



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Taktické rozhodování letecké společnosti při alokaci letištních
zdrojů**
**Airline's Tactical Decision Making Related to Airport Resource
Allocation**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Profesionální pilot

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Špák

Ing. Slobodan Stojčić PhD.

Matyáš Pros

Praha 2022



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: Jan Evler, Ehsan Asadi, Henning Preis, Hartmut Fricke, Airline ground operations: Optimal schedule recovery with uncertain arrival times
GRAHAM, Anne. Managing airports: an international perspective
DE NEUFVILLE, Richard et al. Airport systems: planning, design, and management

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Špák**
Ing. Slobodan Stojić, Ph.D.

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

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**

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

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Matyáš Pros
jméno a podpis studenta

V Praze dne 5. května 2022



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Matyáš Pros

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Taktické rozhodování letecké společnosti při alokaci letištních zdrojů**

Název tématu (anglicky): **Airline's Tactical Decision Making Related to Airport Resource Allocation**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem bakalářské práce je navrhnout generické řešení pro aktivní vstupování letecké společnosti do taktického rozhodování při alokaci letadlových stání.
- Proveďte analýzu současné role letiště, a také letecké a handlingové společnosti ve vztahu k odbavení letadla na letadlovém stání.
- Identifikujte možné provozní dopady na provoz letecké linky způsobené změnami v alokačním plánu letištních stání.
- Analyzujte letištní data a identifikujte kritické letištní zdroje, u kterých je potřeba taktických intervencí ze strany provozního střediska letecké společnosti.
- Navrhněte procesní změny k aktivnímu vstupování provozního střediska letecké společnosti do taktického rozhodování při alokaci letadlových stání.
- Na základě analýzy dat aplikujte navržené procesní změny na příkladu Pražského letiště.



Abstrakt

Práce se zabývá alokací letištních zdrojů se zaměřením na změny v alokaci letadlových stání, které jsou způsobeny odchylkami v provozování leteckých linek. Tyto změny v alokačních plánech mohou významně ovlivnit pozemní odbavení a dokonce způsobit zpoždění na odletu. V současné době, jak je zmíněno v analýze současného stavu, má provozovatel letadla limitované možnosti jak aktivně vstupovat do alokace stání v taktickém horizontu, aby limitoval možné negativní dopady při změně původně alokovaného stání. Proto práce navrhuje řešení pro vstupování letecké společnosti do alokace letadlových stání v taktickém horizontu. Následně je navržené řešení aplikováno v podmínkách pražského letiště.

Klíčová slova: letiště, letecká společnost, letadlová stání, letištní zdroje, taktické rozhodování



Abstract

The thesis deals with the allocation of airport resources, with a focus on changes in the allocation of aircraft stands, which are caused by deviations in the operation of airline's flights. These changes in allocation plans can significantly affect ground handling and even cause departure delays. At present, as mentioned in the analysis of the current situation, the aircraft operator has limited possibilities to actively intervene into the allocation of aircraft stands in the tactical horizon in order to limit the possible negative effects of changing the originally allocated stand. Therefore, the thesis proposes a solution for the entry of an airline into the allocation of aircraft stands in the tactical horizon. Subsequently, the proposed solution is applied in the conditions of the Prague Airport.

Keywords: airport, airline, aircraft stands, airport resources, tactical decision making



Poděkování

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu Ing. Miroslavu Špákovi za odborné vedení práce, cenné připomínky a dávky motivace. Dále bych rád poděkoval Letišti Praha, a.s. za poskytnutí dat a pomoc při vypracovávání práce. Poděkování patří i rodině a přátelům za veškerou pomoc při mém studiu.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Taktické rozhodování letecké společnosti při alokaci letištních zdrojů vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Praze dne 8. srpna 2022

Podpis



Obsah

Obsah	7
Úvod	9
1 Analýza současného stavu	11
1.1 Slotová koordinace.....	11
1.2 Letištní zdroje.....	12
1.1.1 Terminál	12
1.1.2 Airside	17
1.3 Handlingové zdroje	20
1.3.1 Personální	20
1.3.2 Technické zdroje	20
1.4 A-CDM a provozní centrum letiště.....	22
1.4.1 Provozní plán letiště	24
1.5 Alokační plán letiště	25
1.5.1 Pravidla alokace	25
1.6 Limitace současného stavu	26
2 Metodika	27
2.1 Kvalitativní analýza	27
2.2 Kvantitativní analýza	29
2.2.1 Práce s daty	31
2.3 Tvorba algoritmu	33
2.3.1 Obecný algoritmus pro poslední zavazadlo	34
2.3.2 Obecný algoritmus pro čas odbavení letadla	34
2.4 Metodika algoritmů pro konkrétní linky	35
3 Prezentace výsledků	38
3.1 Výsledky základní analýzy dat.....	38
3.2 Aplikace analýzy dat na algoritmy rozhodování letecké společnosti	42
3.2.1 Algoritmus Swiss	42
3.2.2 Algoritmus Smartwings	43
3.2.3 Algoritmus Austrian.....	44



3.2.4	Algoritmus LOT.....	45
3.2.5	Algoritmus Finnair.....	47
4	Diskuze	48
5	Závěr	50
	Seznam použité literatury	51
	Seznam obrázků	53
	Seznam tabulek	55
	Seznam grafů.....	56
	Přílohy	57



Seznam symbolů a zkratek

A-CDM	Airport Collaborative Decision Making
ACGT	Actual Commence of Ground Handling
ACISP	The Airport CDM Information Sharing Platform
AIBT	Actual In-Block Time
AOBT	Actual Off-Block Time
AOP	Airport Operations Plan
APOC	Airport Operations Centre
APU	Auxiliary Power Unit
ATM	Air Traffic Management
EIBT	Estimated In Block Time
EOBT	Estimated Off Block Time
FIR	Flight Information Region
GPU	Ground Power Unit
IATA	International Air Transport Association
LB	Last Bag
SCR	Slot Clearance Request
TT	Turnaround Time



Úvod

Letiště, brána do světa, velmi důležitý stavební prvek celé letecké dopravy. Místo odkud se lidé mohou dostat téměř do celého světa. Pozornější cestující si již na první pohled všimnou, že letiště je velmi komplexní systém. I menší regionální letiště může zaměstnávat stovky lidí. Fungování systému letiště je závislé na mnoha společnostech a institucích, které navzájem musejí komunikovat a koordinovat svoje činnosti pro dosažení požadované kvality a především bezpečnosti služeb, na kterou se v letectví klade maximální důraz.

Stejně tak jako vzdušný prostor, tak i letiště se potýkají s nedostatkem kapacity. V posledních letech před pandemií koronaviru a výrazným poklesem letecké dopravy, se na letištích zaváděly koordinační komplexní systémy, které kapacitu letiště zvyšovaly. Nyní se letecká doprava po dvouleté odmlce pomalu vrací do původního stavu a tyto systémy začínají hrát opět výraznější a důležitou roli.

Podle stupně koordinace se letiště po celém světě dělí na úroveň 1 až 3. Do úrovně 1 patří letiště s dostatečnou kapacitou a obvykle ne příliš vysokou hustotou provozu a není zde potřeba koordinace. Plány na využití letiště jsou dostupné již od pěti měsíců před provozním dnem. Data jsou shromažďována, ale nejsou využívána pro koordinaci. V úrovni 2 se jedná o letiště, která bývají vytížena, tak aby bylo nutné koordinovat sloty, pouze v určité časy. Kdy je doprava na letišti nejhustší. Letiště úrovně 3 jsou poté plně koordinovaná a tato práce se bude zabývat především jimi. Pro let na toto letiště nutno zajistit si předem slot a dodržovat předepsané časy, například pro spouštění motorů. Taktickým vstupováním letecké společnosti do procesu alokace by se dal celý proces ještě zefektivnit. Každá minuta, kterou letadlo stráví navíc na letadlovém stání, se snižuje i kapacita stání a dalších zdrojů.

Letiště disponuje letištními zdroji. Mezi ně patří např. stání, autobusy, check-in. Nejsou to ale jediné zdroje co letecké společnosti potřebují pro let zařídít. O odbavení letadla na ploše se zpravidla stará handlingová společnost, kterých může na letišti působit hned několik. Na příklad na pražském letišti jsou to dvě hlavní, Czech Airlines Handling a Menzies. Handlingové společnosti také disponují zdroji, např. cisternami pro tankování, pozemními energetickými zdroji (GPU).

Vybrané zdroje jsou pro leteckou společnost naprosto zásadní, protože ovlivňují čas, který letadlo stráví na zemi a také kvalitu služeb nabízenou cestujícím, potažmo jejich spokojenost.



Alokace zdrojů bývá dohodnuta v delším časovém horizontu a pokud nedochází k provozním odchylkám nebývá důvod zdroje realokovat a měnit. V letecké dopravě ale může dojít k provozním změnám velmi rychle, ať už kvůli počasí, nebo jiným faktorům. Poté musejí být zdroje letištěm a handligovou společností přerozděleny.

Na již zmíněných koordinovaných letištích je velmi důležitá každá minuta a je zde velmi důležitá plynulost procesu. Práce se proto zabývá jakým způsobem může letecká společnost zasahovat do výběru zdrojů, pokud dochází k výše zmíněným provozním odchylkám, pro zefektivnění procesu a výkonu samotné linky. Za cíl si klade navrhnout generické řešení pro aktivní vstupování letecké společnosti do taktického rozhodování při alokaci letadlových stání, na který je následně aplikován vzorek dat z pražského letiště.



1 Analýza současného stavu

Tato kapitola se věnuje problematice týkající se letištních a handlingových zdrojů. Popisuje jakým způsobem jsou přidělovány letištní sloty, dále se zabývá fungováním letiště jako takového, jedna kapitola je věnována i konceptu A-CDM, který je na letištích s velkou hustotou provozu velmi často využíván. Identifikuje dopady provozních odchylek od standardních plánů, následné přerozdělení zdrojů a jeho dopady na zpoždění výkonu linky.

1.1 Slotová koordinace

Odchytky v letových trajektoriích způsobují reorganizaci provozu na letištích. Největší dopady jsou vidět právě na letištích, které jsou plně koordinované, protože na letištích úrovně 3 provoz silně převyšuje kapacitu letiště, nebo infrastruktura letiště je nedostatečná a v krátkodobém horizontu není možné její vylepšení. Podobný problém mají i letiště, kde byl zaveden systém dobrovolných časových slotů. Toto schéma se ovšem ukázalo pro letiště jako neefektivní a není moc rozšířené. (1)

Sloty jsou časové intervaly v daný den, ve kterých letadlo může vzlétnout, nebo přistát. Je nutné rozlišovat letové povolení a slot. Letová povolení vydávají řídicí letového provozu na základě přiřazeného slotu, naopak sloty vydává slotový koordinátor. Sloty jsou vytvářeny na základě EIBT (Estimated In Block Time) a EOBT (Estimated Off Block Time). (1)

V České republice vyžaduje slotovou koordinaci pouze jediné letiště, Letiště Václava Havla Praha. Slotovou koordinaci zajišťuje společnost Slot Coordination Czech. V rámci této společnosti byla vytvořena Slot Allocation Comitee, která vypomáhá koordinátorům slotů a konzultuje s nimi řešené problémy. Mezi členy Slot Allocation Comitee patří nejdůležitější operátoři na daném letišti. V Praze to jsou například zástupci Letiště Praha, CSA Handling, Menzies, Smartwings, nebo Ryanair. (2)

Role aerolinky

Letecké společnosti si musejí před zahájením letů na dané koordinované letiště zajistit slot. Ne vždy je ale možné slot dostat, například v dopravní špičce je pravděpodobné, že slot udělen nebude. Aerolinka musí s takovou událostí počítat a být tomu připravena své plány přizpůsobit. Pravděpodobné možnosti jsou buď let posunout na jinou hodinu, případně naplánovat let na alternativní letiště.



Společnost zasílá žádost o udělení slotu ve formátu zprávy Slot Clearance Request (SCR), která se skládá ze tří hlavních částí; hlavičky, předávané informace a zápatí zprávy. V hlavičce zprávy bývá uveden typ zprávy, kontakt na společnost, o jakou letovou sezonu se jedná, datum a letiště na jakém o slot žádáme. (3)

Hlavní část zprávy s informacemi obsahuje informace o datu a času přiletu a odletu letadla, maximální kapacita a typ letadla. V této části také najdeme podrobnější informace o letu na dané letiště a let z něj, včetně destinace a časů odletu a přistání. V zápatí zprávy najdeme poznámky, či zdvořilostní fráze. (3)

1.2 Letištní zdroje

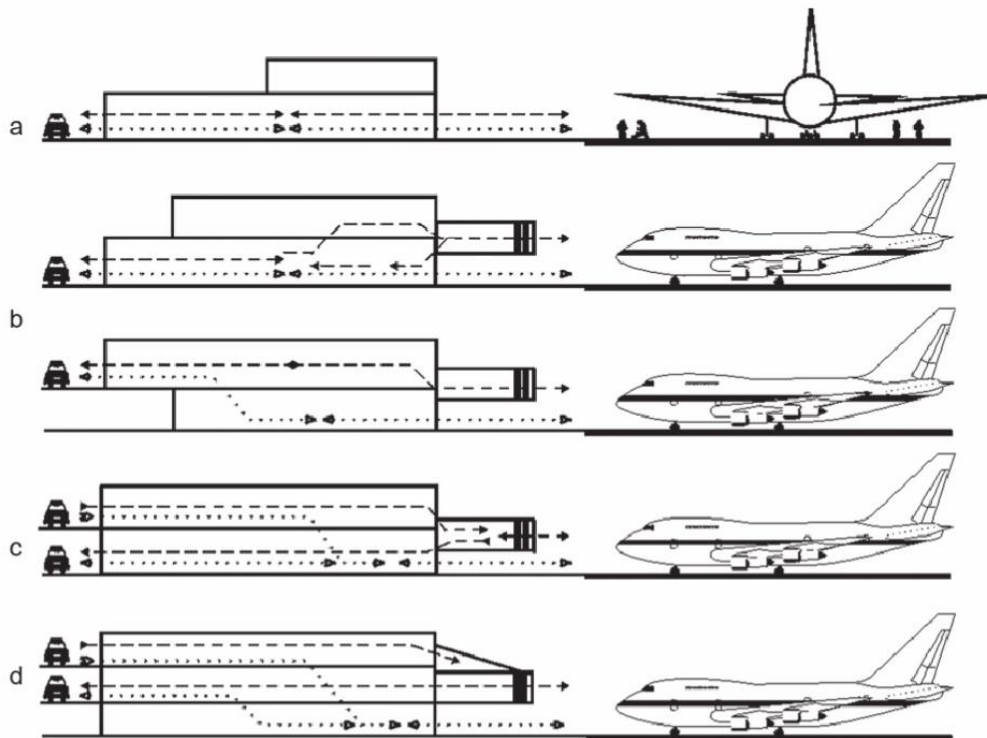
Letištní zdroje jsou klíčové části infrastruktury na letišti, jsou přidělovány právě letišťům a jejich správná a včasná alokace je zcela zásadní pro plynulý chod letiště a pouze díky zdrojům může celé letiště plynule fungovat. Mezi letištní zdroje řadíme například letadlová stání, terminál, gaty, nebo odletové přepážky. Pro koordinovaná letiště je důležitá dostupnost všech zdrojů. Pokud by vypadl i jeden zdroj, může pro chod celého letiště nastat velký problém.

1.1.1 Terminál

Část letiště, která tvoří v cestujících nejvíce vzpomínek a ovlivňuje celkový dojem, je právě terminál, výstavní skříň pro většinu letišť. Je důležité si uvědomit, proč právě do terminálů letiště tolik investují. Bez cestujících by létat nešlo, proto se letiště snaží udržovat je v co nejlepším stavu, aby pro ně utvořilo příjemný zážitek. Je nutné, aby terminály ale plnily také svou funkčnost, odbavování cestujících, bezpečnostní kontroly a umožňovaly ideálně přímý nástup cestujících do letadel.

Terminál slouží k napojení vzdušné dopravy na tu pozemní a naopak. Z toho plynou dva proudy pasažérů. Jedni využívají letiště pro odlet, druzí pro přílet. Pro plynulý chod letiště je vhodné tyto cestující oddělit. Řešením může být například dvoupodlažní terminál, kdy jedno patro složí odletům a druhé příletům (takto je řešeno například Letiště Praha). Druhou možností je tzv. horizontální dělení kdy jsou v jedné rovině odletová i příletová hala, ale jsou odděleny fyzickou bariérou. (4)

Je zřejmé, že dva proudy pasažérů se střetnou při nástupu a výstupu do letadla u nástupních mostů. V některých případech je pro zaručení bezpečnosti zavedena pevná bariéra, která brání cestujícím po přistání vstup do prostor, kde se nacházejí cestující pro odlet. Schémata řešení terminálů jsou zobrazena na obrázku níže (Obrázek 1-1). (4)



Obrázek 1-1: Schéma toku cestujících terminálem (4)

Check-in

Cestující se před letem musejí odbavit. K odbavení na letišti slouží právě check-in přepážky. Přepážky se zpravidla otevírají dvě a více hodin před letem a v určitý čas před odletem se také zavírají. Na Letišti Praha to bývá 40 minut před odletem letadla, ovšem časy se mohou měnit dle destinace a aerolinky. Cestující předkládají pracovníkovi pasy a letenku, případně zavazadla k odbavení, a je jim vydán boarding pass, palubní vstupenka opravňující cestujícího pro vstup do letadla. Na obrázku (Obrázek 1-2) je foto check-in přepážky na Letišti Praha. (5)



Obrázek 1-2: Check-in kiosky na Letišti Praha (5)

Self check-in

V rámci modernizace letiště začaly využívat tzv. self check-in kiosky (Obrázek 1-3). Cestující je mohou využít pro rychlé odbavení, pokud tak již neučinili přes internet. Pro ověření identity cestující naskenují svou letenku, buď přímo z mobilního zařízení, nebo vytištěnou a systém jim vydá boarding pass (palubní vstupenku). Systémy mohou nabízet například výběr sedadla, či jiné služby. Pro odbavení zavazadel je ale nutné zajít přímo na přepážku check-in, nebo k self baggage drop. Některé self check-in kiosky mohou nabízet vytisknutí „tagů“ pro zavazadla, která poté cestující snadno podají na self baggage drop, kde sami odbaví svá zavazadla a odevzdávají je na pojízdné pásy. Velká mezinárodní letiště již většinou takovéto systémy mají a Letiště Praha není výjimkou, mimo jiné tyto systémy využívají letiště v Kodani, nebo například v Lisabonu. (6)



Obrázek 1-3: Self Check-in kiosky na Letišti Praha (6)

Pasová kontrola

U všech letů mimo hranice Schengenského prostoru je potřeba projít pasovou hraniční kontrolou. Kontrolu většinou zajišťuje místní policie, pro Českou republiku tedy Policie České republiky. Setkat se můžeme s klasickou přepážkou s policistou, který identitu ověří srovnáním pasové fotografie a daného cestujícího. V Evropské unii byly zavedeny biometrické pasy, díky nimž mohou občané EU využít systémy automatické biometrické kontroly. Na Letišti Praha funguje systém EasyGO (Obrázek 1-4) od společnosti Vítkovice IT solutions a.s. sídlící v Ostravě. Automatický systém urychluje hraniční kontrolu a snižuje čas potřebný k projití od check-in ke gatui. (16)



Obrázek 1-4: Pasová kontrola na Letišti Praha (16)

Bezpečnostní kontrola

Pro vstup do neveřejné části letiště je potřeba projít bezpečnostní kontrolou. Ta zaručuje, že se v této oblasti nevyskytne žádný cestující s předměty, které by mohli ohrozit bezpečnost letu a ostatních cestujících. Cestující jsou kontrolováni pomocí rámců, které detekují kovové předměty, případně modernější technologií celotělovými skenery. Ty jsou bezpečnější a lidé nejsou vystavováni rentgenovému ani ionizujícímu záření. Příruční zavazadla jsou kontrolována pomocí rentgenu, případně je podezřelé zavazadlo kontrolováno bezpečnostním agentem.

Nově bývají implementovány moderní systémy pro urychlení toky cestujících, kde jsou dvě stanoviště pro zpětné vyzvednutí kontrolovaného zavazadla. Jedno stanoviště pro zavazadla, která nebyla vyhodnocena jako podezřelá a cestující si je mohou rovnou vyzvednout, druhé je vyhrazeno pro dodatečnou kontrolu. Tento systém funguje i na Letišti Praha.

Gate

Letištní gate je dalším ze zdrojů, se kterými se cestující setkávají při průchodu letištěm. Jedná se o místo odkud se cestující přesouvají z části terminálu k letadlu. Cestující zde čekají na odlet linky a kontrolují se zde při nástupu do letadla palubní vstupenky. V případě decentralizované bezpečnostní kontroly (např. Letiště Praha Terminál 1), se v těsné blízkosti gate nachází právě bezpečnostní kontrola.



Tento zdroj je velmi úzce navázaný na letadlová stání, především pro kontaktní stání u terminálu. Kontaktní letadlové stání má svůj přidělený gate a lze jej měnit pouze převozem cestujících autobusem k jinému gate, což dává smysl pouze ve speciálních případech. Rozdílný případ je ale u vzdálených stání, kde se cestující od gate k letadlu převážejí autobusy. V tomto případě může být alokován téměř libovolný gate, avšak většina letišť využívá pro nástup do autobusů speciální gaty.

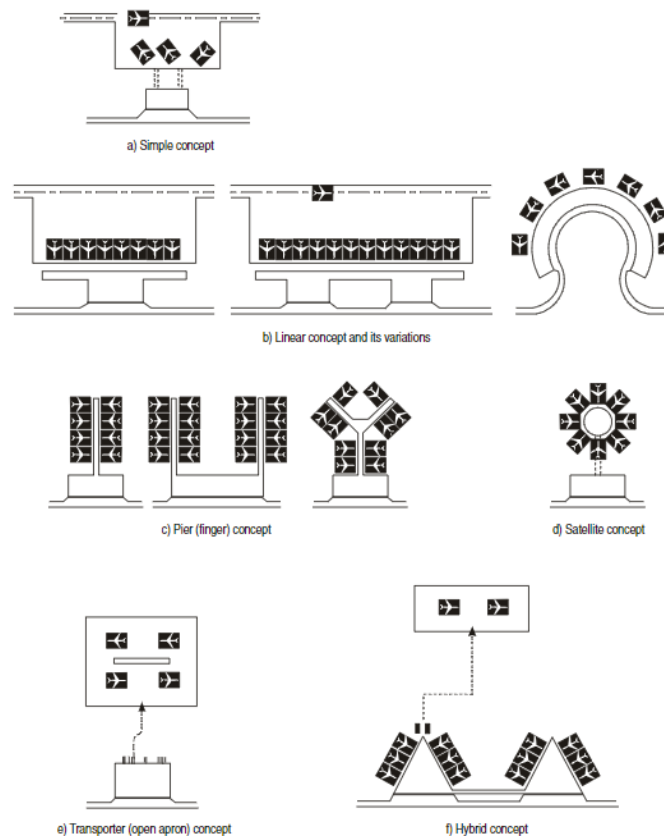
Příletový pás

Dalším ze zdrojů, které jsou alokovány letišťem jsou příletové pásy. Tyto pásy slouží pro vyzvednutí zavazadel cestujícími po příletu. Pásy se nacházejí až za pasovou kontrolou a po jejich vyzvednutí již pouze procházejí přes celnici, v případě že mají položky k proclení. Zavazadla jsou po příletu letadla dovezena na místo vyložení odkud právě putují na konkrétní pás. Výhodou pásů, oproti jiným zdrojům, je že jeden let zabere tento zdroj, v ideálním případě, jen na několik minut, dokud si cestující svá zavazadla nevyzvednou. Poté může pás využít další přílet.

1.1.2 Airside

Apron

Důležitou roli při designu terminálu hraje požadovaný tvar apronu. Na letištích po světě jich nalezneme celou řadu. Tvar významně ovlivňuje například způsob, jakým letadlo zajíždí a vyjíždí ze stojánky. Tvar také ovlivňuje, jaký počet letadel může terminál obsloužit a také vzdálenosti, které musí cestující k letadlu ujít. Obrázek 1-5 popisuje možné tvary apronů, se kterými se můžeme setkat.



Obrázek 1-5: Tvary apronů (7)

Simple concept bývá využíván nejčastěji na malých regionálních letištích. Stání jsou formou „self-manuvering“ a letadla jsou tudíž schopna na stání vjet i vyjet použitím vlastního pohonu. Nevýhodou může být ofukování apronu výfukovými plyny z motoru při vyjíždění letadla ze stání a riziko uvolnění předmětů na ploše. (4)

Lineární concept je velmi jednoduchý svým uspořádáním. Letadla stojí přímo vedle sebe. Je zajištěn snadný přístup cestujících i techniky k letadlům. Koncept je velmi přehledný. Letadla jsou ze stání vytlačována pomocí tahačů a vlastní pohonnou jednotku používají až při pojíždění. Nevýhodou pro velká letiště, používající tento typ uspořádání může být velká vzdálenost mezi hlavní částí a krajními stáními. Proto se u velkých letišť nejčastěji používá *pier concept*. (4)

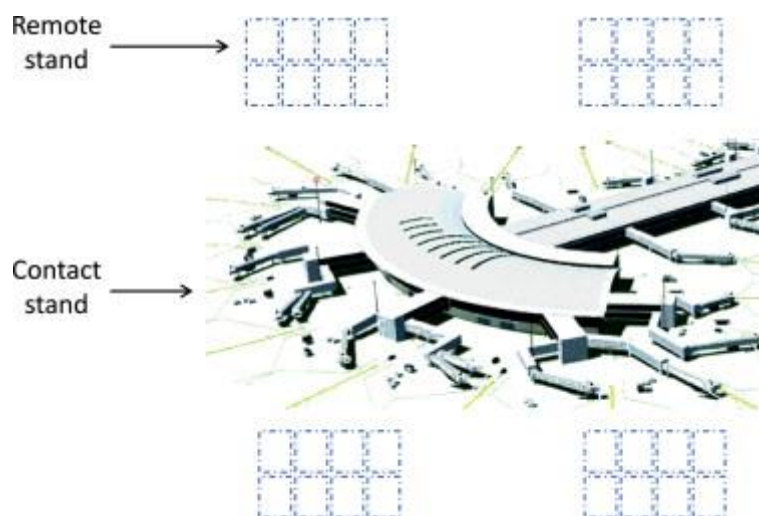
Tento koncept umožňuje koncentraci více letadel u centrální části a zároveň zůstává velmi přehledný. Z centrální části budovy terminálu vede „prst“, kde se po obou stranách nacházejí stání pro letadla. Stání jsou, stejně jako u lineárního konceptu, typu „nose-in“. Nevýhodou je malý prostor pro manévrování a to jak letadel, tak techniky. Problém může nastat při přiletu

letadla, které má alokované stání právě u takového typu apronu a zároveň odlet jiného letadla ze stejné části apronu. Poté musí přilétající letadlo počkat, až odlétající stroj odjede. Dále je zde vyšší riziko poškození letadel o letištní zařízení či techniku. (4)

Letištní stání

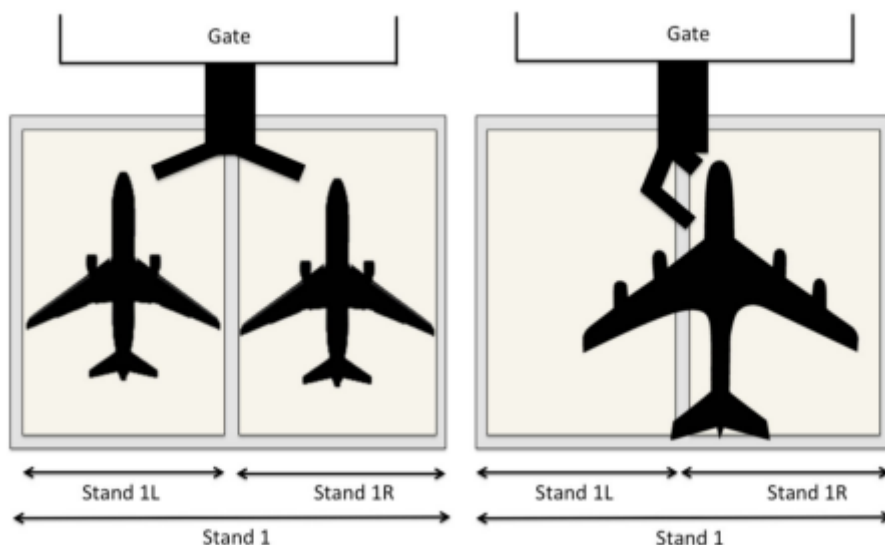
Letištní stání se nacházejí na apronu. Z hlediska umístění vůči terminálu je rozdělujeme na kontaktní a vzdálená. Kontaktní stání se nacházejí přímo u budovy terminálu a cestující se díky tomu mohou přemístit do letadla pouze nástupním mostem. Zároveň je to výhodou i pro odbavení letadla, protože se vozidla pro odbavení mohou pohybovat podél terminálu a nemusejí dávat přednost letadlům na ploše.

Vzdálená stání se nacházejí také na apronu, ale jsou od terminálu oddělena takovou vzdáleností, že cestující musejí pro nástup do letadla využít autobusy. Zároveň se musí většina vybavení potřebná pro handling přesunout právě na toto stání, což v případě hustého leteckého provozu na ploše může být zdlouhavé. Na obrázku 1-6 je znázorněno rozložení vzdálených (remote) a kontaktních (contact) stání.



Obrázek 1-6: Rozložení kontaktních a vzdálených stání na letišti (21)

Je důležité zmínit, že ne vždy je gate přiděleno pouze jedno letadlové stání. Na obrázku 1-7 je ukázáno, že jeden gate se dá využít i pro nástup do dvou menších letadel, nebo může být využit pro rychlejší nástup do velkého letadla pomocí dvou nástupních mostů.



Obrázek 1-7: Rozhraní gate – stání (20)

1.3 Handlingové zdroje

1.3.1 Personální

Handlingová společnost disponuje personálními a technickými zdroji. Za personální zdroje považujeme zaměstnance společnosti, kteří mohou fungovat samostatně, nebo obsluhovat technické zdroje. V současné době je velký nedostatek personálních zdrojů, proto je velmi důležité plánování a alokace personálních zdrojů.

Na Letišti Praha, podobně jako na většině ostatních letišť, obsluhují personální zdroje handlingové společnosti například check-in kiosky.

1.3.2 Technické zdroje

Technické zdroje jsou nezbytným vybavením handlingových společností. Jsou potřebné především během odbavení letadla na stání. Jak již bylo zmíněno v textu výše, je nezbytné, aby technické handlingové zdroje obsluhovali zaměstnanci. Ne u všech je ale nutná neustálá přítomnost zaměstnance.

Bus

S tímto zdrojem se cestující běžně setkávají při přeježdění ze vzdálených stání na letištích, nebo na letištích kde není možný přímý výstup cestujících do terminálu. Jedná se většinou o

velkokapacitní autobusy, které mají omezený počet míst k sezení a velký počet míst na stání. Díky tomu je pak kapacita autobusu co možná největší.

Níže je na obrázku (Obrázek 1-8) vidět největší letištní autobus od firmy Cobus, která vyrábí letištní autobusy již od roku 1990. Firma uvedla do provozu v roce 2016 tento model i s elektrickým pohonem. Vzhledem k relativně krátkým vzdálenostem na letišti není dojezd na jedno nabytí příliš omezující. (14)



Obrázek 1-8 – Letištní autobus Cobus 3000 (14)

V současné době firma nabízí tři velikosti těchto autobusů. (14)

- Cobus 3000 – varianta pro 110 cestujících
- Cobus 2700 – varianta pro 96 cestujících
- Cobus 2700S – varianta pro 77 cestujících

Díky těmto variantám si může letiště vybrat nejvhodnější kapacitu autobusů. Pro menší regionální letiště, která jsou obsluhovaná letadla s malou kapacitou mohou být vhodné menší autobusy, naopak pro převoz cestujících od letadel pro střední vzdálenosti, je potřeba větších autobusů. Například, pokud se využije autobus pro převoz cestujících z letadla Boeing 737 s kapacitou 189 cestujících, jsou potřeba minimálně dva střední autobusy.

Pozemní energetická jednotka (GPU)

Pokud je letadlo zaparkované na stojánci a nevyužívá vlastní zdroj napájení, je využit pozemní zdroj napájení GPU (Obrázek 1-9). Jedná se o dieslový zdroj elektřiny, který bývá na

vozíku, tudíž je pohyblivý a není nutné ho mít pevně přidělený ke každému stání. Z důvodu hlukových omezení bývá použití vlastní jednotky APU (Auxiliary Power Unit) limitováno. Například na pražském letišti letadlo musí do 5 minut po zastavení na stání vypnout APU. V případě odletu může zapnout APU nejdříve 20 minut před očekávaným odletem. V době kdy letadlo nemá zapnuté APU je nutno ho připojit k GPU, pro zajištění napájení letadla elektřinou. (8) (9)



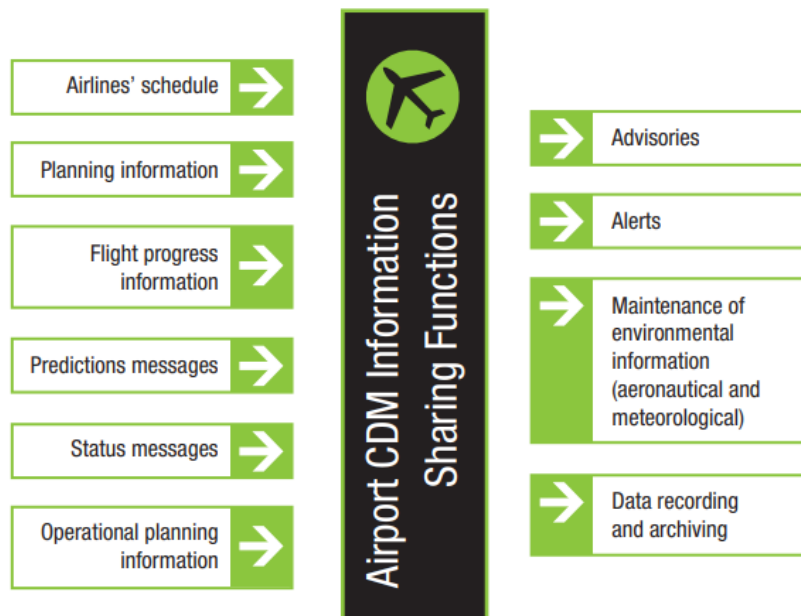
Obrázek 1-9: Pozemní zdroj napájení

1.4 A-CDM a provozní centrum letiště

V rámci Airport Collaborative Decision Making (A-CDM) dochází ke vzájemné komunikaci a sdílení dat mezi letištěm, leteckými společnostmi, pozemními handlingovými společnostmi, řízením letového provozu a sítí ATM (Air Traffic Management). Cílem systému, o kterém se začalo uvažovat již roku 1990, je zajistit plynulejší a předvídatelnější provoz. Systém zefektivňuje proces alokace zdrojů v případě odchylek od plánu a je schopný je správně přerozdělit. Funguje díky včasné výměně informací a dat, na základě kterých je poté schopen redukovat dopady změn na zpoždění výkonu linky. (10) (11)

Pro alokaci zdrojů je tento koncept velké usnadnění. Protože pro odbavení letadla je zapotřebí jak handlingových, tak letištních zdrojů, je důležitá komunikace mezi letištěm a handlingovou společností. Díky usnadnění vzájemné komunikace partnerů v rámci A-CDM, lze změny efektivně a především rychle komunikovat.

Celý koncept A-CDM se skládá z šesti základních částí. První částí je sdílení informací mezi výše zmíněnými subjekty. Sdílení informací zajišťuje větší prediktabilitu a zajišťuje lepší situační povědomí subjektů. Platforma, kterou partneři využívají pro sdílení dat, se nazývá ACISP (The Airport CDM Information Sharing Platform). Na obrázku (Obrázek 1-10) můžeme vidět nejdůležitější informace vstupující do ACISP a také výstup z této platformy. (13)

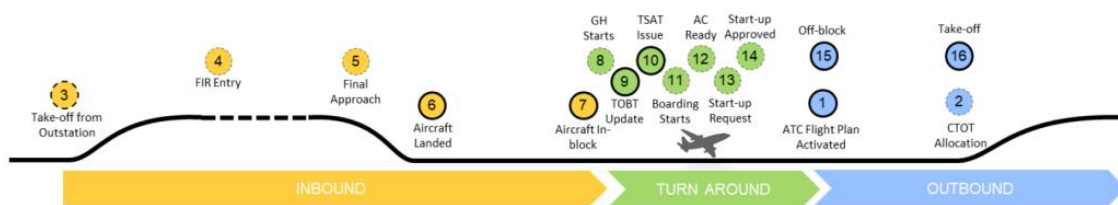


Obrázek 1-10: Sdílení informací mezi partnery (12)

Další částí je tzv. „Milestone approach“. Jsou definovány jednotlivé milníky související s fází letu. Na CDM letištích proces začíná již odletem letadla z destinace, pokračuje vstupem do FIRu, přistáním, odbavením letadla na zemi a odletem. Milníky jsou zobrazeny na obrázku pod kapitolou (Obrázek 1-11). Každý partner procesu je zodpovědný za jiné milníky. Jakmile přilétající letadlo postupuje jednotlivými milníky, získávají se detailnější informace o letu a zpřesňují data, nebo například časy.

Nejvýznamnějšími milníky jsou z hlediska alokace zdrojů první, druhý a třetí, případně u velkých FIR (Flight Information Region) a dlouhých letů i čtvrtý milník. Zmíněné milníky se týkají odletu letadla a dávají již přesnější informace o času přiletu do destinace. Jakmile je známo, že letadlo přiletí na letiště se zpožděním, nebo naopak dříve, může systém CDM vyhodnotit situaci a zdroje přerozdělit. Díky včasné informaci o přiletu letadla, je čas zdroje správně přerozdělit a jednotlivé subjekty na letišti se na tyto změny připravit. Na letištích bez CDM a nekoordinovaných tyto informace o času přiletu mohou chybět a realokace zdrojů

probíhá až těsně před přiletem letadla. Čtvrtý milník může být významný například při dlouhých letech, kdy se i po vzletu letadla může čas přistání významně měnit. Poté co letadlo vstoupí do FIRu země destinace, můžeme již s větší přesností vypočítat čas příletu. Tento milník je také důležitý pro letiště, která se nacházejí ve velkých FIRech, kde významně zpřesňují informaci o času příletu s dostatečným předstihem. Pokud by se jednalo o malý FIR, informace o dosažení čtvrtého milníku by již na letiště dorazila pozdě a pro efektivní realokaci zdrojů by nebyl dostatek času a byly by pravděpodobné následky v podobě zpoždění navazující linky. Pro tuto práci je dále významný sedmý a osmý milník. Jedná se o příjezd letadla na stání (AIBT) a čas zahájení odbavení handlingovou společností (ACGT). V případě, že se jedná o první let dne, nebo bylo letadlo parkováno po delší dobu, počítá se s časem ACGT. Ve velkém množství případů začíná proces odbavení hned po příjezdu letadla na stání a v tu chvíli se počítá pouze s časem AIBT. Dalším důležitým milníkem je Actual Off-Block Time (AOBT). Jedná se o čas, kdy letadlo opustí stání, nebo je z něj vyláчено. (12)



Obrázek 1-11: Důležité milníky pro proces A-CDM v souvislosti s fází letu (13)

Provozní centrum letiště

Provozní centrum letiště, Airport Operations Centre (APOC), je dohoda mezi partnery na letišti. V rámci této dohody jsou ustanoveny povinnosti a zodpovědnosti jednotlivých partnerů. Provozní centrum je povinno zajistit, že je ustanoven provozní plán letiště (str.24) a je v rozmezí D-6 až D-0 naplňován. Proces A-CDM začíná v čase EOBT – 3 hod a zabývá se taktickými změnami v provozní den, naopak AOP (Airport Operations Plan) počítá s prvním plánováním již půl roku dopředu.

1.4.1 Provozní plán letiště

Provozní plán letiště je velmi úzce spjat s A-CDM. Jsou zde ovšem aspekty, ve kterých se koncepty liší. Zcela zásadní rozdíl je, že AOP je produkt, který pracuje s různými scénáři,



naopak A-CDM je proces. Provozní plán letiště se nezaměřuje pouze na chod letiště na airside, ale i mimo něj.

1.5 Alokační plán letiště

1.5.1 Pravidla alokace

Jedná se o pravidla, kterými je vázána alokace jednotlivých zdrojů. Práce tato pravidla rozděluje na měkká a tvrdá. Je důležité zmínit, že tato pravidla se pro každou leteckou společnost i typ letadla mohou lišit.

Měkká pravidla

Jedná se o pravidla, která jsou požadavky letecké společnosti, avšak může být alokován i jiný zdroj, bez významného omezení odbavení letadla. Do měkkých pravidel alokace se řadí povětšinou ta pravidla, která zkvalitňují služby cestujícím. Společnost například může požadovat kontaktní stání, protože je pro cestující pohodlnější. Pokud ale není k dispozici, lze letadlu alokovat i jiné stání. Dalším příkladem mohou být například check-in kiosky, kdy společnost může požadovat pět kiosků, ale pokud letiště není schopné v danou chvíli alokovat tento počet, společnost je schopná akceptovat i počet nižší s danou minimální hodnotou, například tři kiosky. Podobná situace může nastat u alokace autobusů, kdy standardně společnost požaduje čtyři autobusy, při nedostatku zdrojů je ale ochotná akceptovat pouze dva, za cenu snížení kvality poskytovaných služeb cestujícím.

Tvrdá pravidla

Jedná se o ta pravidla, která musejí být zachována a v případě přidělení jiného zdroje, dojde k vážným problémům, které neumožní odbavení letadla. Mezi tvrdá pravidla patří většinou ta, která souvisejí s kapacitou, nebo rozměry letadla. Stání mají často omezený maximální rozpětí letadla, které na ní může být odbavováno. Dalším tvrdým pravidlem může být počet nástupních mostů na daném stání. Pokud je odbavováno rozměrově velké letadlo, tak pro nástup cestujících společnosti často vyžadují právě dva mosty. Mezi další tvrdá pravidla patří kapacita gatu, který náleží danému stání (pouze pro kontaktní stání).

Významným tvrdým pravidlem alokace stání je obecně typ letadla. Pokud se jedná o typ s nízkou polohou trupu a vlastními schody, společnosti vyžadují alokaci vzdáleného stání, protože není potřeba, aby byly handligem přistavovány pojízdné schody.



1.6 Limitace současného stavu

V současné době letecká společnost v taktickém horizontu do alokace letadlových stání nemá mnoho možností zásahu. V případě provozních odchylek jsou stání většinou realokována letišťem dle původně nastavených požadavků, na kterých se společnost a letiště dohodly.

Letiště naopak řeší hlavně problémy s tím, aby bylo schopné letadlům zajistit potřebná stání. Limitující je počet stání, která jsou pro letadlo použitelná. Stání může být například obsazené jiným letadlem, které bylo během odbavení opožděno.

V případě provozních odchylek dochází pro handling k problémům především s personálními zdroji. Je v tom případě řešit tuto situaci například přesčasy. Handlingová společnost, v případě zpoždění, nemusí společnosti garantovat, že je včas odbaví. Pokud jsou kapacity dostupné, tak není problém společnost odbavit. Pokud kapacity dostupné nejsou, bývá zajištěno alespoň základní odbavení, zašpalkování letadla, přistavení schodů a připojení GPU. Handling společnosti následně pošle očekávaný čas, kdy letadlo budou schopni odbavit.



2 Metodika

V této době koordinová letiště v Evropě většinou podléhají systému A-CDM. V tomto komplexním systému rozhodování vystupuje mnoho subjektů, ale z hlediska alokace letadlových stání byly určeny hlavními subjekty letecká společnost, handlingová společnost a letiště. Pro prvotní kvalitativní analýzu byly provedeny konzultace s těmito zástupci, vystupujícími na pražském letišti, konkrétně Smartwings, Czech Airlines Handling a Letiště Praha. Letiště Praha pro práci poskytlo data, na základě kterých byla provedena kvantitativní analýza, která je popsána níže v kapitole 2.2.

Tak aby bylo možné navrhnout generické řešení pro vstupování letecké společnosti do alokace letištních zdrojů, byly vytvořeny algoritmy rozhodování. Algoritmy jsou blíže popsány v kapitole 2.4.

2.1 Kvalitativní analýza

Kvalitativní analýza spočívala v konzultacích s partnery vystupujícími na Letišti Praha. Byly jim položeny otázky, díky nim byla analyzována aktuální situace alokace všech zdrojů.

Czech Airlines Handling

Zástupci Czech Airlines Handling byli dotázáni otázkami, kterých cílem bylo zjistit:

- Jakými zdroji handlingová společnost disponuje,
- Jaké požadavky mají letecké společnosti na handlingové společnosti při alokaci zdrojů,
- Kdy začíná alokační proces a kolik má stupňů,
- Jaké jsou komunikační kanály mezi leteckou společností a handlingovou společností obecně a také ve vztahu k alokaci letištních zdrojů,
- Jaké jsou dopady na provoz handlingové společnosti v případě taktických změn v alokačních plánech,
- Jakým způsobem dnes letecké společnosti zasahují takticky do procesu alokace handlingových zdrojů,
- Jaké jsou možnosti handlingové společnosti zasahovat do procesu alokace letištních zdrojů v různých fázích plánování.



Czech Airlines Handling zajišťuje kompletní odbavení letadel i cestujících, včetně zajištění paliva. Palivo ovšem není součástí handlingové smlouvy. Společnost disponuje check-in agenty, agenti reklamace zavazadel, odbavení u gatu, transfer agenti. Z pohledu odbavení letadel se jedná o pozemní zdroje, schody k letadlu, odmrazování letadel.

Co se týče požadavků letecké společnosti, tak ty jsou specifikovány v handlingové smlouvě. Handlingová smlouva je uzavírána mezi leteckou společností a handlingovou společností a zabývá podmínkami jakými bude letadlo dané společnosti odbaveno. Pokud dochází k provozním odchylkám, bývají tyto změny komunikovány dopředu e-mailem a nedochází k většímu vlivu při alokaci zdrojů. Některé společnosti mají nastaveno, že pokud přiletí daným letadlem mají požadavek na dvě přepážky, pokud přiletí jiným, chtějí přepážky tři.

Alokační proces využívají pouze pro personální zdroje, co se týče zdrojů technických, tak zde mají dostatek zdrojů a jejich plánování není potřeba. První stupeň alokačního plánu pro personální zdroje začíná u ročního finančního plánu. Pracuje se zde s historickými daty a od toho se odvíjí personální plán. Dále probíhají měsíční plány, kdy už je jasný letový řád na dané období. Zpřesňování probíhá dále během měsíce, řešeno většinou rušením směn, či přesčasy.

Prioritou komunikace s leteckou společností je handlingová smlouva, dále se používá e-mail. V případě provozních záležitostí se často využívá i telefonického spojení. Některé společnosti například mohou zpřístupnit webovou aplikaci, do které má handling přístup a získat potřebné informace odtud. Případně jsou zasílány provozní zprávy load message, které obsahují informace o nákladu.

V současnosti letecké společnosti do procesu takticky nezasahují a z pohledu handlingové společnosti se ani nezdá, že by mohly. Čím letecké společnosti mohou pomoci handlingu, je přenos veškerých informací o letu. Jedná se především o informace, které standardní load message neobsahují, ale pro způsob odbavení hrají roli. Příkladem můžou být nadměrné zásilky, nefunkční APU (bude potřeba využít jet-starter), nebo že sedačky v dané řadě nelze obsadit, což je v případě plného letadla velký problém. Čím dřív má handling tuto informaci, tím dřív mohou zasáhnout například pro vyložení zavazadel.

Co se týče možností handlingu zasahovat do rozhodovacího procesu letiště, tak systémy handlingové společnosti jsou napojeny na systémy letiště, tudíž zásah je reálný. Komunikace leteckých společností bez zástupců na Letišti Praha probíhá často právě přes handlingovou společnost, která tak získává informace navíc. Handling si může (spíše z dlouhodobého hlediska) klást požadavky na letiště, ale jedná se především o dlouhodobé plánování.



Smartwings

Zástupci Smartwings byly dotázány těmito otázkami

- Jaké jsou požadavky let. společnosti na handlingovou společnost a letiště z pohledu alokace letištních zdrojů (soubor měkkých a tvrdých pravidel)
- Jaké jsou taktické dopady při změnách v alokačních plánech
- Jaké jsou preference letecké společnosti při taktické intervenci

Smartwings přímo soubor měkkých a tvrdých pravidel nemají, avšak se dají identifikovat preference společnosti. Preference společnosti je na pražském letišti v kontaktních stáních, avšak pokud jim letiště alokuje vzdálené stání, v současné době tuto situaci nijak neřeší. V některých případech má společnost požadavek na letiště o přidělení jiného terminálu, než na jaký daný let patří. Pokud přilétá letadlo z Schengenského prostoru, podle nastavených pravidel na Letišti Praha by mělo být přidělené stání u terminálu 2, avšak pokud je navazující linka daného letadla do země mimo Schengenský prostor, společnost může žádat stání u terminálu 1. V takovém případě jsou cestující z příletu převezeni autobusy pro vyzvednutí zavazadel do terminálu 2.

Protože na letišti v Praze funguje koncept A-CDM (blíže popsán kapitole 1.4), tak taktické změny udělané letištem jsou rychle komunikovány i na handlingovou společnost, která zajišťuje odbavení letadla. V případě realokace stání, tak handlingová společnost má informace pro přemístění zdrojů včas a učiní tak, pokud má zdroje k dispozici. Pro leteckou společnost se jedná o velké usnadnění, protože tím pro ně odpadá spousta komunikace.

2.2 Kvantitativní analýza

Kvantitativní analýza proběhla na základě získaných dat od Letiště Praha. Na začátek je představeno, jaká data od Letiště Praha byla k dispozici. Jednalo se o vzorek dvou měsíců z roku 2022 a to březen a duben.

Data získaná od letiště jsou pro práci důležitá při stanovení koeficientů zpoždění pro algoritmy popsaný dále v práci. Nyní jsou pro představu popsána získaná data. V Tabulka 2-1 jsou vidět první sloupce získaných dat. Sloupec 1 (Flt Code) představuje unikátní kód letu. Každý jednotlivý let má tedy svůj kód. Sloupec 2 (ArrDep) popisuje jestli se jedná o odlet či přílet letadla. Přílet je zastupován znakem „A“ a odlet je zastupován znakem „D“. V dalším sloupci



je číslo letu, které označuje opakované lety společnosti na dané letišti. Sloupec s handlingovou společností označuje, jaká handlingová společnost let odbavovala. V pátém sloupci je informace o kategorii letu, tedy jestli se jednalo o let s pasažéry, technické mezipřistání, nebo o let s nákladem. Mezi nejčastější kategorie patří „normal service“, „technical-stop“, „cargo/mail“. Registrační značka letadla je uveden v šestém sloupci pod názvem „AcftRegCode“. Každé letadlo má přidělenou svou registrační značku, první nebo první dvě písmena označují zemi registrace letadla. Navazuje na to sloupec 7, kde je uveden typ letadla v kódovém značení asociace IATA. Dalším důležitým údajem je dopravce, který je uveden ve sloupci s názvem „Carrier“.

Flt Code	ArrDep	FltName	Handlingová společnost	FltCategoryCode	AcftRegCode	AcftCode IATA	Carrier
133175139	A	EJU2581	MA	Normal Service	OEIVE	32A	EJU

Tabulka 2-1: Ukázka z dat od Letiště Praha, část 1

V Tabulka 2-2 jsou ukázána data týkající se informací o konkrétním letu. Sloupec „ALDT/ATOT“ zaznamenává čas příletu, nebo odletu letadla. Pro přílet se jedná o čas ALDT a pro odlet čas ATOT. Sloupec „ABT“ opět kombinuje dva možné typy časů. Jednak se může jednat o čas AIBT a jednak o čas AOBT. Rozpoznat o jaký čas se přesně jedná jde poměrně snadno, protože pro přílety je to čas AIBT a pro odlety čas AOBT. Stejně se chovají časy i v dalším sloupci „SBT“. Pro přílety se jedná o čas SIBT, pro odlety pak o čas SOBT. Sloupec „LastBag“ ukazuje čas, ve kterém bylo vyloženo poslední zavazadlo na příletový pás pro cestující. Sloupec „PAX“ udává počet cestujících, kteří cestovali na daném letu.

ALDT/ATOT	ABT	SBT	Last Bag	PAX
2022-03-02 11:16	2022-03-02 11:21	2022-03-02 11:35	2.3.22 11:35	143

Tabulka 2-2: Ukázka z dat od Letiště Praha, část 2

V poslední části ukázky dat (Tabulka 2-3) jsou zobrazena data o navazujícím letu letadla a data o alokovaném stání. Sloupec „Rotace (DEP)“ zobrazuje kód letu navazujícího letu. Tento údaj je tedy dostupný pouze pro přílety, toto logicky platí pro všechny sloupce, které se týkají odletu navazujícího letu, popsáné níže. Sloupec „DepFltName“ zobrazuje číslo letu, navazující sloupec dává informaci o datu odletu, tedy díky tomu snadno zjistíme, jestli byl navazující let operován stejný den jako přílet, či letadlo bylo na letišti odstaveno více dní. Informace o AOBT



najdeme ve sloupci „Dep ABT“ a udává čas, kdy letadlo při odletu opustilo stání. Následné čtyři sloupce zobrazují informaci o alokovaných stání. Tyto sloupce jsou jak pro odlety, tak pro přílety letadel. Finální stojánka zobrazuje číslo stání, na kterém bylo letadlo odbaveno, následovaná informací o čase, kdy bylo stání alokováno. Pokud došlo ke změnám v alokovaných stání, jsou vyplněny i pole ve sloupcích „Stojánka (původní)“ a „Čas alokace původní stojánky“.

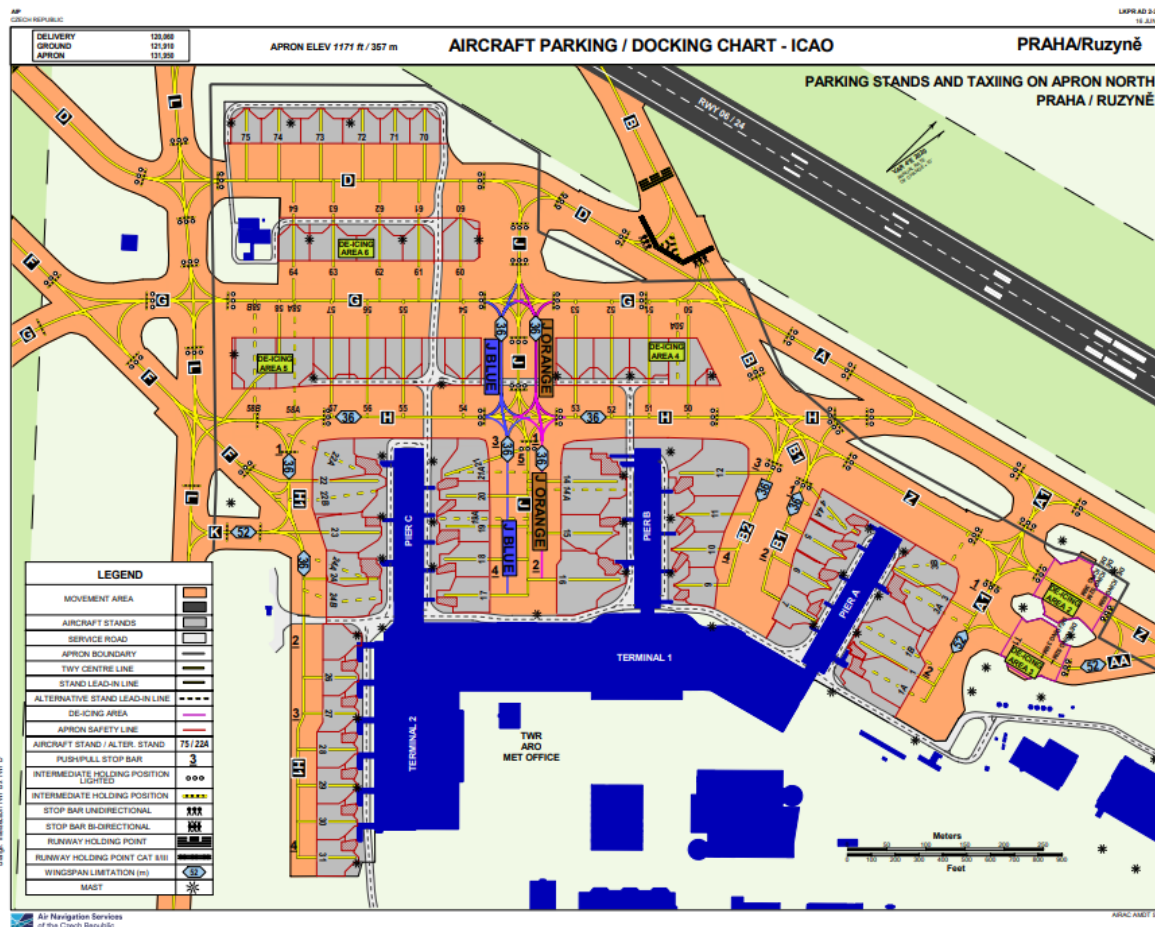
Rotace (DEP)	DepFltName	DepDate	Dep ABT	Stojánka (finální)	Čas alokace finální stojánky	Stojánka (původní)	Čas alokace původní stojánky
133196025	EJU2582	2.3.2022	2.3.22 12:03	30	1.3.22 8:29		

Tabulka 2-3: Ukázka z dat od Letiště Praha, část 3

2.2.1 Práce s daty

Pro práci je stěžejní analyzovat dopad alokovaného stání na časy odbavení letadla a z pohledu kvality poskytovaných služeb cestujícím i čas, kdy je na příletový pás vydáno poslední zavazadlo. Proto byly pro potřeby této práce využity pouze data s přílety.

Nejdříve bylo potřeba určit jaká stání jsou kontaktní a jaké vzdálená. Proto byl využit AIP České republiky, konkrétně mapa stání na pražském letišti, která je na obrázku 2-1.



Obrázek 2-1: Mapa stání na pražském letišti

Dálka odbavení letadla

Nejprve proběhla analýza jaké společnosti využívají stání kontaktní i vzdálená, tak aby mohl být sledován rozdíl mezi časy odbavení na kontaktním stání a na vzdáleném stání. Pro maximální objektivitu byly do úvahy vzaty pouze ty lety dané společnosti, které byly operované stejným typem letadla, případně podobným. Za podobné typy byly považovány ty, které jsou svými rozměry a maximální kapacitou srovnatelné.

Časy délky odbavení letadla byly vypočítány dle Rovnice 2-1. Od času AOBT byl odečten čas AIBT konkrétního letu a navazujícího letu. Protože ne všechny lety jsou srotované a odlet přímo nenavazuje na přílet, nebo jsou letadla po příletu delší dobu odstavena, tak byly vzaty do úvahy pouze ty lety společnosti, které tyto kritéria splňovaly.



Rovnice 2-1 - výpočet délky odbavení letadla

$$DEP\ ABT - ABT = \text{délka odbavení letadla (TT)}$$

Délka mezi AIBT a vyložení posledního zavazadla

Pro výpočet těchto časů byl zvolen podobný způsob jako pro výpočet času délky odbavení letadla. Do úvahy byly vzaty pouze přílety, pro odlety se tento údaj nevede a ani jej vést nelze, protože se jedná o specifikum příletů. Výpočet času pro poslední zavazadlo (Délka LB) se vypočítá od příjezdu letadla na stání (AIBT) a čas vyložení posledního zavazadla na příletový pás (LastBag).

Rovnice 2-2 - výpočet délky LB

$$LastBag - ABT = \text{Délka LB}$$

2.3 Tvorba algoritmu

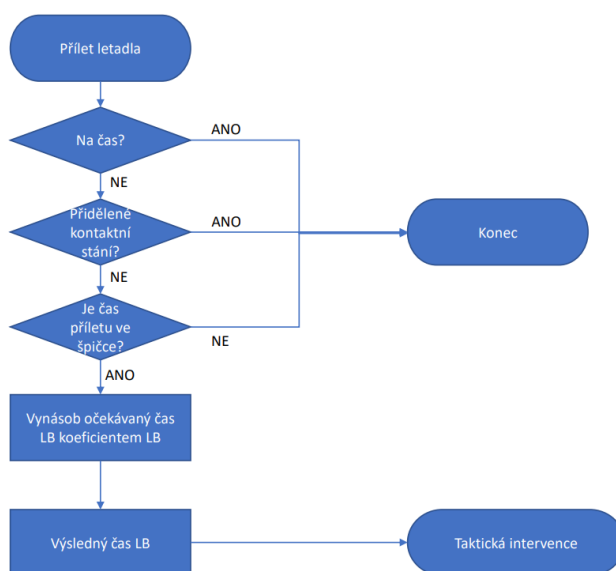
Do tvorby algoritmu byla zařazena délka odbavení letadla na stání a Tyto dva elementy byly vybrány, protože na základě kvalitativní i kvantitativní analýzy vyšlo najevo, že kritickými zdroji, u kterých by taktická intervence letecké společnosti byla vhodná jsou letadlová stání. V kvantitativní analýze bylo zjištěno, že ze vzorku dat se dají dále rozebrat právě tyto dva elementy, které se k letadlovým stáním velmi úzce vážou.

Algoritmus pro taktické rozhodování letecké společnosti je rozdělen na dva samostatné algoritmy. Jednak práce řeší algoritmus pro čas posledního zavazadla. Tento údaj je velmi důležitý pro kvalitu služeb poskytovanou cestujícím. Předpokládáme, že čím je kratší čas vyložení posledního zavazadla, tím je úroveň poskytovaných služeb vyšší. Tento předpoklad byl podpořen i konzultací se Smartwings, kde bylo potvrzeno, že prioritou společnosti je právě v úrovni poskytovaných služeb cestujícím.

Druhý obecný algoritmus řeší délku odbavení letadla. Čas odbavení letadla (ang. Turn-round Time) je pro společnost dalším důležitým aspektem. Především nízkonákladové společnosti se snaží o co nejkratší časy odbavení letadla, tak aby mohly letadlo využít co možná nejefektivněji.

2.3.1 Obecný algoritmus pro poslední zavazadlo

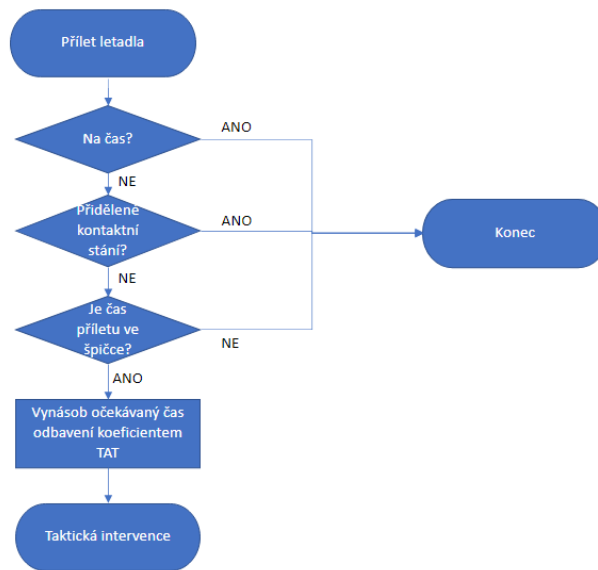
Obecný algoritmus pro poslední zavazadlo (Obrázek 2-2) začíná přiletem letadla na letišti. Pokud letoun přiletěl na čas, není důvod k zásahu letecké společnosti. Dále se algoritmus dělí na větve, kdy je letounu přiřazeno kontaktní stání. V tu chvíli společnost, z hlediska této práce, nemá možnost čas pro poslední zavazadlo uspíšit, proto tato větev končí stejně jako pro včasný přilet letounu. Pokud je letounu přiřazeno vzdálené stání, má smysl se problémem dále zabývat. Další podmínkou je přilet letounu ve dopravní špičce daného letiště. Pokud by se přilet nacházel v dopravním sedle, nenalzáme signifikantní časové rozdíly mezi časy posledního zavazadla na kontaktním a vzdáleném stání. Jestliže jsou splněny výše zmíněné podmínky, vynásobí se medián časů posledního zavazadla (LB) koeficientem dané linky a vyjde očekávaný čas LB.



Obrázek 2-2: : Obecný algoritmus pro čas do vyložení posledního zavazadla na přiletový pás

2.3.2 Obecný algoritmus pro čas odbavení letadla

Algoritmus pro čas odbavení letadla (Obrázek 2-3) začíná stejně jako pro algoritmus LB přiletem letadla. Navazují na něj podmínky, že letadlo má zpoždění, je mu alokované vzdálené stání a čas přiletu je ve špičce. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, algoritmus končí. Letecká společnost z hlediska řešení této práce nemá důvod zasahovat do alokovaného stání, protože zásah by neměl mít významný vliv na dobu odbavení letadla.



Obrázek 2-3: Obecný algoritmus rozhodování letecké společnosti z pohledu faktoru doby odbavení letadla

2.4 Metodika algoritmů pro konkrétní linky

Turnaround time pro společnost Swiss

Tabulka 2-4: Vzorek letů pro společnost Swiss

Vzorek	Kontaktní stání	Vzdálené stání
39 letů	5	34

Pro Swiss byly do analýzy vzaty lety, které byly operovány typy rodiny Embraer. Protože se jednalo u Swiss o velký vzorek dat pro vzdálená stání, pro stanovení koeficientu délky odbavení se vzal do úvahy medián všech letů, stejně jako u času do posledního zavazadla.



Smartwings čas LB

Tabulka 2-5: Vzorek letů pro společnost Smartwings

Vzorek	Kontaktní stání	Vzdálené stání
8 letů	7	1

Pro lety společnosti Smartwings se dal určovat pouze koeficient pro poslední zavazdalo, protože lety společnosti nebyly ve většině případů přímo srotované s další linkou a tudíž by délka odbavení vycházela pro lety velmi dlouhá. Proto se práce zabývá pouze koeficientem LB. Do analýzy byly vzaty pouze ty lety, které splňovaly danou obsazenost a přilétaly v dopravní špičce. Limitní minimální obsazenost byla stanovena na 160 pasažérů. Pro maximální objektivitu byly vzaty do úvahy lety z jedné destinace a to konkrétně Marsa Alam v Egyptě.

Lety Austrian

Tabulka 2-6: Vzorek letů pro společnost Austrian

Vzorek	Kontaktní stání	Vzdálené stání
70 letů	6	64

Další společností, která měla alokovaná jak kontaktní stání, tak vzdálená stání je společnost Austrian. Byly vyfiltrovány ty lety, které zůstávaly na letišti přes noc. Pro stanovení koeficientu délky odbavení byl vypočten medián časů délky odbavení na kontaktním stání a nalezen nejdelší čas odbavení na vzdáleném stání, který byl pro potřeby práce určen jako limitní hodnota, jak dlouho může odbavení na vzdáleném stání trvat.

Pro stanovení délky do posledního zavazadla byl vzat stejný vzorek a koeficient byl stanoven dle výše stanovené metodiky.



Lety LOT

Tabulka 2-7: Vzorek letů pro společnost LOT

Vzorek	Kontaktní stání	Vzdálené stání
36 letů	35	1

Pro lety LOT byly vyfiltrovány lety, které zůstávaly na letišti bázované přes noc. Dále se vyfiltrovaly lety, jejichž délka odbavení byla delší než 1 hodina a 15 minut. Delší doba odbavení byla považována za nestandardní, protože se již velmi odchyluje o běžné doby odbavení a je pravděpodobné, že zde došlo k dalším důvodům větší délky odbavení.

Lety Finnair

Tabulka 2-8: Vzorek letů pro společnost Finnair

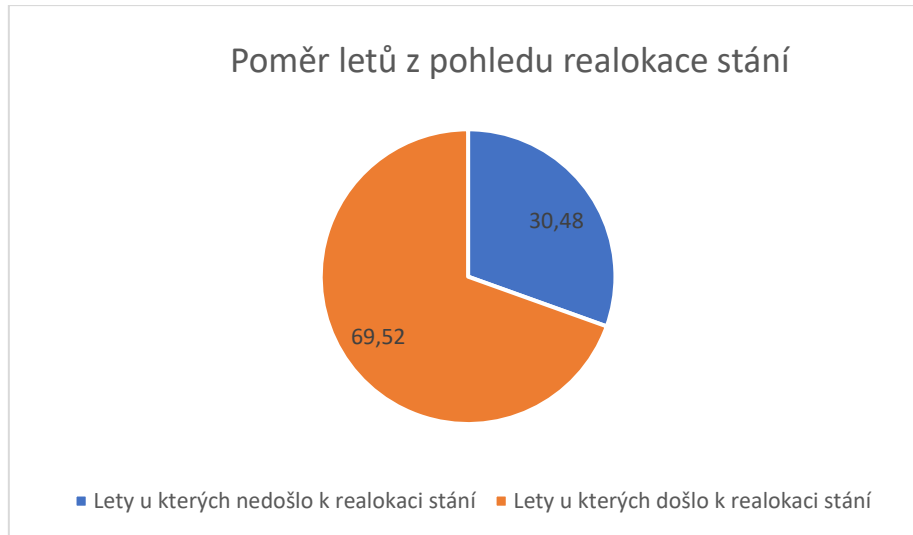
Vzorek	Kontaktní stání	Vzdálené stání
40 letů	39	1

Zde byla uplatněna standardní metodika pro délku odbavení. Protože se jednalo pouze o jeden let, kdy bylo alokováno vzdálené stání, tak pro stanovení koeficientu času do posledního zavazadla se využil stejný způsob jako pro délku odbavení.

3 Prezentace výsledků

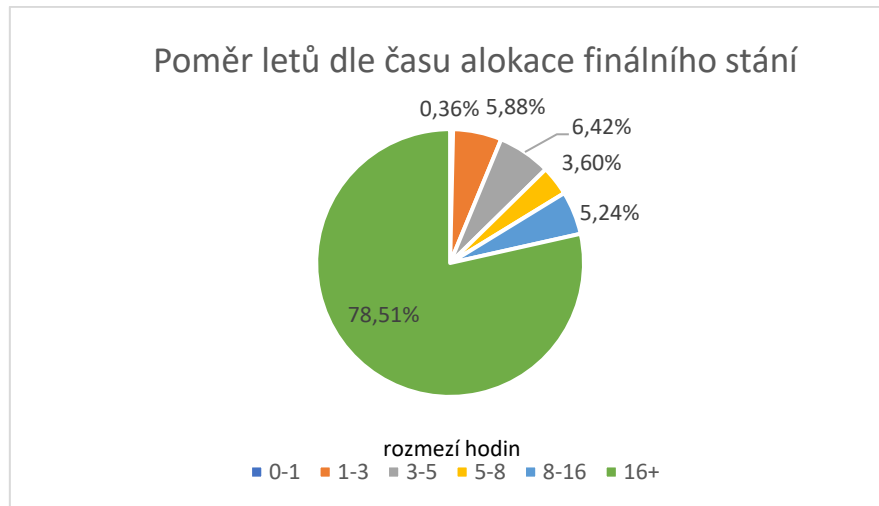
3.1 Výsledky základní analýzy dat

První graf zobrazuje poměr mezi přílety, u kterých došlo k realokaci stání a přílety u kterých k realokaci nedošlo.



Graf 3-1: Poměr letů u kterých došlo k realokaci stání

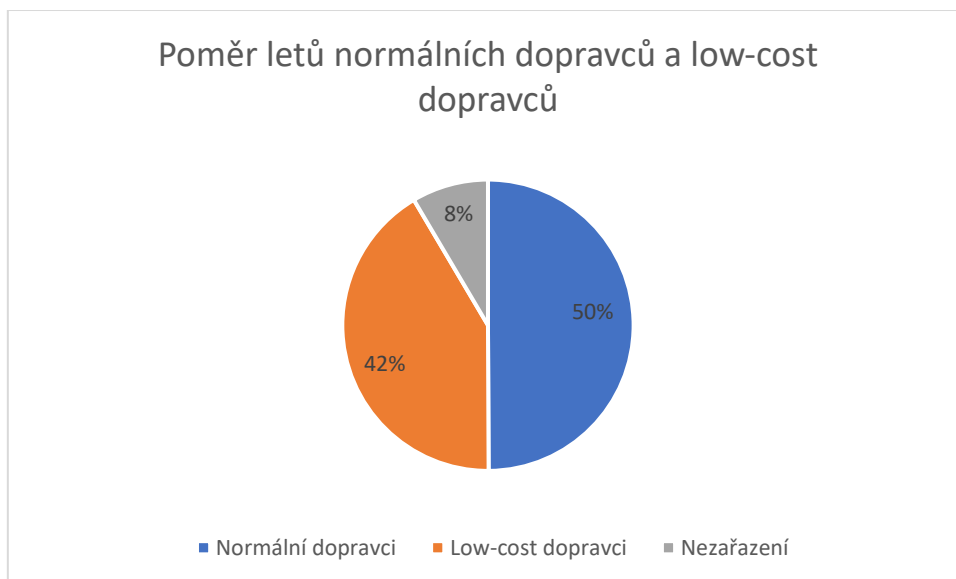
Z analýzy dat vyplunulo, že u téměř 79% letů došlo k alokaci stání více než 16 hodin před přiletem daného letu. U více než 6% letů došlo k realokaci stání těsně před přiletem v rozmezí do tří hodin.



Graf 3-2: Poměr letů dle času alokace finálního stání

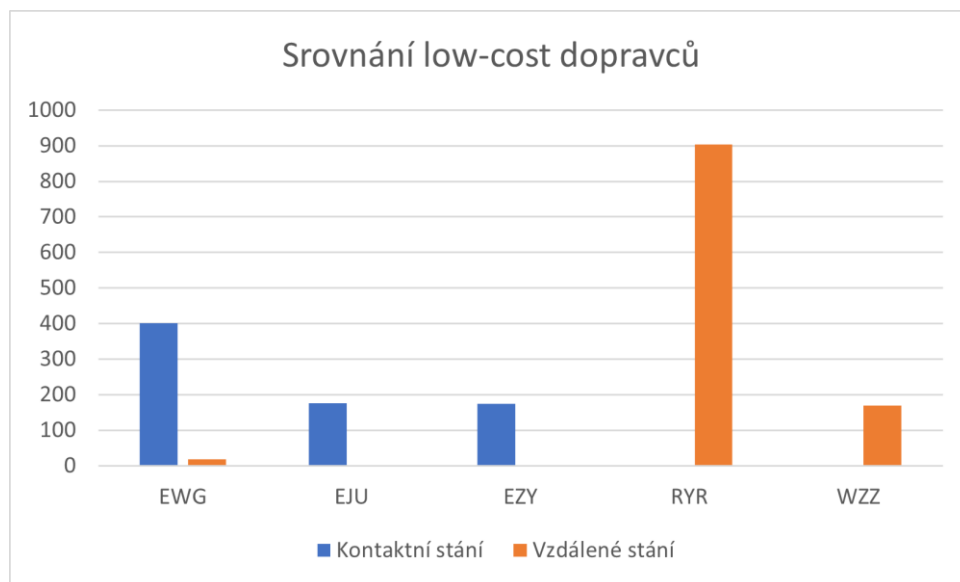
Rozdělení low-cost a klasický dopravy

Na základě analýzy dat bylo zjištěno, že většinu letů na Letišti Praha, které jsou odbavovány na hlavním apronu tvoří normální dopravci. Přibližně 42% provozu tvoří low-cost dopravci a zbytek patří cargo/jiným nezařazeným letům. Na grafu 3-3 je zobrazeno toto srovnání na koláčovém grafu.



Graf 3-3: Poměr letů normálních dopravců a low-cost dopravců

Low-cost dopravci se rozdělují z hlediska stání na ty, kteří využívají pouze kontaktní stání a ty kteří využívají pouze vzdálená stání. Na grafu 3-4 je vidět jejich srovnání. Ryanair a Wizzair využívají pouze stání vzdálená, naopak Easyjet a Eurowings využívají, až na výjimečné případy, pouze kontaktní stání.

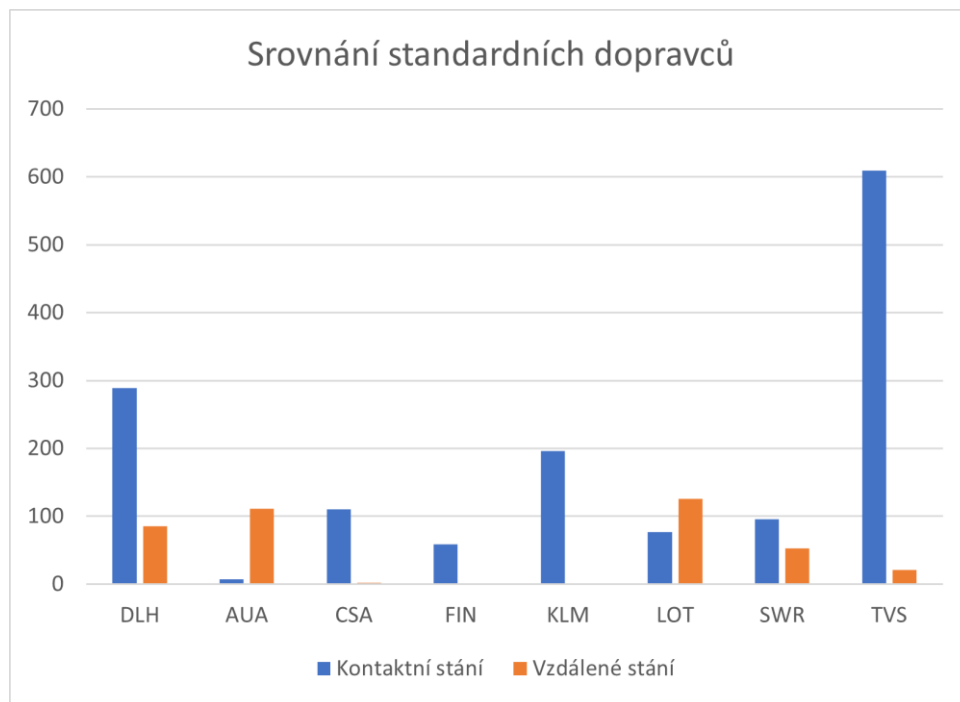


Graf 3-4: Srovnání low-cost dopravců

Pro normální (standardní) dopravce je běžné, že jejich lety jsou odbavovány na kontaktních i na vzdálených stáních. U většiny lze ale pozorovat preferovaný typ, například KLM využívá



pouze kontaktní stání. Vyrovnané poměry mají letecké společnosti LOT a Swiss. Austrian naopak bývají nejčastěji odbavováni na vzdálených stáních.

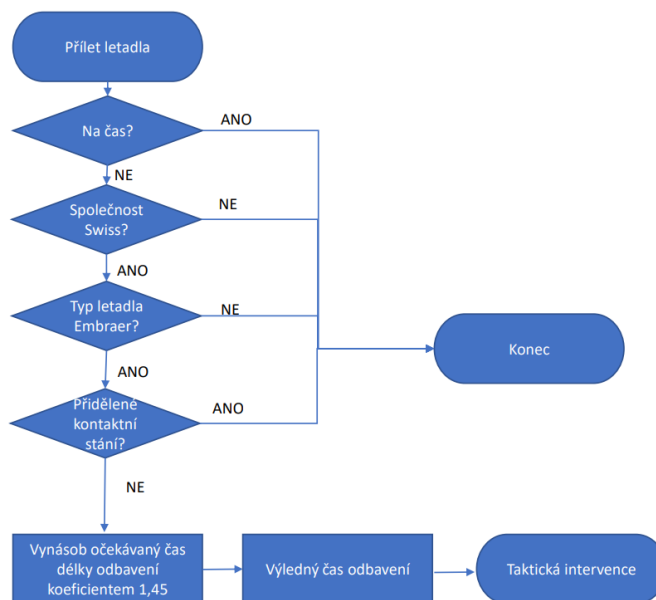


Graf 3-5: Srovnání standardních dopravců

3.2 Aplikace analýzy dat na algoritmy rozhodování letecké společnosti

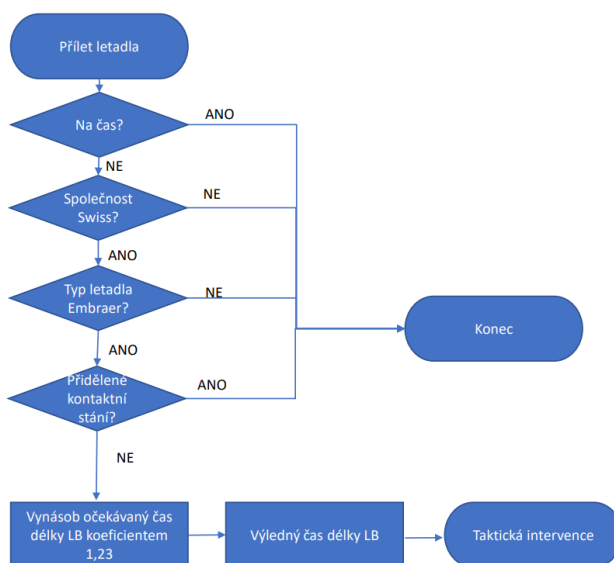
3.2.1 Algoritmus Swiss

$$\text{Koeficient } TT = \frac{\text{Medián časů délky odbavení na vzdáleném stání}}{\text{Medián časů délky odbavení na kontaktním stání}} = \frac{58}{40} [\text{min}] = 1,45$$



Obrázek 3-1 Algoritmus pro délku odbavení letadla (Swiss)

$$\text{Koeficient } LB = \frac{\text{Medián časů délky LB vzdáleném stání}}{\text{Medián časů délky LB na kontaktním stání}} = \frac{16}{13} [\text{min}] = 1,23$$



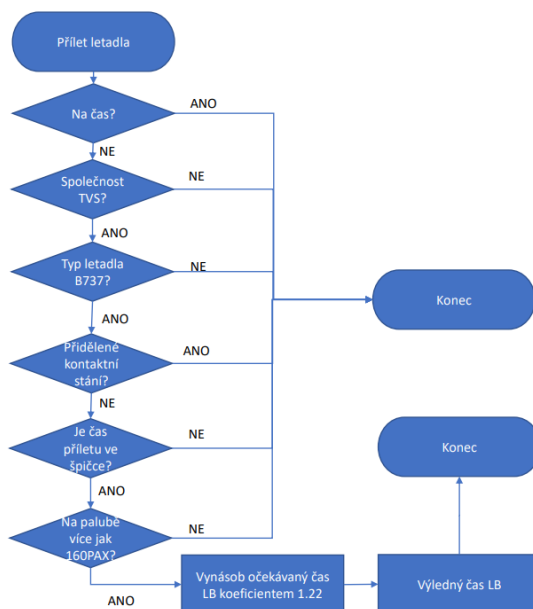
Obrázek 3-2: Algoritmus pro LB (Swiss)

3.2.2 Algoritmus Smartwings

Do tohoto konkrétního algoritmu pro byla zapracována podmínka počtu cestujících na palubě. Limitní hodnota byla stanovena na 160 cestujících. Koeficient byl stanoven na základě vypočtení mediánu časů LB letů, kterým bylo alokováno kontaktní stání.

$$\text{Koeficient LB} = \frac{\text{Čas LB pro vzdálené stání}}{\text{Medián časů LB na kontaktním stání}} = \frac{33}{27} [\text{min}] = 1,22$$

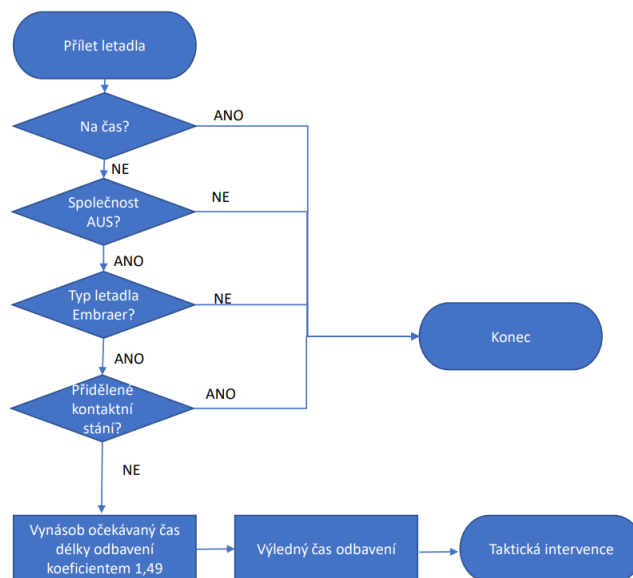
Pokud by tato linka přilétala v dopravní špičce, s více jak 160 cestujícími a bylo jí alokované vzdálené stání, museli bychom počítat, že poslední zavazadlo pro cestující by dorazilo v čase $\text{Čas LB} * 1,22$.



Obrázek 3-3: Algoritmus pro LB (Smartwings)

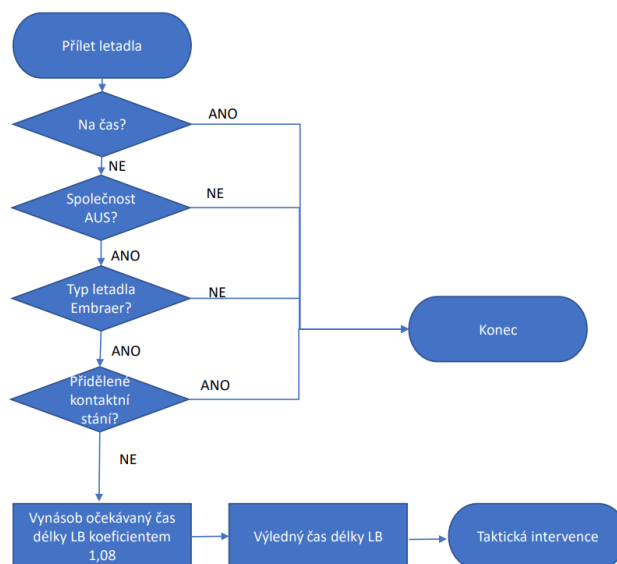
3.2.3 Algoritmus Austrian

$$\text{Koeficient } TT = \frac{\text{Nejdelší čas odbavení letadla na vzdáleném stání}}{\text{Medián časů odbavení letadla na kontaktním stání}} = \frac{61}{41} [\text{min}] = 1,49$$



Obrázek 3-4: Algoritmus pro TT (Austrian)

$$\text{Koeficient } LB = \frac{\text{Medián časů LB na vzdáleném stání}}{\text{Medián časů LB na kontaktním stání}} = \frac{14}{13} [\text{min}] = 1,08$$

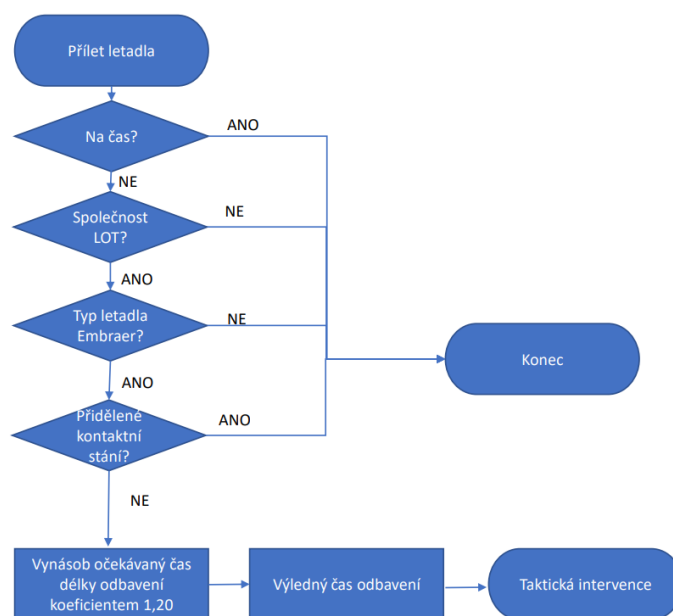


Obrázek 3-5: Algoritmus pro LB (Austrian)

3.2.4 Algoritmus LOT

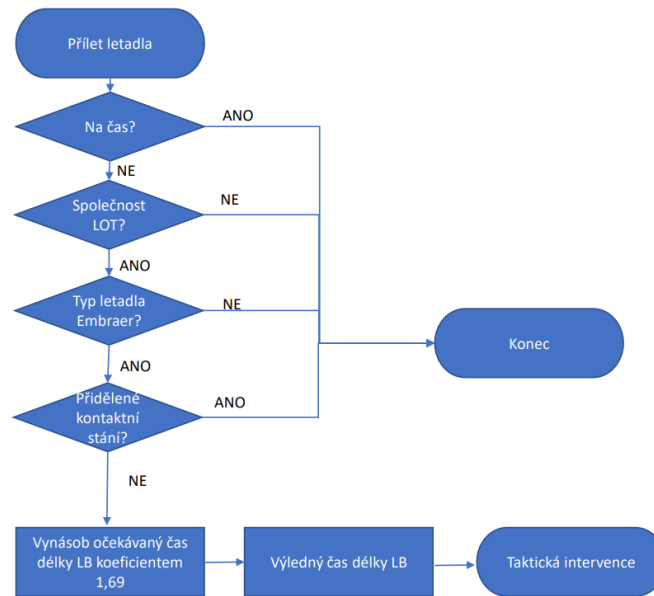
Pro algoritmus pro lety společnosti LOT byly zahrnuty pouze lety operované letounem E75, tak aby byla objektivita co nejvyšší. Koeficient se skládá z mediánu časů odbavení letadla na kontaktním stání a času odbavení konkrétního letu na vzdáleném stání. Tyto časy jsou vyděleny dle rovnice níže a jejím výsledkem je koeficient, kterým letecké společnost vynásobí očekávaný čas odbavení.

$$\text{Koeficient } TT = \frac{\text{Nejdelší čas odbavení letadla na vzdáleném stání}}{\text{Medián časů odbavení letadla na kontaktním stání}} = \frac{49}{41} [\text{min}] = 1,20$$



Obrázek 3-6: Algoritmus pro TT (LOT)

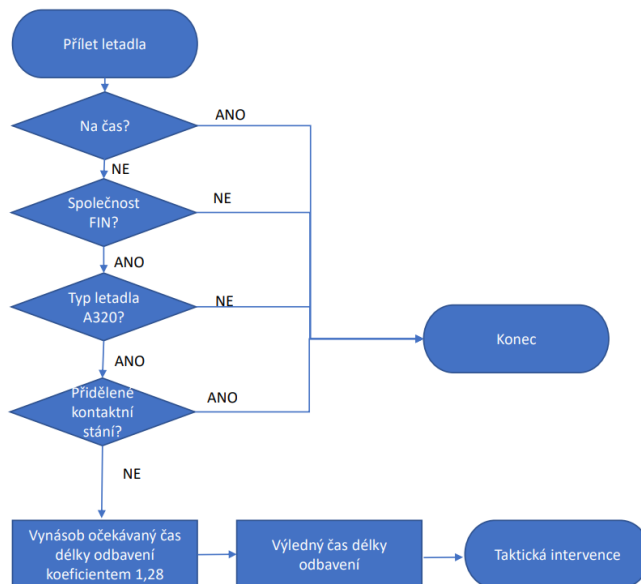
$$\text{Koeficient } LB = \frac{\text{Medián časů LB na vzdáleném stání}}{\text{Medián časů LB na kontaktním stání}} = \frac{22}{13} [\text{min}] = 1,69$$



Obrázek 3-7: Algoritmus pro LB (LOT)

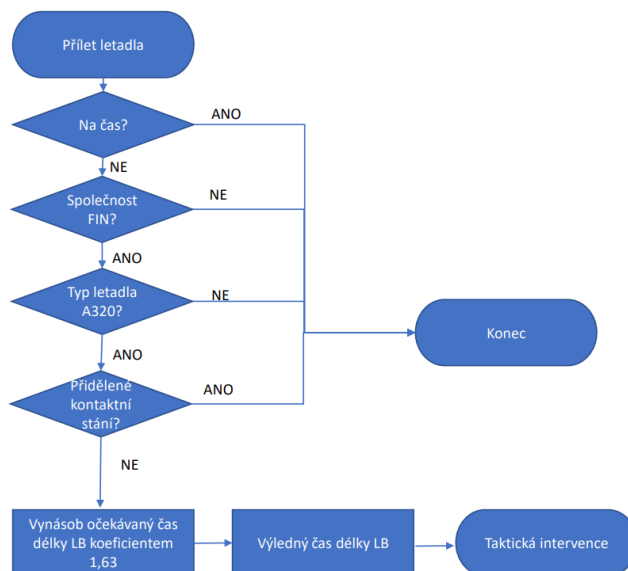
3.2.5 Algoritmus Finnair

$$\text{Koeficient } TT = \frac{\text{Nejdelší čas odbavení letadla na vzdáleném stání}}{\text{Medián časů odbavení letadla na kontaktním stání}} = \frac{60}{47} [\text{min}] = 1,28$$



Obrázek 3-8: Algoritmus pro TT (Finnair)

$$\text{Koeficient } LB = \frac{\text{Čas } LB \text{ na vzdáleném stání}}{\text{Medián časů } LB \text{ na kontaktním stání}} = \frac{26}{16} [\text{min}] = 1,63$$



Obrázek 3-9: Algoritmus pro LB (Finnair)



4 Diskuze

Výsledky obou analýz ukazují, že při odbavení na vzdáleném stání bývá délka odbavení delší a čas do vyložení posledního zavazadla na příletový pás také delší. Nemusí to být ale pravidlem vždy, například u letů, které jsou málo obsazené, nebo přilétají mimo dopravní špičku. Jednotlivé rozdíly časů bývají relativně malé, avšak na koordinovaných letištích je každá minuta k dobru velmi důležitá a může být rozhodující, jestli linka stihne odletět včas.

Výsledky ukázaly, že u 70% procent letů došlo k realokaci stání. Je to poměrně vysoké procento, ze kterého jasně vyplývá, že změny v alokačních plánech se pravidelně dějí.

Většině letů je stání alokováno přibližně den předem. Je zde ale nezanedbatelná část letů, kdy je stání realokováno v řádech hodin před příletem. Tyto změny mohou být způsobeny například změnou typu letadla na dané lince, nebo ale i kapacitními důvody. Přibližně každý desátý let má stání realokováno méně jak pět hodin před příletem, což je pro práci důležitá informace, protože dokazuje že tyto změny v taktickém horizontu nastávají.

Obecně se dá říci, že low-cost dopravci preferují vzdálená stání, kde celý proces odbavení bývá levnější. Spňuje to například Ryanair, který v Praze využívá zásadně vzdálená stání, stejně tak Wizzair. Naopak Easyjet a Eurowings se vydávají cestou kontaktních stání, kde mohou cestujícím poskytnout větší pohodlí. U Eurowings to může být dáno i tím, že v Praze bázují několik svých letadel a navíc jsou součástí Lufthansa Group a tudíž mohou mít výhodnější podmínky.

U normálních dopravců je poměr kontaktních a vzdálených stání více rozložený a častěji využívají obě varianty. Je to pravděpodobně dané tím, že nemají unifikované flotily a využívají více typů letadel a od toho se odvíjí i alokované stání. Tento rozdíl je vidět hlavně u Lufthansy, kdy jeden typ letadla využívá pouze vzdálená stání a ostatní pouze kontaktní.

Pro algoritmus LB pro Smartwings vyšel celkový koeficient 1,22. Jedná o poměrně signifikantní koeficient, který při běžné době odbavení zvýší dobu odbavení o několik minut. Je důležité ale zmínit, že na dobu odbavení má samozřejmě vliv i více faktorů a proto je tento koeficient s časem proměnný. Podobná hodnota koeficientu vychází i pro Swiss. Velký rozdíl pozorujeme u společnosti Finnair, kde je ale malý vzorek letů a to může být důvodem této anomálie v datech. Druhým extrémem je společnost Austrian, kde je naopak rozdíl minimální. Může to být dáno i nízkou obsazeností letů.



Významný koeficient pozorujeme u společnosti Austrian a Swiss, kde jsou rozdíly mezi odbavení na vzdálených a kontaktních stáních nejpatrnější. Zároveň se jedná o společnosti, kde je vzorek dat největší. Finnair a LOT, u kterých je vzorek dat menší, mají rozdíl časů menší.

Přestože v některých případech vyšly poměrně vysoké koeficienty zpoždění, je třeba brát v úvahu, že při větším vzorku dat by se odchylka mírně snižovala až do jisté limitní hodnoty. Vyplývá to především z koeficientů, které se opírají o větší vzorek dat. Lze předpokládat, že na letištích s větší rozlohou i provozem by koeficienty byly vyšší, vzhledem k nutnosti přepravy zavazadel přes více pojížděcích drah letadel a tudíž častějšímu vyčkávání, protože letadla mají ve většině případů před vozidly handlingu přednost.



5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout generické řešení pro aktivní vstupování letecké společnosti do alokace letištních stání. V úvodní části práce je popsáno co letištní zdroje jsou, kdo a jakým způsobem je přiděluje, dále je popsán systém CDM a jeho význam pro alokaci letištních zdrojů.

Práce navrhla generické řešení problému, které bylo následně aplikováno na data z pražského letiště. Významnou částí je kvalitativní analýza, kde proběhly rozhovory s partnery, kteří vystupují na pražském letišti. Na základě rozhovorů bylo možné navrhnout obecné algoritmy pro taktické rozhodování letecké společnosti.

Algoritmy byly dále dle kvantitativní analýzy upraveny tak, aby vyhovovaly aktuálnímu stavu na pražském letišti a braly do úvahy například dobu příletu letadla. Koeficienty zpoždění jsou poté v algoritmech dány především pro lety, které přiletí se zpožděním a jsou tedy nestandardní. Z kvalitativní analýzy vyplynulo, že pokud je přílet dle časového plánu, v současné době není na pražském letišti důvod k taktickému zásahu letecké společnosti do alokace stání.

Letiště Praha je z pohledu řešení této práce relativně malé a to svou rozlohou i počty letů, přestože se po pandemii jejich počet začíná opět výrazně zvyšovat. Bylo by jistě zajímavé vyzkoušet tuto kvalitativní i kvantitativní analýzu na letištích větších než pražské, případně komplexnějších z hlediska rozložení stání a ostatních zdrojů. Je velmi pravděpodobné, že zjištěné rozdíly v časech odbavení i délky času do vyložení posledního zavazadla na příletový pás by byly na takových letištích větší a hrály by zde významnější roli.



Seznam použité literatury

1. *Worldwide Airport Slot Guidelines (WASG)*. In: . Montreal - Geneva: International Air Transport Association, 2020.
2. *AIP ČR GEN. 30 JUN 2022*. Praha: ŘLP ČR, s.p., 2022.
3. *Slot Coordination Czech Republic* [online]. Praha, c2022 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://www.slot-czech.cz/en/site/slot-allocation.htm>
4. KAZDA, Antonín a Robert E. CAVES. *Airport design and operation*. Third. Bingley: Emerald, 2015. ISBN 1784418706;9781784418700;.
5. *Check-in Options* [online]. Praha, Česká republika: Letiště Praha, c2022 [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/check-in-options>
6. *Checking in* [online]. Praha, Česká republika: Czech Airlines, c2022 [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://www.csa.cz/cz-en/travel-information/at-the-airport/check-in-info/>
7. *ICAO Doc 9157 Aerodrome Design Manual: Part 2 - Taxiways, Aprons and Holding Bays*. 4th edition. Montreal, Canada: ICAO, 2005.
8. ALTUNTAS, Onder et al. Comparison of Auxiliary Power Unit (APU) and Ground Power Unit (GPU) with Life Cycle Analysis in Ground Operations: A Case Study for Domestic Flight in Turkey. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 629, s. 219-224. ISSN 1662-7482;1660-9336;.
9. *AIP ČR AD LKPR. 30 JUN 2022*. Praha: ŘLP ČR, s.p., 2022.
10. OKWIR, Simon a Antonio CORREAS. Collaborative Decision Making (CDM) in Airport Surface: Europe vs usa implementations, challenges and best practices. In: *2014 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS) Conference Proceedings* [online]. IEEE, 2014, 2014, G2-1-G2-15 [cit. 2022-07-05]. ISBN 978-1-4799-4891-8. Dostupné z: doi:10.1109/ICNSurv.2014.6819989
11. ZHENG, Yinger, Jiahe MIAO, Ningning LE, Yunpeng JIANG a Yang LI. Intelligent Airport Collaborative Decision Making (A-CDM) System. In: *2019 IEEE 1st International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)* [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 616-620 [cit. 2022-07-05]. ISBN 978-1-7281-2598-5. Dostupné z: doi:10.1109/ICCASIT48058.2019.8973206
12. *Airport CDM Implementation Manual*. 5.0. EUROCONTROL Airport CDM Team, 2017.
13. *A-CDM Implementation Guide for CAR/SAM regions*. Montreal Canada: ICAO, GRECEPAS, 2021.
14. *Cobus* [online]. Wiesbaden: Cobus, c2022 [cit. 2022-07-06]. Dostupné z: <https://www.cobus-industries.de/>



15. GUÉPET, J. et al. Exact and heuristic approaches to the airport stand allocation problem. *European Journal of Operational Research*. 2015, vol. 246, no. 2, s. 597-608. ISSN 0377-2217.
16. *Pasová kontrola na Letišti Praha* [online]. Praha: Policie ČR, 2016 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/projekt-posileni-systemu-automatizovane-kontroly-e-pasu-na-mezinarodnich-letistich-egate.aspx>
17. EVLER, Jan, Ehsan ASADI, Henning PREIS a Hartmut FRICKE. Airline ground operations: Schedule recovery optimization approach with constrained resources: Schedule recovery optimization approach with constrained resources. *Transportation research. Part C, Emerging technologies*. Elsevier, 2021, 128 (Journal Article), 103129. ISSN 0968-090X. Dostupné z: doi:10.1016/j.trc.2021.103129
18. GRAHAM, Anne. *Managing airports: an international perspective*. Fifth. New York;London;: Routledge, Taylor & Francis Group, 2018. ISBN 9781138285347;113828534X;9781138285354;1138285358;.
19. DE NEUFVILLE, Richard et al. *Airport systems: planning, design, and management*. 2nd. New York: McGraw-Hill, 2013. ISBN 0071770585;9780071770583;.
20. DIJK, B., B.F. Santos a J.P. Pita. The recoverable robust stand allocation problem: a GRU airport case study. *OR Spectrum*. 2019, (41), 615-639. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00291-018-0525-3>
21. GUÉPET, J., R. ACUNA-AGOST, O. BRIANT a J.P. GAYON. Exact and heuristic approaches to the airport stand allocation problem. *European Journal of Operational Research*. 2015, 246(2), 597-608. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.040>.



Seznam obrázků

Obrázek 1-1	13
Obrázek 1-2	14
Obrázek 1-3	15
Obrázek 1-4	16
Obrázek 1-5	18
Obrázek 1-6	19
Obrázek 1-7	20
Obrázek 1-8	21
Obrázek 1-9	22
Obrázek 1-10	23
Obrázek 1-11	24
Obrázek 2-1	32
Obrázek 2-2	34
Obrázek 2-3	35
Obrázek 3-1	42
Obrázek 3-2	42
Obrázek 3-3	43
Obrázek 3-4	44
Obrázek 3-5	44
Obrázek 3-6	45
Obrázek 3-7	46



Obrázek 3-8	47
Obrázek 3-9	47



Seznam tabulek

Tabulka 2-1	30
Tabulka 2-2	30
Tabulka 2-3	31
Tabulka 2-4	35
Tabulka 2-5	36
Tabulka 2-6	36
Tabulka 2-7	37
Tabulka 2-8	37



Seznam grafů

Graf 3-1	38
Graf 3-2	39
Graf 3-3	40
Graf 3-4	40
Graf 3-5	41



Přílohy

Příloha 1 je k dispozici v elektronické podobě na přiloženém CD