skladů. Do skladu bude technika odstavena, když není delší dobu využívána, pro účel následujícího výpočtu byla zvolena hodnota 30 minut. Na konci dne dojde k modelovému uskladnění veškeré techniky do skladů, čímž lze zároveň ověřit i dostatečnost navržené kapacity.

Při návrhu je nutné pamatovat na bezpečnost a dodržení všech předpisů. Nejdůležitějším je v této oblasti předpis L14 vycházející z Annex 14[34]. Protože sklad představuje z hlediska předpisu objekt, musí být zachovány všechny bezpečné vzdálenosti. Tyto vzdálenosti by se neměly porušit ani při zajíždění a vyjíždění techniky ze stání. Konkrétně tedy:

- vzdálenosti mezi letadlem vstupujícím nebo opouštějícím stání a objektem,
- vzdálenost objektu od osy pojezdové dráhy,
- vzdálenost objektu od osy pojezdového pruhu,
- vzdálenost od osy RWY, resp. nenarušení pásu RWY.

Dále je vhodné daný prostor ohraničit, alespoň v místech, kde technika nezajíždí nebo nevyjíždí do skladu. Například pomocí betonových svodidel, která lze jednoduše instalovat i případně odstranit. To eliminuje možnost samovolného pohybu techniky po ploše v případě nezabrzdní. V místech zajíždění a vyjíždění lze vytvořit zpomalovací práh, který taktéž může zamezit rozjíždějící se technice opustit oblast skladu.

5.1 Určení polohy skladů

Správné rozmístění skladů přispívá k zefektivnění používání techniky. Sklady musí být rozmístěny co nejrovnoměrěji po odbavovací ploše. Kdyby například byly všechny pouze na jedné straně odbavovací plochy, technika by musela absolvovat velkou vzdálenost, což by mohlo způsobit nežádoucí zdržení. Ostatní infrastruktura je dnes již vybudována, proto existuje poměrně malý počet míst, kam lze sklad umístit tak, aby byly dodrženy uvedené bezpečné vzdálenosti a nedošlo k narušení provozu.

Následující obrázek 3 ukazuje možná umístění skladů, celkem jich je vytvořeno 7. Sklady č. 2,5,6 a 7 jsou na místech, která dnes již slouží k uskladnění techniky. Sklady č. 1 a 4 jsou uvažovány na okrajích odbavovací plochy, kde je nyní travnatý prostor. Sklad č. 3 je umístěn

v místě současné stojánky č. 54, která by tímto umístěním byla zrušena. Níže jsou pak podrobněji popsány rozměry a kapacity skladů, včetně metodiky pro určení této kapacity.



Obrázek 3 - Mapa letiště s navrženým umístěním skladů, zdroj mapového podkladu[26]

5.2 Určení kapacity skladů

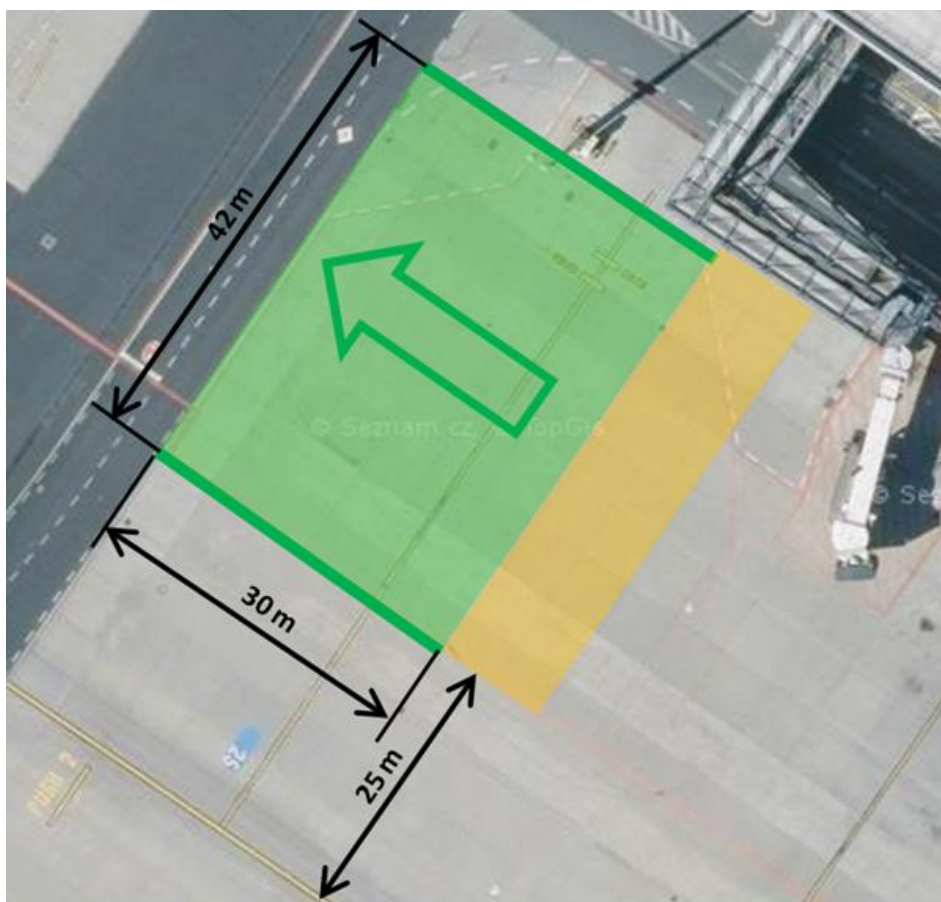
Pro následující výpočty je jedním z důležitých vstupních parametrů kapacita skladů.

5.2.1 Velikost skladů

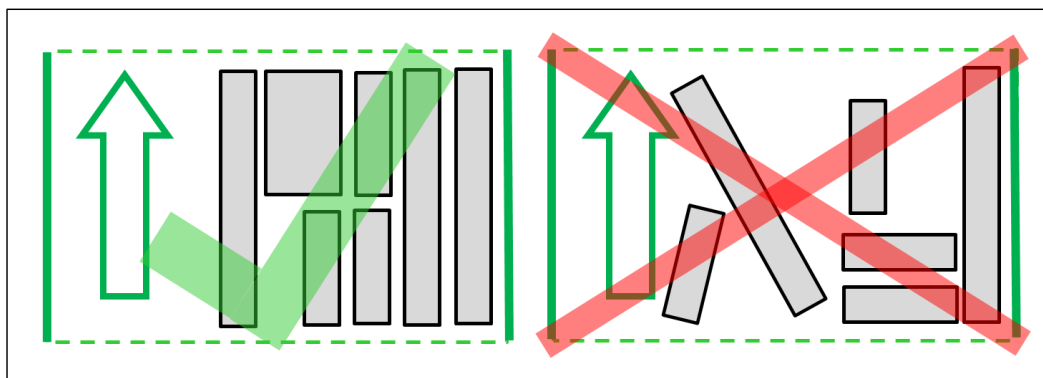
Tak jako v případě techniky byly vypočteny velikosti skladů a na základě toho převedeny na body. K vypočtení rozměrů byl využit webový portál www.mapy.cz[28] a jeho nástroj měření vzdálenosti. Nejedná se tedy o přesné měření a projektování skladů, ale o vypočtení přibližných rozměrů s přesností na metry.

Na základě mapových podkladů byla vytvořena schémata jednotlivých skladů, jak ilustruje obrázek 4. Schémata ostatních skladů jsou kvůli velkému počtu a větším rozměrům zobrazena v příloze 4.

Zelená plocha znázorňuje místo určené ke skladování. Na místě zelených čar je vhodné vybudovat již zmiňovaná betonová svodidla. Důležité je zachovat směr najíždění a vyjíždění techniky, který ukazuje šipka. Kdyby se například potkaly dvě soupravy tahači proti sobě v plném skladu, nemohly by vyjet ven, protože couvání je v tomto případě nemožné. Nutné je také zachovat šířku a hloubku skladu, která odpovídá šířce a délce techniky. Tedy, že je vše parkováno delší stranou ve směru šipky a ne naopak, jak ukazuje obrázek 5. Jen tím je zaručena deklarovaná kapacita skladu. Žlutá část představuje plochu určenou pouze pro najíždění techniky do skladu nebo ze skladu ven. Její šířka je vždy minimálně 6 metrů. Vyjíždí se pak na již existující komunikaci. Dále musí být zachován odstup od pojezdového pruhu, který je v tomto případě určen pouze pro letadla kategorie C a menší. Dle předpisu L14 je to minimálně 22,5 m.



Obrázek 4 - schéma skladu na rohu prstů C a D [28]



Obrázek 5 - Znárodnění správného způsobu parkování techniky ve skladech [zdroj: vlastní]

Následující tabulka 8 ukazuje vypočítanou kapacitu skladů. Čísla skladů odpovídají číslům uvedeným v mapě letiště na obrázku 3. Některé sklady jsou dále určeny pouze k uskladnění techniky pro nákladku volně loženého nákladu. Nachází se u odlehlých stání a zajištění techniky do této části, kde se nevyužívá, je nežádoucí. Pro výpočet kapacity platí vztah:

$$\text{počet bodů} = \frac{\text{šířka skladu}}{\text{šířka bodu}} \cdot \frac{\text{hloubka skladu}}{\text{délka bodu}}$$

Oba zlomky jsou během výpočtu zaokrouhleny dolů, násobí se tak dvě celá čísla. To zaručí, že se počet bodů na šířku i na výšku do skladu skutečně vejde. Když se bodová kapacita skladu rovná součtu bodů uskladněné techniky, je kapacita skladu plně využita.

číslo skladu	kapacita [body]	možnost uskladnění
1	264	vše
2	56	vše
3	80	volně ložený náklad
4	104	volně ložený náklad
5	20	vše
6	20	vše
7	28	vše

Tabulka 8 - Kapacity skladů

6. Výpočetní program

V této kapitole bude podrobně popsán program (příloha 1), který byl za účelem optimalizace počtu a rozmístění techniky vytvořen v programovacím jazyku Java. Jeho úkolem je, na základě vstupních parametrů popsaných v kapitole 4, vypočítat počty potřebné techniky pro technické odbavení, konkrétně nakladačů a vozíků a tuto techniku následně, v případě potřeby uskladnit do předem definovaných skladů.

6.1 Programovací jazyk Java

Program byl vytvořen v programovacím jazyce Java a vývojovém prostředí NetBeans. Jedná se o objektově orientovaný jazyk, což je velkou výhodou při realizaci tohoto výpočtu. Je zde snaha co nejvíce nasimulovat realitu pomocí vytváření objektů a interakcí mezi nimi. Zároveň se jedná o programovací jazyk využívající tzv. Virtual Machine. Tím spojuje výhody kompilovaného a interpretovaného jazyka. Výsledkem je pak stabilní, málo zranitelný a na vývoj jednoduchý jazyk, který navíc dokáže odhalit chyby ve zdrojovém kódu.[35]

Základní jednotkou je objekt, který odpovídá objektu reálného světa, v tomto případě například let, resp. turnaround nebo stojánka. Ten má svoje atributy, neboli vlastnosti, které jsou realizovány pomocí proměnných. V případě stojánky patří k atributům číslo, kategorie, obsazenost a terminál. Každý objekt má dále metody, tedy schopnosti a činnosti daného objektu, které může vykonávat. V případě stojánky je to například metoda na nastavení délky obsazenosti stojánky.

Program je deterministický, tedy dává při stejných vstupech vždy stejný výsledek.

6.2 Vstupní data

Jak již bylo řečeno v kapitole 4 pojednávající o vstupních parametrech, program potřebuje pro svůj výpočet vstupní data. Realizace vstupů je provedena buď pevným zabudováním dat do programu pomocí proměnných, nebo jsou data před zahájením samotného výpočtu načtena z textových souborů. To má za výhodu snazší změnu hodnot pro uživatele, protože stačí otevřít textový soubor uložený ve složce `Vstupy`. Mezi tyto vstupy patří letový řád, stojánky, zavřené stojánky a sklady.

6.2.1 Letový řád

Ten je uložen v souboru `LetovyRad`. Každý řádek obsahuje informaci o jednom letu ve formátu čas příletu,terminál,velikost,stožánka, vše bez mezer. Nespornou výhodou je, že můžeme tento soubor měnit, když zachováme syntaxi. Lze tedy jednoduše provést výpočet pro několik letových řádů bez nutnosti zásahu do zdrojového kódu programu.

Př: 8,1,3,5,
15,1,1,25,
33,2,4,8,
...

6.2.2 Stožánky

Ty jsou uloženy v souboru `Stožanky`. Každý řádek obsahuje informaci o čísle stožánky, které nejsou na LKPR v důsledku změn popořadí a některá čísla jsou vynechána, například stožánka č. 2 v současnosti neexistuje[26]. Čísla odpovídají číslům publikovaným v mapě pro stání a zajištění letadel v letecké informační příručce. Dále obsahuje velikosti stožánek, tedy stejné číslo, jako v případě velikostí letounů. Formát je číslo stožánky,velikost, vše bez mezer. V případě změny tak lze opět textový soubor jednoduše upravit.

6.2.3 Zavřené stožánky

Program umožňuje uzavřít stožánku na celý den, tedy neobsazovat ji žádnými letadly. Lze tím jednodušeji měnit parametry letiště, než vymazáním celé stožánky a úpravy matice přímých vzdáleností, která je popsána v kapitole 6.2.5. Stačí do souboru `zavreneStožanky` napsat číslo stožánky, v případě vícero stožánek je nutné uvést každé číslo na samostatný řádek bez čárek a mezer. Čísla odpovídají číslům uvedeným v souboru `Stožanky`. Příkladem využití může být vytvoření skladu na stožánce č. 54. Pak zde nebude možné parkovat letadla, proto se stožánka uzavře. Program to vyřeší nastavením času obsazenosti stožánky na začátku dne na celý den, tedy 1440 minut.

6.2.4 Sklady

Dalším vstupním údajem jsou informace o skladech. Ty jsou uloženy v souboru `Sklady`. Každý řádek obsahuje informaci o jednom skladu ve formátu kapacita,pozice,typ, vše bez mezer. Kapacita říká, kolik techniky se do skladu vejde. Každá technika má přidělenou bodovou velikost, kterou ve skladu zabírá. Pozice je číslo v matici přímých vzdáleností, která je dále popsána níže a typ říká, zda jde do skladu umístit technika pro odbavení volně

loženého nákladu nebo i kontejnerového nákladu, tedy nůžkové nakladače a paletové vozíky. Při změně dat je důležité, aby zadaná pozice vždy existovala v matici přímých vzdáleností, jinak to program vyhodnotí jako chybu.

6.2.5 Graf letiště

Graf vychází z mapy letiště, jak byla popsána v kapitole 2.4.6. Následně je v programu reprezentován v textovém souboru maticí $n \times n$ přímých vzdáleností, kde n je počet vrcholů, resp. stojánek. Jedná se o čtvercovou matici $C_o = (c_{ij})_{i,j=1}^n$, ve které pro neorientovaný graf platí [36]:

$$c_{ij}^0 = 0, \text{ jestliže } i = j$$

$$c_{ij}^0 = o(h), \text{ jestliže } \exists h \in X: p(h) = (v_i, v_j), i \neq j$$

$$c_{ij}^0 = \infty, \text{ jestliže } \nexists h \in X: p(h) = (v_i, v_j), i \neq j$$

Matrice je uložena v textovém souboru jménem `Matice` tak, že jednotlivé sloupce jsou odděleny čárkou včetně čísla na konci řádku a řádky odpovídají řádkům v souboru.

Př: 0,30,0,65,
 30,0,25,0,
 0,25,0,0,
 65,0,0,0,

Uživatel zadává na pozice, kde neexistuje hrana, nulu, protože nekonečno nelze dobře takto zadat. To ale neodpovídá definici ani dalším potřebám pro následující výpočet a program jí proto následně změní na nekonečno, přesněji maximální přípustnou hodnotu proměnné, v tomto případě `Integer.MAX_VALUE`. Na hlavní diagonále i nadále zůstanou nuly.

6.3 Výpočet vzdáleností

Po zahájení běhu programu jsou nejdříve načtena všechna vstupní data z textových souborů. Ta jsou následně uložena do generické kolekce. Generická kolekce je struktura, do které můžeme ukládat více objektů. Umožňuje jednoduché vkládání a mazání dat i snadné prohledávání. Každá kolekce obsahuje určitý objekt. Všechny stojánky jsou tak například uloženy v kolekci `stojanky`.

Poté je z matice přímých vzdáleností pomocí Floydova algoritmu vypočítána distanční matice.

6.3.1 Floydův algoritmus

Jedná se o algoritmus pro zjištění minimální cesty. Na rozdíl od Fordova nebo Dijkstrova algoritmu počítá délky minimálních cest (vzdálenosti) z každého vrcholu do každého rámcí jednoho výpočtu. Výhodou je, že stačí algoritmus provést jednou na začátku, a po ukončení výpočtu je k dispozici informace o vzdálenosti mezi kterýmikoli dvěma stojánkami a třídírny na letišti. Protože pro potřeby výpočtu stačí znát pouze vzdálenost, nikoli přesné směrování trasy (to je důležité až při vlastní organizaci pohybu techniky), můžeme vynechat rekonstrukční fázi algoritmu.

Na začátku je načtena matice přímých vzdáleností. V cyklu vytváříme posloupnost matic. Matice c_m vyjadřuje vzdálenosti všech uzlů s možností cesty přes m mezilehlých uzlů. V každém kroku zjišťujeme, zda lze zkrátit cestu z vrcholu i do j přes vrchol k , kde $k = 1 \dots n$. Provádíme následující přepočty[36]:

$$c_{ij}^{(k)} = \min\{c_{ij}^{(k-1)}, c_{ik}^{(k-1)} + c_{kj}^{(k-1)}\}, \text{ kde horní indexy určují, o kterou matici se jedná.}$$

Jestliže platí $k < n$, zvýší se hodnota k o jedna, a výpočet pokračuje, v opačném případě je aktuální matice distanční maticí. Tato matice je v programu uložena do dvojrozměrného pole, ke kterému lze později jednoduše přistupovat. Při hledání pak stačí zadat index počátečního a koncového vrcholu.

6.4 Výpočet počtu techniky

Když jsou všechna data načtena a uložena, začíná výpočet počtu techniky. Program simuluje den pomocí proměnné `cas`, která udává počet minut od začátku dne. Pracuje v cyklu a to tak, že každou minutu zkontroluje pomocí metody `uberVsem` jestli:

- nepřilétlo nové letadlo
- nemá začít nakládka nebo vykládka nějakého letadla
- nezměnila se doba do konce využívání nějaké techniky

Tento cyklus pokračuje až do konce dne, tedy 1440 minut. Lze simulovat i jiný časový úsek, stačí změnit hodnotu konečného času. Například, když je potřeba počítat i s přesahem do dalšího dne.

6.4.1 Přílet letadla

Když je identifikován přílet letadla, začíná proces jeho odbavení na ploše. Pro výpočet je uvažován čas příletu začátek vykládky, tedy až po zašpalkování letadla. Následují tyto

kroky:

- přidělení stojánky
- přidělení nakladačů (pásově/nůžkové)
- přidělení vozíků na přílet (klecové/paletové)
- přidělení vozíků na odlet (klecové/paletové)

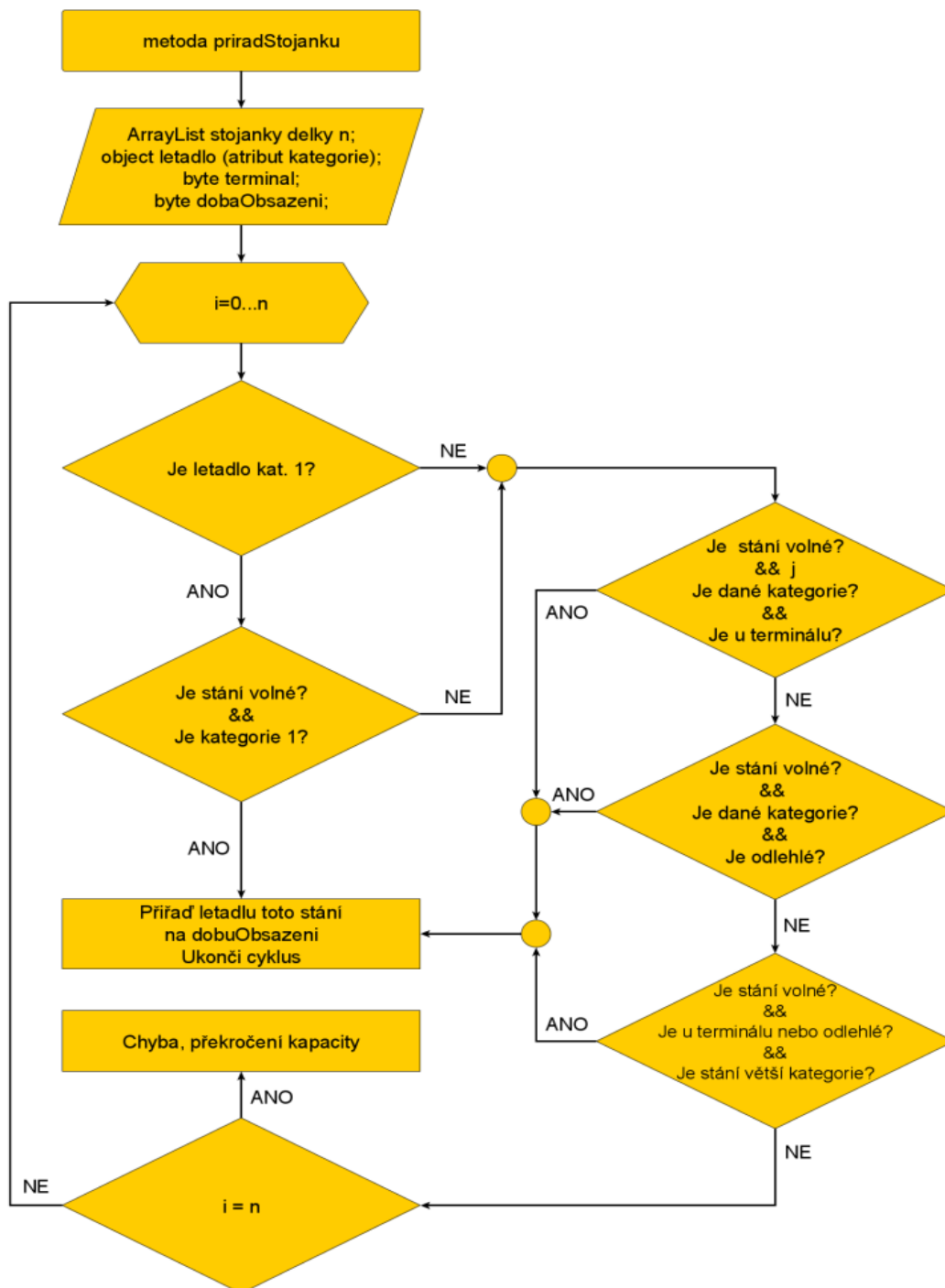
Při přidělování stojánky pro letadla se využívá vstupní informace o přilétajících letadlech, která je uložena v letovém řádu. V okamžiku příletu letadla je přidělení stojánky první věcí, která se uskuteční. V reálném provozu se tak děje dopředu, pro výpočet v práci stačí znát stojánku současně s příletem.

6.4.2 Algoritmus pro přidělování stojánek:

Tato metoda byla vytvořena za účelem přiřazení stojánky k letadlu v případě, kdy nejsou k dispozici data z minulosti o skutečném obsazování stojánek. Algoritmus může v budoucnu posloužit jako základ pro přesnější výpočty v oblasti přidělování stojánek.

Metoda s názvem `pridatStojanku` dostane na vstupu terminál, velikost letadla a dobu potřebnou pro odbavení. Dále jsou postupně testovány všechny stojánky na letišti, dokud není nalezena první volná splňující daná kritéria. Zavřené stojánky testovány nejsou. Bezpodmínečně musí být dodržen terminál, využití jiného terminálu není povoleno. Letadlům jsou primárně přiřazována stání u terminálu, a až v případě jejich zaplnění jsou umísťována na vzdálená stání č. 50 až 75. Výjimku tvoří letadla kategorie T, která jsou na LKPR z velké části turbovrtulové stroje, které nemohou stát u budovy terminálu. Ta jsou primárně odbavována právě na odlehlých stáních. V případě, že jsou všechna stání dané kategorie a terminálu na letišti plná, lze letadlu přiřadit i stání vyšší kategorie, opačně je to vyloučeno z důvodu nedostačující velikosti stání. Celý proces přidělení stojánky ukazuje schéma na obrázku 6.

V případě, že neexistuje žádná přípustná volná stojánka, program vypíše v daném čase chybu a musí dojít ruční k úpravě letového řádu. Cílem programu totiž není optimalizovat letový řád. Ten je brán jako neměnný vstupní údaj.



Obrázek 6 - Diagram algoritmu pro přidělení stojanky [zdroj: vlastní]

6.4.3 Přidělování techniky

Po přiletu letadla a přidělení stojanky letadlu začíná jeho vykládka letadla následovaná jeho nakládkou. Pro každou kategorii letadel jsou definované specifické časy doby použití techniky a její počet. Tyto údaje má program uloženy v paměti. Dalším důležitým časem je čas zahájení nakládky, tedy doba od přiletu, ve které začne nakládka. Ta totiž nemusí vždy plynule navázat na vykládku. Počet potřebné techniky pro vykládku i nakládku je uvažován stejný, doby vykládky a nakládky téhož letadla mohou být různé.

Přidělení vhodné techniky mají na starosti metody `priradVozik` a `priradNakldac`, který jsou analogické. Hlavní rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že zatímco nakladač je používán jen na ploše mezi stojánkami, případně sklady, vozík navíc jezdí do třídíren.

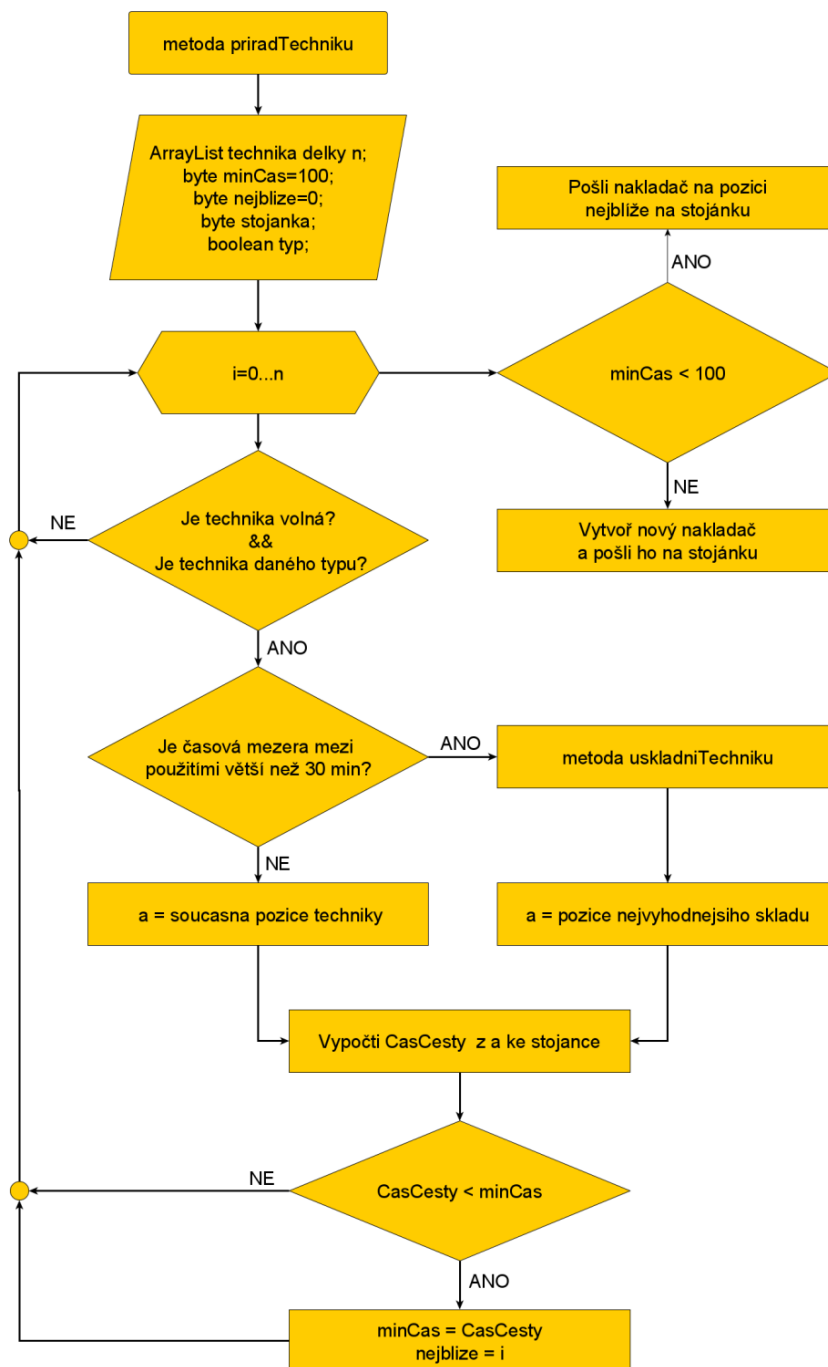
Základní myšlenka algoritmu je taková, že na začátku dne, tedy v čase 0, není potřeba žádná technika, protože nic nepřiletělo, tudíž není potřeba nic odbavit. S každým dalším přiletem je potřeba určitý počet techniky na odbavení. Metoda nejdříve testuje, jestli ve chvíli, kdy je technika potřebná, je nějaká volná. Všechna vytvořená technika je ukládána do generických polí tak jako většina vstupních dat. Pole je procházeno a tím je hledána volná technika. Když je technika nalezena, program zjistí její vzdálenost od stojánky, na kterou má být přistavena. Údaj o vzdálenosti je zaznamenán a cyklus pokračuje pro případ, že by našel další volnou techniku, která bude ke stojánce ještě blíže.

Po prohledání celého pole a nalezení nejbližší techniky je technika přidělena letadlu a je nastaven čas, po který se bude využívat. U nakladačů je to čas od začátku vykládky do konce nakládky. U vozíků je to čas nakládky nebo vykládky u letadla zvětšený o dobu jízdy mezi stojánkou a třídírnou a dobu strávenou ve třídírně.

V případě, že je všechna technika zaneprázdněná, zvýší se počet potřebné techniky na letišti, která je následně přiřazena k letadlu. Protože je nutné provést některé úkony ještě před přiletem letadla, jako cesta techniky na stojánku nebo nakládka vozíků na odlet ve třídírně, zjišťuje se navíc, zda je technika volná i určitý čas před přiletem letadla. To je umožněno tím, že technika má zakódováno, jak dlouho se má využívat, a po uplynutí této doby, i jak dlouho je volná. To zajišťuje metoda `uberVsem` popsaná níže.

Například v čase 10 přiletí první letadlo, které potřebuje pásový nakladač na 40 minut. Protože není žádná technika v oběhu, je vytvořen nový nakladač, který je poslán na 40 minut na stojánku. V případě, že přiletí další letadlo v čase 20, je jasné, že tento nakladač nelze použít, protože je stále využíván jinde až do času 50. V případě, že další letadlo přiletí až v čase 52, je zjišťováno, jak dlouho trvá jízda nakladače z jedné stojánky, kde bylo odbavováno první letadlo, na stojánku, kde je odbavováno druhé letadlo s přiletem v čase 52. Jestliže cesta trvá dvě minuty a méně, může být nakladač použit i při odbavení druhého letadla. Kdyby ale cesta trvala déle, nakladač by nemohl být použit, protože by nestihl přijet včas na stojánku druhého letadla. V takém případě by se musel přidat další nakladač do oběhu.

V případě, kdy je zjištěno, že technika byla volná dlouhou dobu a vyplatí se její uskladnění v době nečinnosti, je vyhledán vhodný sklad, přes který technika k letadlu pojede. To má zamezit delšímu překážení techniky na odbavovací ploše. Sklad je také dohledáván až zpětně při přidělování techniky k dalšímu letu, protože až v tuto chvíli program má algoritmus informaci, zda byla technika volná dostatečně dlouhou dobu, aby se vyplatilo její uskladnění, a následně, jaká bude její další trasa po odjezdu ze skladu. Algoritmus pro přidělení skladu je popsán níže. To má zamezit delšímu překážení techniky na odbavovací ploše. Celý proces přidělování techniky ukazuje přehledně obrázek 7.



Obrázek 7 – Diagram algoritmu pro přidělení techniky [zdroj: vlastní]

6.4.4 Přidělování skladů

Další část výpočtu je věnována usnadňování techniky do skladů. V předešlé části práce byla vytipována možná místa pro uskladňování a následně byly vypočítány jejich kapacity. Uskladňování během dne mají na starosti metody `uskladniVozik` a `uskladniNakladac`, které jsou opět velmi podobné.

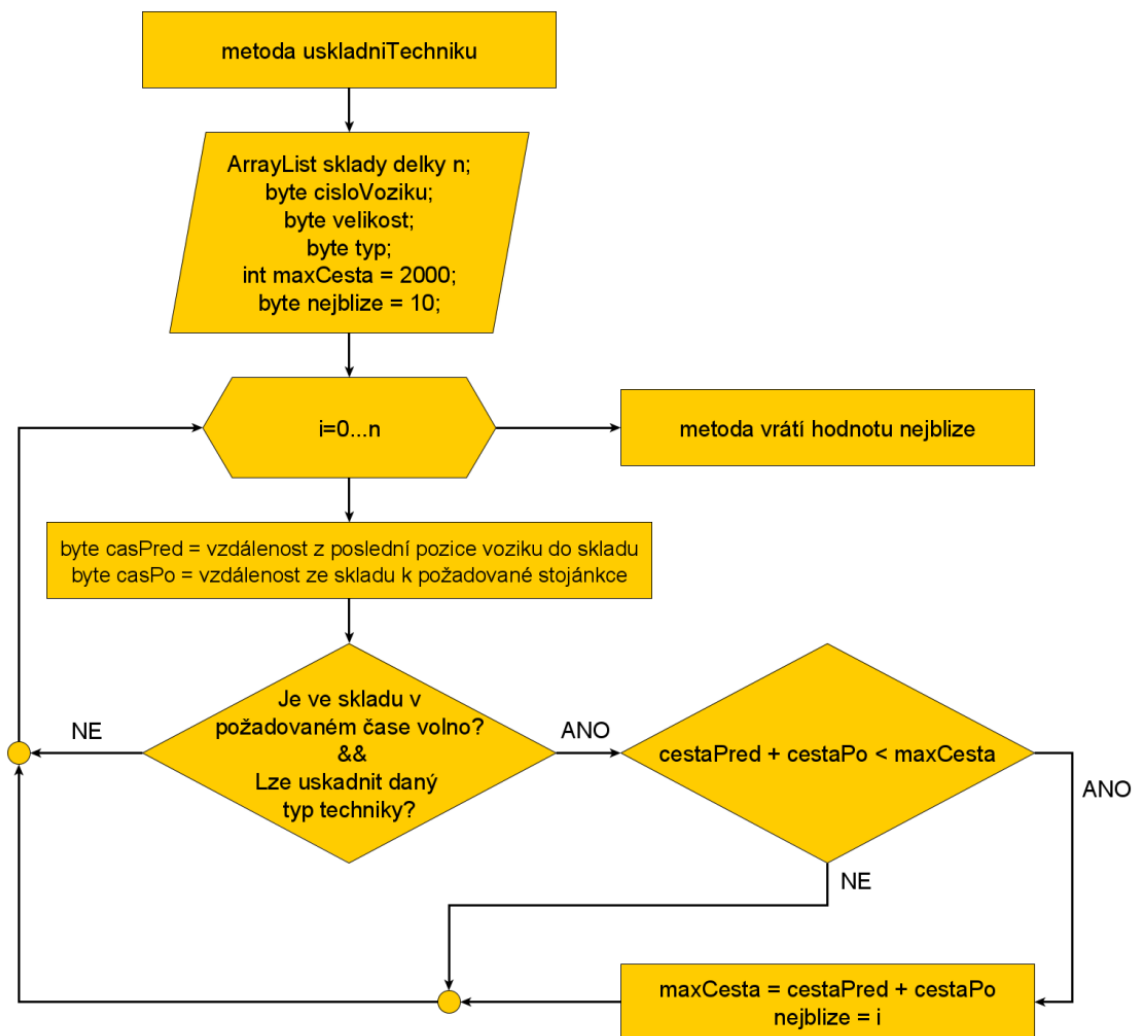
Metoda je volána z metod pro přidělování techniky, když doba nečinnosti mezi použitím té samé techniky přesáhne zmíněných 30 minut. Hlavní částí algoritmu je cyklus, který prochází všechny sklady a hledá mezi nimi ty s dostatečnou kapacitou pro uskladnění v potřebném čase, které mohou uskladnit daný typ techniky.

Stejně jako u prohledávání vhodné techniky a hledání té nejbližší má i zde program uloženo v paměti, v případě, kdy je sklad volný, jeho vzdálenost od stojánek nebo třídíren, aby byl následně z množiny volných vybrán ten nejlepší. Protože kritériem je zde ujetí minimální celkové vzdálenosti, je vyhledáván takový sklad, pro který bude součet vzdáleností mezi pozicí techniky a skladem a pozicí skladu a nové stojánky minimální. Lze to chápat tak, že do trasy z místa, kde technika vykonávala svou práci, do místa, kde je technika nyní žádána, je vložen sklad. Technika tedy pojedje ze stojánky, případně třídírny do skladu, kde bude uskladněna, a v čase, kdy je potřeba, přijede na nové místo, kde bude dále využita. Schéma algoritmu ukazuje obrázek 8.

Například víme, že nakladač se přestal používat v čase 90 a jeho další použití je plánováno v čase 150. To je přestávka více než 30 minut, proto se vyhledá nejbližší volný sklad, který má dostatečnou skladovací kapacitu mezi časy $90 + \text{čas cesty do skladu ze stojánky}$, kde se technika nachází v čase 90 a $150 - \text{čas ze skladu ke stojánce}$, na které se technika má nacházet v čase 150. Sklad má uloženu v paměti svou obsazenost v čase, tedy není problém zpětně zjistit, jestli mohl být sklad využit mezi konkrétními časy pro potřeby dočasného uskladnění techniky.

Druhá metoda zajišťuje uskladnění veškeré techniky na konci dne. Sklady tedy musí být dimenzovány tak, aby v nich ve stejný časový okamžik mohla být uskladněna všechna technika na letišti. Tato situace v praxi pravděpodobně příliš často nenastane, ale je žádoucí být na takovou variantu připraven. Metoda na konci dne najde postupně pro každou techniku místo v nejbližším volném skladu a umístí ji tam od doby, kdy se naposledy přestala používat. To lze opět jednoduše zjistit, protože technika zaznamenává dobu své nečinnosti. Tímto je

zároveň zaručeno, že bude dostatečná skladovací kapacita po celý den a vždy bude možné techniku nějakým způsobem uskladnit.



Obrázek 8 - Algoritmus pro uskladnění techniky [zdroj: vlastní]

6.4.5 Hlídaní a ubírání času

Jedna s nejdůležitějších metod celého programu se nazývá `uberVsem`. Tato metoda je volána každou minutu a jejím úkolem je hlídat, jestli:

- nepřilétlo nové letadlo
- nemá začít nakládka nebo vykládka nějakého letadla
- nezměnila se doba do konce využívání nějaké techniky

Metoda systematicky prochází všechny lety a monitoruje, zda se čas přiletu nerovná aktuálnímu času. V případě shody volá ostatní metody pro přidělení stojánek a techniky.

U již započatých odbavení metoda hlídá, zda nenastal čas na zahájení nějaké činnosti, zejména nakládky.

Každá technika má atribut `casVyuziti` a každá stojánka atribut `obsazenost`. Metoda `uberVsem` každou minutu sníží u každé techniky a stojánky, ať využívané nebo odstavené hodnotu tohoto atributu o jedna. Když je hodnota záporná, potom její absolutní hodnota říká, jak dlouho nebyla technika využívána. Toho se využívá při zpětném dopočítávání časů cest a dob uskladňování.

Příklad: Nakladač se v čase 20 začne používat při odbavení. Při přidělení nakladače se nastaví `casVyuziti` na 40 minut, což znamená, že se nakladač bude používat 40 minut. Metoda `uberVsem` každou minutu tuto hodnotu sníží o jedna. V čase 60 je hodnota `casVyuziti` rovna nule a začíná být záporná. Za předpokladu, že se tento nakladač nezačne hned využívat dál, bude `casVyuziti` v čase 70 mít hodnotu -10, tedy nakladač je 10 minut nečinný. Když bude v čase 70 někde potřeba tento nakladače, ví se o něm, že je 10 minut nečinný, tedy může být použit a těch 10 minut lze využít na cestu tak, aby byl v čase 70 na místě. V tomto čase se opět nastaví `casVyuziti` na dobu, kdy bude nakladač potřeba a nelze jej použít pro plnění jiných činností. Celý proces se takto pořád periodicky opakuje dokola.

6.5 Ukládání výsledků

Ukládání výsledků je důležitou součástí programu a umožňuje monitoring a po skončení výpočtu následnou analýzu výsledků. Všechna vypočtená data jsou během výpočtu ukládána do pole, která má definovanou délku odpovídající počtu minut, na kterém program provádí výpočet.

Na konci je spuštěna metoda `konecDne`, která má, mimo jiná, za úkol uložit data z polí do textových souborů v předem definovaném formátu. To zajišťují 4 metody, každá pro jiný druh dat. K zápisu do souboru je využita třída `PrintWriter`.

Takto uložená data se nacházejí ve složce `Vysledky`. Složka obsahuje několik textových souborů. Každý soubor obsahuje hlavičku, která uvádí informace o uložených datech a dále vypočítané hodnoty přiřazené k časovým údajům po jedné minutě. Z uvedených dat lze získat křivku, která znázorňuje průběh celého dne s elementárním časovým krokem 1 minuta. Znázornění grafického průběhu lze docílit například exportem do programu MS Excel.

6.5.1 Počet techniky

Pro každý druh techniky je vytvořen samostatný soubor pojmenovaný například VYSLEDKY_klecovych_voziku. Každý řádek souboru je ve formátu čas;počet využívané techniky. Počet řádků odpovídá počtu minut, pro který je prováděn výpočet.

6.5.2 Obsazenost letiště

Dále jsou ukládány hodnoty obsazenosti letiště, které ukazují počet letadel v dané chvíli odbavovaných, opět v časovém kroku 1 minuta. Data jsou ukládána pro každý terminál zvlášť, tedy samostatně pro Terminál 1, samostatně pro Terminál 2 a samostatně pro odlehlá stání. Formát řádku je vždy čas;počet aktuálně odbavovaných letadel. Součtem těchto hodnot dostaneme vytížení celého letiště.

6.5.3 Obsazenosti skladů

Velmi důležité je taktéž znát obsazenosti skladů během dne a na konci dne po teoretickém ukončení provozu, tedy v okamžiku, ve kterém je potřeba uskladnit veškerou techniku. Obsazenosti skladů jsou uloženy na rozdíl od stojánek v jednom souboru a to proto, že jejich počet je vyšší a může se při různých modelových situacích měnit častěji, než rozložení terminálů, které je pevně dané. Je tedy výhodnější mít jeden soubor, než například 8 souborů.

Formát řádků v souboru je čas;obsazenost skladu 1;obsazenost skladu 2; ... ;obsazenost skladu n;

6.6 Kvalita a přesnost výpočtu

Tato kapitola pojednává o přesnosti programu poskytnout ze zadaných vstupních údajů optimum, tedy nejlepší možné řešení. Program neposkytuje vždy optimální řešení. Nejlépe to ukazuje následující příklad.

Tabulka 9 ukazuje vstupní data pro tento příklad. Příklad pracuje se dvěma stojánkami (A a B), na kterých je v požadovaných časech poptávka po soupravě vozíků. Na stojánce A začíná vykládka v čase 30 a na stojánce B začíná vykládka v čase 31. V tyto časy už musí být technika na příslušných stojánkách (ale dopravuje se tam již před těmito časy). K dispozici jsou dvě soupravy vozíků (X a Y) požadovaného typu a délky, které jsou umístěné na letištní ploše. Jiné soupravy na letišti v tuto dobu nejsou. Doba nečinnosti soupravy říká, jak dlouho je souprava volná a k dispozici před časem 30.

	Jízdní doba na stojánku A	Jízdní doba na stojánku B	Doba nečinnosti soupravy v čase 30
souprava X	1 minuta	2 minuty	10 minut
souprava Y	2 minuty	4 minuty	2 minuty

Tabulka 9 - Vstupní data modelového příkladu [zdroj: vlastní]

6.6.1 Postup programu

Podle zadaných hodnot bude jako první obsazena stojánka A. Program v čase 30 nalezne nejbližší volnou soupravu a tu pošle na stojánku A tak, aby tam v čase 30 již byla. Nejbližší je v současnosti souprava X, jejíž jízdní doba na stojánku A je 1 minuta. Souprava X je nečinná 10 minut, které bez problému stačí na cestu dlouhou 1 minutu. Bude cestovat mezi časy 29 a 30 tak, aby byla přistavena v požadovaném čase 30 na stojánce A.

V čase 31 je již volná pouze souprava Y, jejíž jízdní doba na stojánku B jsou 4 minuty. Protože je ale v čase 30 volná pouze 2 minuty, znamená to, že do času 28 byla ještě využívána, nestihne tedy přejet na stojánku B včas. Proto musí být do oběhu nasazena nová souprava, která bude poslána na stojánku B tak, aby na této stojánce byla přistavena v čase 31. Výsledkem postupu programu tedy budou 3 použité soupravy.

6.6.2 Optimální řešení

Optimální řešení je takové, že by program poslal soupravu X v čase 31 na stojánku B, i když je její jízdní doba delší, než na stojánku A. Stojánku A by obsloužila souprava Y, která tam přejede na čas právě za dvě minuty, které má k dispozici mezi časy 28 a 30. Protože vytvořený program pracuje v čase postupně, v čase 30 nekalkuluje s tím, co nastane v čase 31.

7. Výsledky výpočtu

Po zadání všech vstupních údajů do programu byly podle výše uvedených kritérií vypočítány počty potřebné techniky na Letišti Václava Havla během dne, konkrétně 14. 8. 2019. Jak bylo uvedeno v kapitole 4.2.3, bude proveden jeden výpočet pro plně naložená kontejnerová letadla pomocí LD3 kontejnerů a druhý pro poloviční naložení letadel kategorie D-F. Pro variantu plného naložení LD3 kontejnery jsou počty minimální potřebné techniky následující:

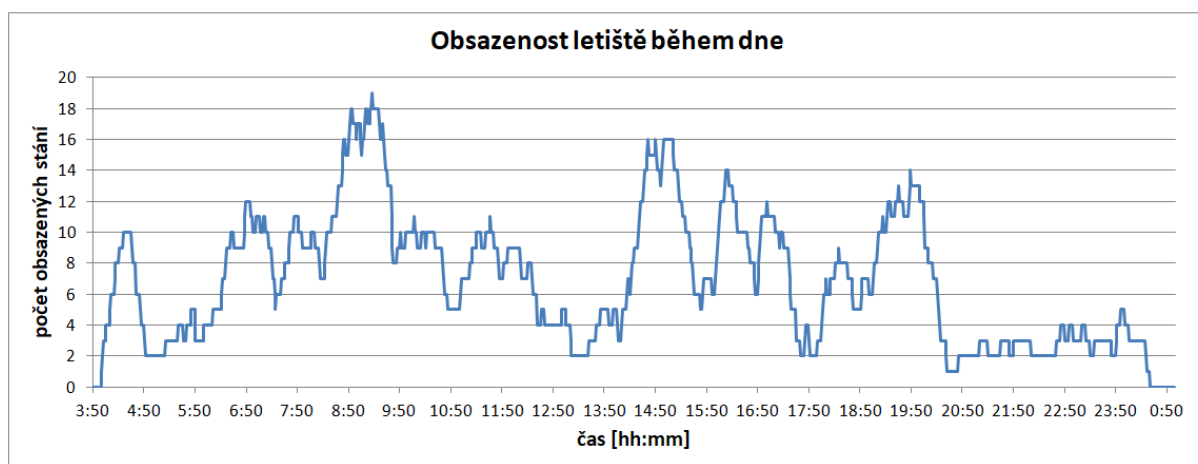
- Počet potřebných klecových vozíků je 259.
- Počet potřebných paletových vozíků je 265.
- Počet potřebných pásových nakladačů je 34.
- Počet potřebných nůžkových nakladačů je 6.

Pro případ polovičního naložení letadel LD3 kontejnery jsou výsledné hodnoty následující:

- Počet potřebných klecových vozíků je 259.
- Počet potřebných paletových vozíků je 139.
- Počet potřebných pásových nakladačů je 34.
- Počet potřebných nůžkových nakladačů je 6.

Je patrné, že pro plně naložení kontejnerových letadel je zapotřebí o 126 paletových vozíků navíc, než ve variantě s polovičním naložením těchto letadel.

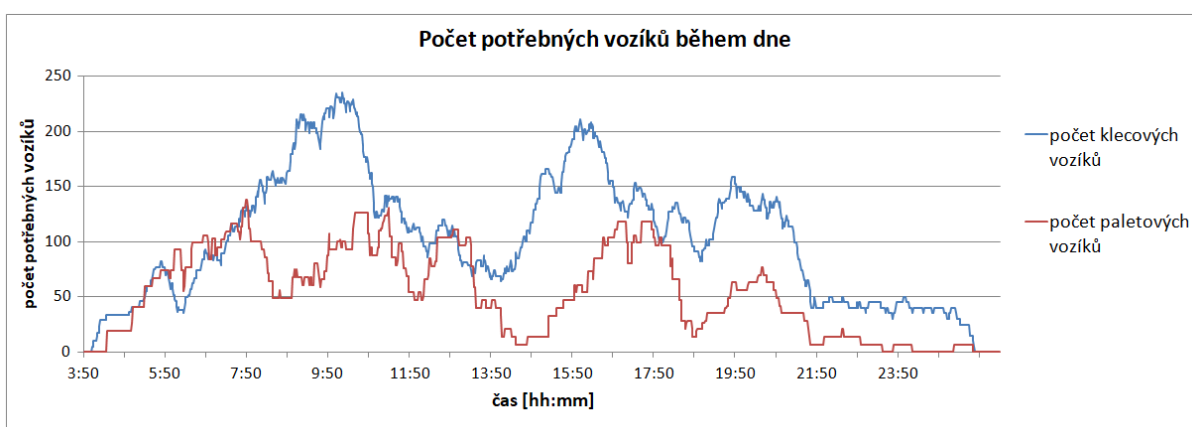
Pomocí exportu výstupních dat do MS Excel lze sledovat průběhy počtů potřebné techniky v průběhu celého dne. Obrázek 9 ukazuje obsazenost letiště během dne, resp. jeho vytíženost. Není zobrazen průběh celého dne, ale čas od příletu prvního letadla ve 4:00 do 1:00 následujícího dne, kdy končí odbavení letadel s časem příletu těsně před půlnocí. Před 4:00 jsou hodnoty křivky nulové. Nejvíce je letiště vytíženo v dopolední špičce přibližně od 8 do 10 hodin. Odpolední špička je ve srovnání s ranní špičkou plošší, ale časově delší. K značnému útlumu provozu dochází po 20:00. Graf obrázku 9 by měl rámcově odpovídat i průběhům počtů potřebné techniky, protože s rostoucím provozem rostou i požadavky na techniku, který je v danou chvíli potřeba.



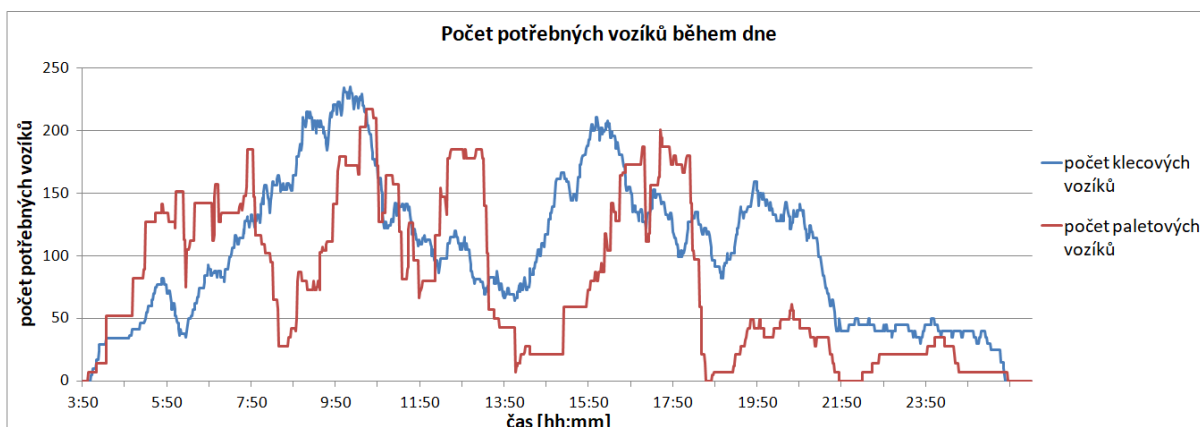
Obrázek 9 - Graf obsazenosti letiště během dne 18. 8. 2019 [zdroj: vlastní]

7.1 Počet potřebné techniky

Následující obrázky 10 a 11 ukazují průběh počtu potřebných vozíků v daný čas během dne. Obrázek 10 znázorňuje variantu s polovičním naložením letadel pomocí LD3 kontejnerů, obrázek 11 znázorňuje variantu s plným naložením letadel LD3 kontejnery. Grafy zobrazují hodnoty v čase od 2:30, kdy začíná odbavení prvního letu s přiletem ve 4:00, který následně ve 4:50 odlétá, do 1:00 následujícího dne, jako v případě grafu obsazenosti.



Obrázek 10 - Graf počtu potřebných vozíků během dne při polovičním naložení kontejnerů [zdroj: vlastní]

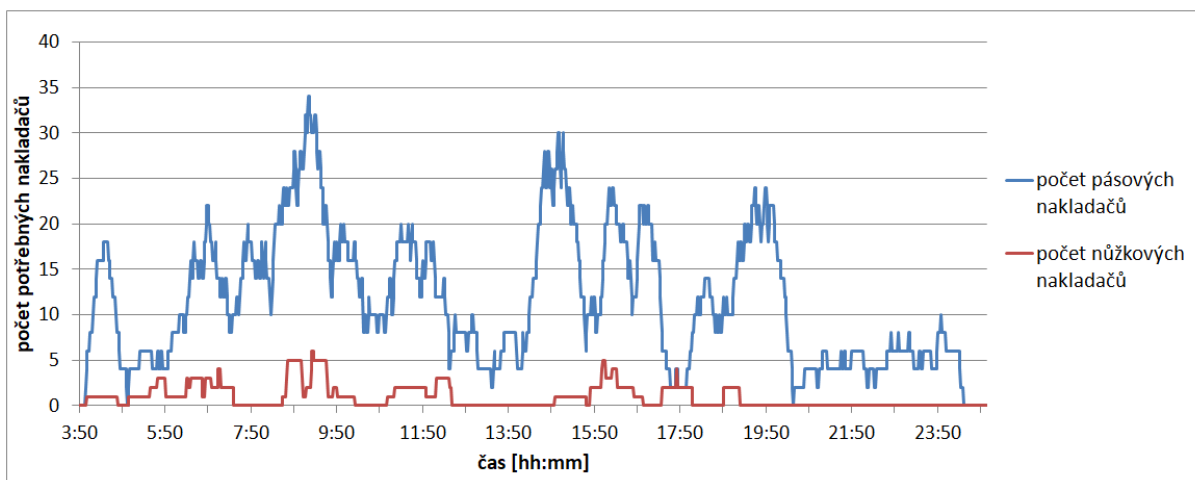


Obrázek 11 - Graf počtu potřebných vozíků během dne při plném naložení kontejnerů [zdroj: vlastní]

Nejvyšších hodnot je dosahováno v obou grafech v průběhu ranní a odpolední špičky. Křivky téměř kopírují křivku obsazenosti letiště na obrázku 9.

Absolutně nejvyšší hodnoty počtu klecových vozíků bylo dosaženo v čase 8:44, a to 259 klecových vozíků. Toto číslo znamená, kolik vozíků je v tento čas využíváno. Protože jsou na vstupu pevně definované délky souprav a to 2 a 5 vozíků, jak bylo popsáno v kapitole 4.2.3, dochází k tomu, že celkové maximální číslo 259 je vyšší než 239. Znamená to, že v danou chvíli je například poptávka po delších soupravách, které nejsou volné, ale jsou volné kratší, které nelze použít. K odstranění tohoto problému by bylo zapotřebí uvažovat proměnnou délku vozíků, které by se během dne spojovaly a rozpojovaly do různě dlouhých souprav.

V případě nakladačů tento problém nenastane, protože nakladače jsou k letadlům přidělovány jednotlivě, nikoli v soupravách, jak je tomu u vozíků. Průběh počtu potřebných nakladačů je vidět na obrázku 11. Zde nedochází k žádným rozdílům mezi variantami s plným a polovičním naložením LD3 kontejnerů, protože jsou stále potřebné 2 nůžkové nakladače. Zobrazovaný časový interval je ze stejných důvodů stejný jako v případě grafu obsazenosti letiště.



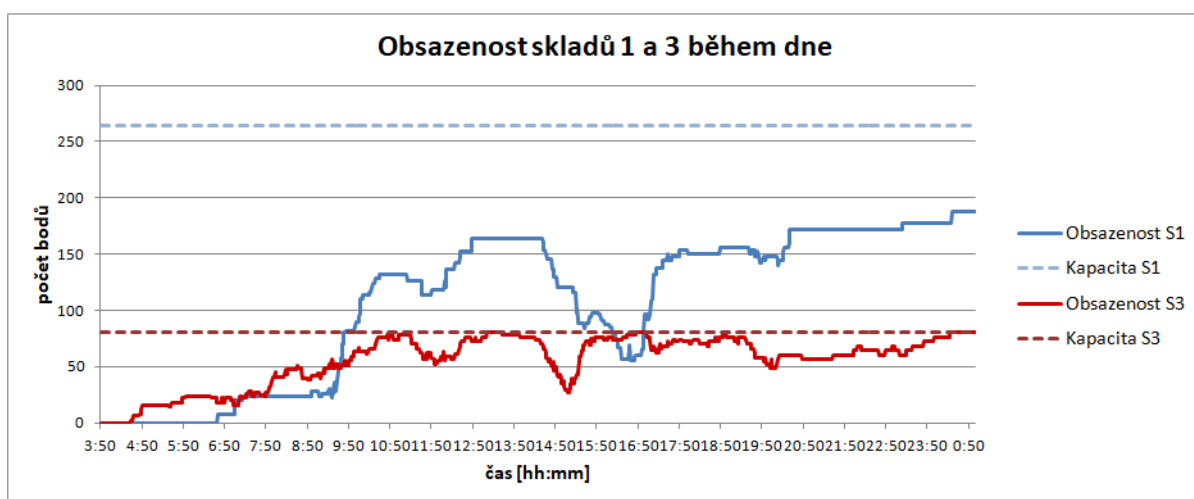
Obrázek 12 - Graf počtu potřebných nakladačů během dne [zdroj: vlastní]

Průběh je opět velmi podobný křivce vytíženosti letiště. V tomto případě je dosaženo maximálního počtu potřebných pásových nakladačů v 9:20, a to 34. V případě nůžkových nakladačů není vidět žádná větší špička. Maximální hodnota je pro nůžkové nakladače 6.

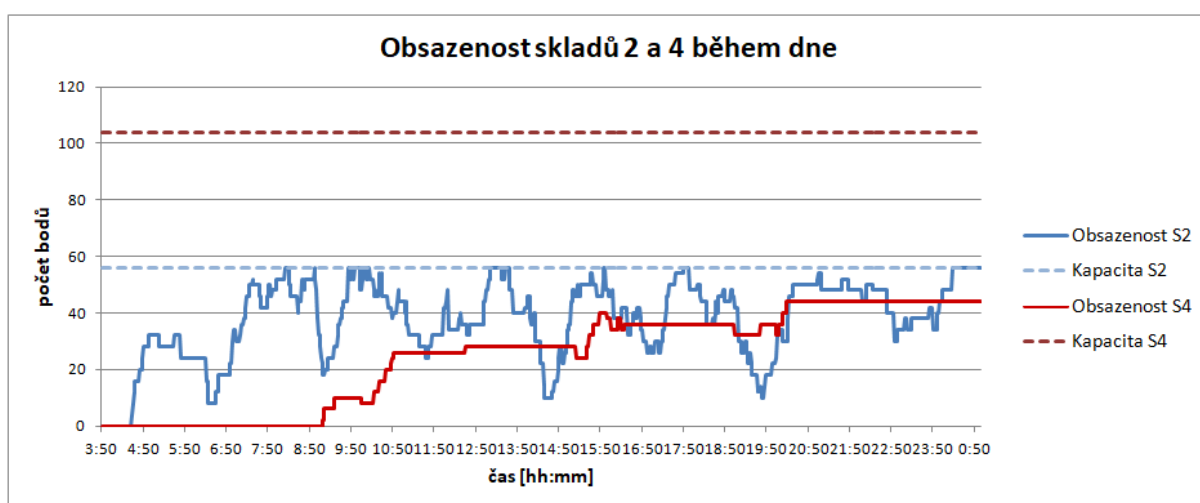
7.2 Uskladnění techniky

Další část programu je věnována uskladnění techniky. Technika je skladována buď během dne v době její nečinnosti podle algoritmu, který je popsán v kapitole 6.4.5 nebo na konci dne. To odpovídá situaci, kdy se neodbavuje žádné letadlo a všechna technika je řádně uskladněna ve skladech.

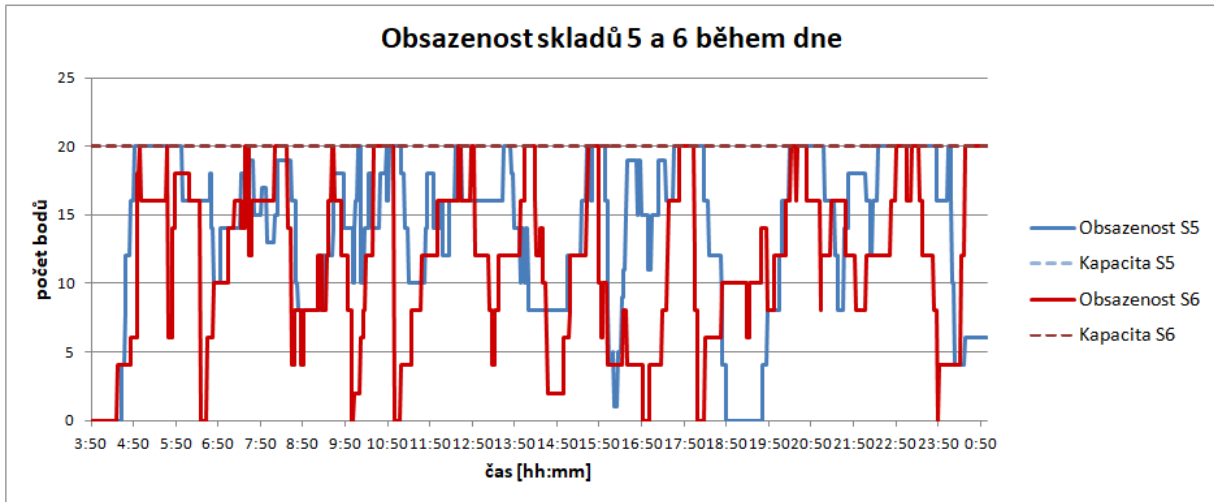
Na následujících obrázcích 12, 13, 14 a 15 je vidět průběh obsazeností skladů během dne. Obsazenosti odpovídají variantě s polovičním naložením letadel LD3 kontejnery. Pro přehlednost byla tato data rozdělena do více grafů podle podobných maximálních kapacit. Čárkovaná čára stejné barvy jako obsazenost udává kapacitu skladu. Opět je zobrazován začátek od 4:00 a konec v 1:00 následujícího dne. Kapacita skladu je definována pomocí bodů, jak byly definovány v kapitole 4.2.7.



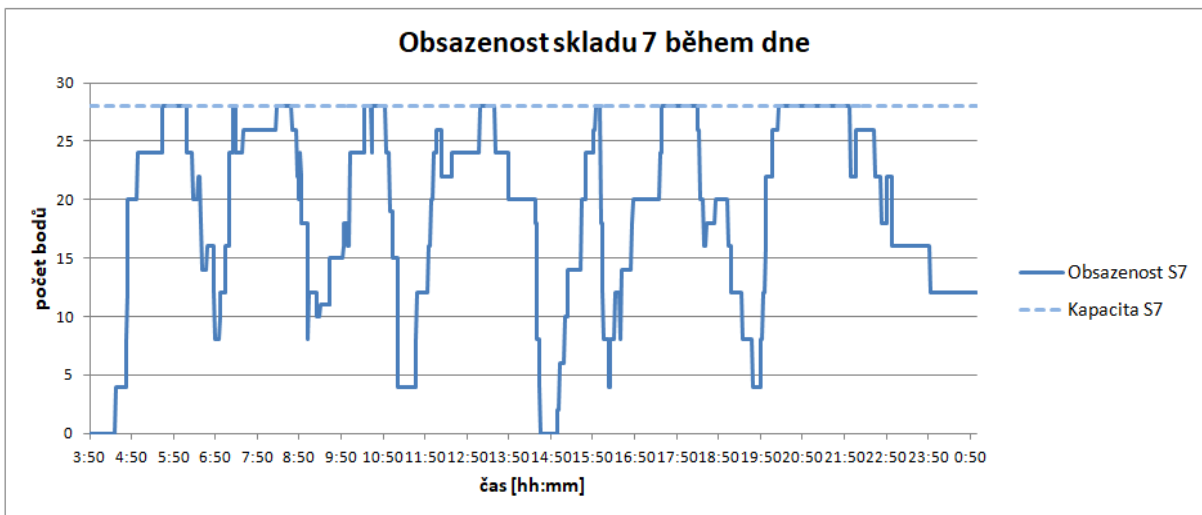
Obrázek 13 - Graf obsazenosti skladů 1 a 3 během dne [zdroj: vlastní]



Obrázek 14 - Graf obsazenosti skladů 2 a 4 během dne [zdroj: vlastní]



Obrázek 15 - Graf obsazenosti skladů 5 a 6 během dne [zdroj: vlastní]



Obrázek 16 - Graf obsazenosti skladu 7 během dne [zdroj: vlastní]

Z grafů je patrné, že počty uskladněné techniky v případě skladů č. 2, 3, 5, 6 a 7 dosáhly během dne jejich kapacity. Sklad 1, který se nachází naproti prstu D a má největší kapacitu, se téměř naplnil. Jediný sklad 4, který se nachází u odlehlých stání, se své návrhové kapacitě ani nepřiblížil. V případě druhé varianty, která uvažuje plné naložení LD3 kontejnery, by bylo potřeba uskladnit navíc 126 vozíků. V tomto případě by bylo pravděpodobně potřeba zvýšit skladovací kapacitu.

7.3 Posouzení validity vypočtených dat

Validita vypočtených dat říká, zda výsledná data dávají smysl a jsou v praxi využitelná. Zde je nutné v první řadě poznamenat, že vstupní data pro tento výpočet byla v několika případech získána z veřejně dostupných průměrných hodnot nebo odhadnuta na základě neúplných dat. Jedná se o počty vozíků potřebných k odbavení letadla. Bylo vycházeno z dat od výrobců a plné obsazenosti všech odbavovaných letadel. K takové situaci ale v reálném provozu nedojde. Pro zpřesnění výpočtu bylo vhodné získat koeficient obsazenosti letadel. V případě kontejnerové nakládky byly uvažovány pouze kontejnery velikosti ULD 3, kterých se do letadla vejde větší množství, ovšem málokdy letadlo letí takto naloženo. Podobná byla situace i s časy potřebnými k nakládce a vykládce zavazadel, a to jak u letadla, tak ve třídírnách. V případě kapacit skladů a velikosti techniky, která s tím úzce souvisí, bylo opět vycházeno z průměrných dat získaných z veřejných zdrojů. Velikost techniky na LKPR tak může být odlišná, i když pouze s drobnými rozdíly.

Co se týče samotného výpočetního programu, ten negarantuje vyhledání globálního optima. Jeho využití je však možno jistým způsobem považovat za heuristický přístup, protože rozhodování v rámci programu je založeno na využívání zabudovaných optimalizačních kritérií, jako jsou množství potřebné techniky nebo celková ujetá vzdálenost při přejezdech techniky na letištní ploše.

Vypočtené obsazenosti skladů ukazují, že kapacita většiny z nich je během dne využita. Sklady nejbližší budovám terminálů ve středu odbavovací plochy mají logicky největší fluktuaci techniky během dne, protože jsou nejbližší stojánkám, kde je technika nejvíce potřeba. Jsou tedy hojně využívány ke kratším uskladněním. Ideální by bylo mít co největší kapacitu takových skladů, to ale bohužel neumožňuje již vybudovaná infrastruktura. Vybudováním dalších skladů v těchto místech by tak muselo dojít ke zmenšení nebo zániku cenných stání s nástupními mosty.

Opakem je sklad číslo 4 navržený za odlehlými stojávkami 70-75. Jeho kapacita sice může být velká, protože je zbudován na travnatém povrchu mimo odbavovací plochu, ale vzhledem k nevýhodné poloze není využita ani na 50%. Proto v případě budování tohoto skladu je určitě zbytečné, aby měl navrženou kapacitu 104 bodů.

8. Dopad navržených změn na letišti a handlingové agentury

V případě implementace tohoto systému využívání a parkování techniky na LKPR musí dojít nejdříve k vyřešení problému se sdílením techniky mezi handlingovými agenturami. To pravděpodobně znamená zavedení jednoho ze systémů ke sledování techniky, aby bylo možné zjišťovat, jak která handlingová agentura techniku využívá.

8.1 Nové sklady pro uskladnění techniky

Nejdříve musí dojít k vybudování nových skladů pro techniku, aby měla kde parkovat v době nečinnosti. Pro sklad 1, který se nachází naproti prstu D a pro sklad 4 umístěný za odlehlými stojánkami, to znamená vybudovat novou zpevněnou plochu, například s asfaltovým nebo betonovým povrchem, která se následně ohraničí, jak bylo popsáno dříve a znázorněno v příloze 4. Protože se jedná o plochy mimo odbavovací stání, neměla by výstavba nijak narušit okolní provoz. Stačí pouze zajistit přepravu materiálu a techniky nutné pro výstavbu na tato místa.

V případě ostatních skladů, které se nacházejí uvnitř odbavovací plochy, lze využít již vybudovaného zpevněného povrchu. Zde by mělo stačit instalovat zábrany, které bezpečně ohraničí prostory skladů, případně namalovat vodorovné značení, které zpřehlední komunikace pro zajíždění a vyjíždění techniky. Výstavba by v tomto případě trvala odhadem jen několik málo dní. Po tuto dobu by musel být zřejmě omezen provoz na okolních stáních. Z důvodu možných dočasných omezení by bylo vhodné provádět výstavbu mimo hlavní letní sezónu.

8.2 Technika pro odbavení letadel

Současně bude nutné řešit otázku vlastnictví techniky. Jednou z možností je, že všechnu techniku bude vlastnit provozovatel letiště, který ji od handlingových agentur na začátku odkoupí a bude ji pronajímat. Bude tak mít kontrolu nad počtem techniky a jejím technickým stavem. V případě potřeby bude nakupovat novou. Jinou možností je, že techniku bude vlastnit jedna z agentur nebo třetí strana, která bude ostatním vozíky pronajímat, tak jako v předchozím případě letiště. Další možností je, že technika zůstane nadále ve vlastnictví handlingových agentur, ale bude vytvořen systém sdílení tak, aby byla dostupná kterémukoliv

subjektu, který ji bude v danou chvíli potřebovat a ten ji bude mít právo využívat. V takovém případě bude nutné určit správce, který bude odpovědný za její udržování v provozuschopném stavu a v případě potřeby její obnovu. To by např. mohlo vyřešit zavedení „fondu oprav“, do kterého by všechny zúčastněné strany podle předem stanoveného klíče přispívaly.

Důležité je, aby byl zachován rovný přístup všech společností k veškeré technice, ať už bude zvolen jakýkoli přístup ke sdílení techniky. Jen tím bude zaručeno, že si každý může vzít vždy techniku, která bude nejbližší tak, jak je to modelováno ve výpočtu potřebné techniky, a nebude muset dlouze dohledávat volnou techniku na ploše a ve skladech. V opačném případě by mohlo docházet k prostojům, které budou počet potřebné techniky zvyšovat.

9. Závěr

Cílem této práce bylo optimalizovat počet techniky potřebné k odbavení letadel na Letišti Václava Havla v Praze a navrhnout vhodný systém skladování této techniky v době, kdy není využívána. Letiště v současné době řeší problém s nedostatkem techniky pro technické odbavení, zejména ve špičkových časech letní sezóny, kdy je zde největší intenzita provozu. Naopak v případě přebytku techniky v časech se slabším provozem je problém s jejím uskladněním. Chybí komplexní systém skladování, které se musí řešit provizorním uskladněním na místech, která k tomu nejsou primárně určena. Jedním z řešení je systém sdílení techniky mezi handlingovými agenturami. V takovém případě lze optimalizovat celkový počet této techniky a stanovit její optimální počet, který budou mít následně všichni k dispozici pro odbavení svých nasmlouvaných leteckých společností. Nedostatek techniky by totiž mohl v budoucnu vést ke zpoždování letů, přebytek naopak ke zbytečným nákladům plynoucím z její údržby a skladování v době nečinnosti.

Úkolem bylo navrhnout optimální počet techniky a místa ke skladování tak, aby jí byl dostatek ve špičkových časech pro plynulý provoz a aby mohla být bezpečně a efektivně uskladněna v době, kdy není potřeba. Za účelem tohoto výpočtu byl v rámci této práce vytvořen program v programovacím jazyce Java. Program dokáže na základě vstupních dat, která obsahují informace o letišti, skladbě letadel a intenzitě provozu, technice na něm působící a časech potřebných k naložení a vyložení letadel vypočítat potřebný počet techniky potřebné k obslužení všech letadel. Následně techniku v době její nečinnosti, která nastává jak během dne, tak i na jeho konci, uskladnit do předem definovaných skladů a tím ověřit jejich navrženou kapacitu. Předmětem výpočtu byly klecové a paletové vozíky sloužící k přepravě zavazadel mezi stojánkami a budovami terminálů. Dále pak pásové a nůžkové nakladače, pomocí nichž se nakládají zavazadla a kontejnery do letadel. Podobně ale lze v budoucnu přistupovat i k dalším druhům techniky, jako například k nástupním schodům nebo autobusům.

Kapacita a poloha většiny skladů je pevně daná, protože sklady musí být začleněny do již vybudované infrastruktury letiště tak, aby nenarušovaly provoz a nebyly bezpečnostním rizikem. Přesto byly navrženy nové skladovací prostory uvnitř i na okrajích odbavovací plochy, kde lze snáze vytvořit větší skladovací kapacitu, než uprostřed plochy mezi terminály, stáními pro letadla a pojezdovými drahami.

Největším problémem se ukázalo získávání velkého množství vstupních dat, která nejsou veřejně dostupná. Ta se často musela odhadovat nebo počítat z veřejně dostupných zdrojů, které ovšem přesně neodpovídají provozu na Letišti Václava Havla. Skladba provozu, load factor, konkrétní typy a rozměry používané techniky, to jsou všechno údaje, které jsou pro každé letiště odlišné. Tímto tedy došlo k jistému zkreslení vypočtených výsledků. I přesto jsem názoru, že bakalářská práce ukázala, že v oblasti technického odbavení letadel je velký prostor pro zlepšení, a že k tomuto problému lze přistupovat komplexněji než v současnosti. Vytvořený program funguje adekvátně a poskytuje během velmi krátké chvíle úsporná řešení. Proto by mohl být v budoucnu využit k dalšímu modelování s přesnějšími vstupními daty. Další jeho výhodou je univerzálnost, tudíž pouhou změnou vstupních textových souborů může být modelováno jiné letiště. Toho lze využít například při plánovaném rozšiřování Letiště Václava Havla tak, aby byla od začátku plánována dostatečná kapacita skladů a optimální počet techniky.

Na toto téma bych rád v budoucnu navázal diplomovou prací, kde bych chtěl provést podobný výpočet za použití jiné metody, jako například nástrojů lineárního programování. Jistě bude zajímavé následně obě metody výpočtu za použití stejných vstupních dat porovnat. Také by bylo zajímavé věnovat se problematice přidělování stojánek, která s řešeným problémem úzce souvisí. Jednalo by se o upřesnění vstupních kritérií. Také se pokusím výpočty dále zpřesňovat, snad i ve spolupráci s Letištěm Václava Havla a společnostmi na něm působícími, pro které je tento problém aktuální.

Použité zdroje

- [1] Prague airport traffic reports [online]. [cit. 6. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.prg.aero/prague-airport-traffic-reports>
- [2] Letiště Praha [online]. [cit. 12. 6. 2020] Dostupné z: <https://www.prg.aero/letiste-vaclava-havla-praha-odbavilo-za-rok-2019-rekordnich-178-milionu-cestujicich>
- [3] POLÁNECKÁ, Anna, Výuková prezentace z předmětu 21YTH, ČVUT, 2019
- [4] KERNER, Libor, Viktor SÝKORA a Ludvík KULČÁK. Provozní aspekty letišť. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02841-0.
- [5] Simpleflying- turnaround times [online]. [cit. 2. 8. 2020] Dostupné z: <https://simpleflying.com/turnaround-time-importance/>
- [6] BOEING 737 Airplane Characteristics for Airport Planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: <https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737.pdf>
- [7] Zákon č. 49/1997 Sb. ze dne 6. března 1997, o civilním letectví
- [8] Technické informace LKPR planning [online]. [cit. 6. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.prg.aero/technical-information>
- [9] Menzies aviation [online]. [cit. 28. 7. 2020] Dostupné z: <http://www.menziesaviation.cz/nasi-zakaznici>
- [10] Airplane sizes [online]. [cit. 5. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.bifold.com/airplane-size-chart.php#Boeing29>
- [11] BOEING 767 Airplane Characteristics for Airport Planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/767.pdf>
- [12] AIRBUS A319 Aircraft characteristics airport and maintenance planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A319.pdf
- [13] AIRBUS A320 Aircraft characteristics airport and maintenance planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A320.pdf

- [14] AIRBUS A321 Aircraft characteristics airport and maintenance planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A321.pdf
- [15] AIRBUS A350 Aircraft characteristics airport and maintenance planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A350-900-1000.pdf
- [16] AIRBUS A330 Aircraft characteristics airport and maintenance planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A330.pdf
- [17] AIRBUS A380 Aircraft characteristics airport and maintenance planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Aircraft-AC-A380.pdf
- [18] BOEING 777 Airplane Characteristics for Airport Planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/777_2lr3er.pdf
- [19] BOEING 787 Airplane Characteristics for Airport Planning [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: <https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/787.pdf>
- [20] ATR 72 Aircraft handling manual [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: http://host.bglot.com/Ravnets/ATR_42_300_aircraft_handling_manual.pdf
- [21] E195 Airport planning manual [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.flyembraer.com/irj/go/km/docs/download_center/Anonymous/Ergonomia/Home%20Page/Documents/APM_195.pdf
- [22] E175 Airport planning manual [online]. [cit. 29. 6. 2020] Dostupné z: https://www.flyembraer.com/irj/go/km/docs/download_center/Anonymous/Ergonomia/Home%20Page/Documents/APM_175.pdf

- [23] NEHASIL Karel, Proces odbavení zavazadel na LKPR [online]. Praha, 2015 [cit. 7. 8. 2020] Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63939/F6-BP-2015-Nehasil-Karel-proces_odbaveni_zavazadel_LKPR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [24] EASA survey on standard weights [online]. [cit. 6. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Weight%20Survey%20R20090095%20Final.pdf>
- [25] Lufthansa aircraft compartments [online]. [cit. 4. 8. 2020] Dostupné z: <https://lufthansa-cargo.com/fleet-ulds/fleet/belly-fleet>
- [26] AIP ČR [online]. [cit. 28. 5. 2020] Dostupné z: https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/control/aip_obsah_cz.htm
- [27] HORONJEFF, Robert, Francis X. MCKELVEY, William J. SPROULE a Seth B. YOUNG. Planning and design of airports. Fifth edition. New York: McGraw-Hill, [2010]. ISBN 978-0-07-144641-9.
- [28] Mapy.cz [online]. [cit. 16. 7. 2020] Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [29] Aero Expo aero [online]. [cit. 19. 6. 2020] Dostupné z: <https://www.aeroexpo.online/aeronautic-manufacturer/runway-baggage-cart-2296.html>
- [30] SPS aero [online]. [cit. 19. 6. 2020] Dostupné z: <https://www.s-p-s.aero/products/>
- [31] Aerospecialities ground equipment [online]. [cit. 4. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.aerospecialities.com/aviation-ground-support-equipment-gse-products/>
- [32] Simai tow tractor [online]. [cit. 4. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.simai.it/wp-content/uploads/2020/05/EN-TE252.pdf>
- [33] Airport wquipment group [online]. [cit. 4. 8. 2020] Dostupné z: <https://airporequipmentgroup.com/equipment/belt-loaders/>
- [34] Letecký předpis L14 [online]. [cit. 29. 7. 2020] Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14_cely.pdf
- [35] Vývoj programovacích jazyků [online]. [cit. 13. 6. 2020] Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/java/zaklady/java-tutorial-uvod-do-jazyka-java>
- [36] MOCKOVÁ, Denisa, Výuková prezentace z předmětu 17TGA, ČVUT, 2018

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Harmonogram průletového času pro letadlo B737-800[6]	12
Obrázek 2 - Graf reprezentující odbavovací plochu.....	24
Obrázek 3 - Mapa letiště s navrženým umístěním skladů, zdroj mapového podkladu[26].....	28
Obrázek 4 - schéma skladu na rohu prstů C a D [28].....	29
Obrázek 5 - Znázornění správného způsobu parkování techniky ve skladech.....	30
Obrázek 6 - Diagram algoritmu pro přidělení stojánky.....	36
Obrázek 7 – Diagram algoritmu pro přidělení techniky.....	38
Obrázek 8 - Algoritmus pro uskladnění techniky.....	40
Obrázek 9 - Graf obsazenosti letiště během dne 18. 8. 2019	45
Obrázek 10 - Graf počtu potřebných vozíků během dne při plném naložení kontejnerů	45
Obrázek 11 - Graf počtu potřebných vozíků během dne při polovičním naložení kontejnerů.....	45
Obrázek 12 - Graf počtu potřebných nakladačů během dne	46
Obrázek 13 - Graf obsazenosti skladů 1 a 3 během dne	47
Obrázek 14 - Graf obsazenosti skladů 2 a 4 během dne.....	47
Obrázek 15 - Graf obsazenosti skladů 5 a 6 během dne.....	48
Obrázek 16 - Graf obsazenosti skladu 7 během dne	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení letadel do kategorií [10]	18
Tabulka 2 - Výpočet průměrných hodnot pro kategorii C [6].....	20
Tabulka 3 - Počty souprav vozíků potřebné pro nakládku a vykládku	21
Tabulka 4 – Vypočítané manipulační časy pro jednotlivé kategorie letadel.....	22
Tabulka 5- Výpočet průměrného rozměru klecového vozíku	25
Tabulka 6 - Výpočet délek jednotlivých souprav vozíků.....	25
Tabulka 7 - Bodové ohodnocení techniky a vzniklé mezery.....	25
Tabulka 8 - Kapacity skladů.....	30
Tabulka 9 - Vstupní data modelového příkladu	43

Seznam příloh

Příloha 1 – Výpočetní program

Příloha 2 – Výpočet časů a počtů techniky potřebné k vyložení a naložení zavazadel pro jednotlivé kategorie

Příloha 3 – Výpočet průměrných techniky rozměrů techniky

Příloha 4 – Schémata navržených skladů