



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Katedra letecké dopravy

**Modul pro simulaci dynamického řízení odbavovací plochy  
SEVER**

**Module for Simulation of Apron NORTH Dynamic Management**

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: Ing. Slobodan Stojić, Ph.D.

---

**Bc. Štěpán Studnička**

Praha 2024



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Fakulta dopravní  
děkan  
Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621.....Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Štěpán Studnička**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

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

Název tématu (česky): **Modul pro simulaci dynamického řízení odbavovací plochy SEVER**

Název tématu (anglicky): Module for Simulation of Apron NORTH Dynamic Management

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vytvořit rozšiřující modul do existujícího simulačního modelu pojiždění letadel zajišťující dynamické řízení OP SEVER na Letišti Václava Havla Praha a ohodnotit jeho aplikovatelnost pro potřeby plánování dalšího rozvoje infrastruktury.
- Proved'te analýzu současného stavu letištní infrastruktury v oblasti odbavovací plochy SEVER.
- Stanovte základní prvky modelu a relevantní procesy.
- Stanovte provozní scénáře a vytvořte model infrastruktury a procesů.
- Definujte výstupy modelu a jejich aplikovatelnost v rámci hodnocení výkonnosti a plánování infrastruktury.
- Ohodnot'te použitelnost modelu v reálných podmínkách provozu.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Fei Tao, et al, Digital Twin Driven Smart Design, Academic Press 2020  
Wolfgang Kuhn, Handbook of digital enterprise systems: digital twins, simulation and AI, 2019  
EASA, CS-ADR-DSN

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Slobodan Stojić, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2022**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **15. května 2024**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia  
a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Štěpán Studnička  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 1. prosince 2023



## Abstrakt

Komplexnost letištní infrastruktury často představuje významnou překážku pro hodnocení dopadů různých provozních nebo infrastrukturálních změn. Analytika v reálných provozních podmínkách je prakticky neproveditelná nebo velice náročná ať už finančně nebo technicky. Digitální modely procesů nebo objektů zjednodušují analytickou práci a nabízejí možnost simulace reálných procesů na základě definovaných parametrů a potřeb daného letiště. Diplomová práce je proto zaměřená na tvorbu modulu pro dynamické řízení odbavovacích ploch, řešící alokaci stání v oblasti Terminálů 1 a 2 na Letišti Václava Havla Praha, konkrétně odbavovací ploše Sever. Modul je logickou nadstavbou digitálního modelu letiště, který se v současnosti vyvíjí na Katedře letecké dopravy.

**Klíčová slova:** Letiště, Alokace stání, Odbavovací plocha, Simulace



## Abstract

The complexity of airport infrastructure often presents an obstacle in evaluation of the impact of various operational or infrastructural changes. Analytics in real operational conditions is practically not feasible or very challenging, either financially or technically. Digital models of processes or objects simplify the analytical work and offer the possibility to simulate real processes based on defined parameters and needs of the airport. This master thesis is therefore focused on the development of a module for dynamic apron management, addressing the stand allocation in the area of Terminals 1 and 2 at the Václav Havel Airport Prague, specifically the apron North. The module is a logical extension of the digital airport model currently being developed at the Department of Air Transport.

**Keywords:** Airport, Stand allocation, Apron, Simulation



## Poděkování

Rád bych poděkoval především Ing. Slobodanu Stojícovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a cenné rady, rovněž děkuji Ing. Petru Hadovi za přínosné podněty a připomínky při jejím zpracování. Zároveň bych rád poděkoval společnosti Letiště Praha a.s, za poskytnutí veškerých dat nutných pro vznik této práce. Na závěr bych rád poděkoval všem přátelům a rodině za podporu při tvorbě diplomové práce i při studiu.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci Modul pro simulaci dynamického řízení odbavovací plochy SEVER vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovým pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu.

Nemám závažný důvod proti užívání 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 15. května 2024

-----  
podpis



# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ANALÝZA INFRASTRUKTURY LETIŠTĚ</b> .....	<b>14</b>
1.1 ODBAVOVACÍ PLOCHA .....	14
1.2 PODOBA ODBAVOVACÍCH PLOCH NA LKPR .....	15
1.2.1 <i>Značení PCN</i> .....	17
1.2.2 <i>Terminály</i> .....	18
1.2.3 <i>Skladba provozu na LKPR</i> .....	19
1.3 ANALÝZA STAVU DIGITÁLNÍHO PROSTŘEDÍ NA LKPR.....	20
1.4 ANALÝZA PŘEDPISŮ OVLIVŇUJÍCÍ APRON.....	22
1.4.1 <i>Easy Access Rules for Aerodromes</i> .....	23
1.4.2 <i>EASA ADR 13</i> .....	28
<b>2 ALOKACE STÁNÍ</b> .....	<b>31</b>
2.1 MULTIKRITERIÁLNÍ DYNAMICKÁ ALOKACE STÁNÍ (MDSA) .....	39
<b>3 ŘÍZENÍ ODBAVOVACÍCH PLOCH</b> .....	<b>41</b>
3.1 PRAVIDLA POHYBU PO POZEMNÍCH PLOCHÁCH NA LKPR .....	42
3.2 SMART APRON.....	45
<b>4 TVORBA A APLIKACE MODULU PRO ALOKACI STÁNÍ</b> .....	<b>48</b>
4.1 VÝCHOZÍ MODEL LETIŠTĚ .....	48
4.2 MODUL A JEHO IMPLEMENTACE .....	49
4.3 VYUŽITÍ DAT .....	50
4.4 LOGIKA MODULU ALOKACE STÁNÍ.....	53
4.4.1 <i>Párování letů</i> .....	53
4.4.2 <i>Výběr vhodných stání</i> .....	54
4.4.3 <i>Kontrola konfliktních rezervací</i> .....	54
4.4.4 <i>Rezervace stání</i> .....	55
4.4.5 <i>Sekvenční alokace stání</i> .....	55
4.4.6 <i>Realokace stání</i> .....	56
4.4.7 <i>Zrušení rezervace</i> .....	56
4.4.8 <i>Vypsání a uložení výsledků</i> .....	56
4.4.9 <i>Ostatní pomocné metody</i> .....	57
4.5 VALIDACE .....	58





---

4.5.1	<i>Výběr vzorku pro validaci</i> .....	59
4.5.2	<i>Modelový příklad na vybraných dnech</i> .....	61
<b>5</b>	<b>VYUŽITÍ V MODELU</b> .....	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>82</b>
<b>8</b>	<b>ZDROJE</b> .....	<b>84</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Mapa odbavovací plochy [7] .....	17
Obrázek 2 – Mapa terminálů [3].....	19
Obrázek 3 - Detail rozdílu mezi alokací dle LŘ a modulem vybrané lety [5] .....	66
Obrázek 4 - Detail rozdílu mezi alokací dle LŘ a dle modulu [7].....	70
Obrázek 5 - Realokace letu L1 [7] .....	75
Obrázek 6 - Realokace letu L2 [5] .....	76
Obrázek 7 - Realokace letu L3 [7] .....	76
Obrázek 8 - Realokace letu L5 [7] .....	77
Obrázek 9 - Realokace letu L6 [7] .....	78

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Omezení maximálního rozpětí letadla na TWY [29] .....	44
Tabulka 2 – Seznam preferencí dopravce [41] .....	52
Tabulka 3 – Realokované lety .....	74



## Seznam grafů

Graf 1 – míra shody pro 7denní vzorek letů.....	60
Graf 2 – srovnání alokace stejně a více preferovaných stání pro 7denní vzorek dat .....	60
Graf 3 – Míra shody alokace stání vůči LŘ pro 7.6.2020 .....	62
Graf 4 – Srovnání alokace stejně a více preferovaných stání pro 7.6.2020.....	63
Graf 5 – Srovnání shody alokace pro vybrané dopravce 7.6.2020 .....	64
Graf 6: Detail alokace dle modulu pro vybraného dopravce 7.6.2020.....	64
Graf 7 – Srovnání alokace preferovaných stání vybraného dopravce .....	65
Graf 8 – Míra využití optimální velikosti stání pro 7.6.2020.....	67
Graf 9 – Míra shody alokace letů vůči LŘ pro 3.6.2020.....	68
Graf 10 – Srovnání alokace stejně a více preferovaných míst dle LŘ 3.6.2020.....	69
Graf 11 – Srovnání shody alokace vybraných dopravců 3.6.2020 .....	69
Graf 12 – Míra využití optimální velikosti stání 3.6.2020 .....	71



## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam anglicky	Význam česky
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IATA	International air transport association	Sdružení leteckých dopravců
AIM	Aeronautical information management	
AIP	Aeronautical Information Publication	Letecká informační příručka
OP	-	Odbavovací plocha
VDGS	Visual Docking Guidance System	-
ACN	Metoda Aircraft Classification Number	-
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví
GPU	Ground Power Unit	-
ATM	Air Traffic Management	-
ATC	Air traffic control	Řízení letového provozu
SAP	slot allocation problem	-
ŘLP	-	Řízení letového provozu
ČVUT	-	České vysoké učení technické
ÚCL	-	Úřad pro civilní letectví
ILS	Instrument landing system	-
TSAT	Target Start-Up Approval Time	-
TOBT	Target Off Block Time	-
AOBT	Actual Off Block Time	-
ABM	Agent-based modeling	-
BIM	Building information model	Informační model budovy
GIS	Geographic information system	Geografický informační systém
PAX	Passengers	Cestující
IoT	Internet of Things	-



LŘ	-	Letový řád
TWY	Taxiway	Pojezdová dráha
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
SW	Software	-
HW	Hardware	-
APRON	-	Odbavovací plocha
PCN	Pavement classification number	-
MARS	Multiple aircraft ramp system	-
SOP	Standard operating procedures	Standardní operační postupy
LIS		Letecká informační služba
IR	Implementing rule	-
CS	Certification specifications	-
AMC	Acceptable means of rules	-
GM	Guidance material	-
CX	Customer Experience	-



## Úvod

Odbavovací plocha letiště je místem, které musí být skvěle organizované, bezpečné a mimořádně efektivní ve všech svých činnostech. To je stav, který je s neustále se zvyšujícím provozem čím dál náročnější na udržení. Výhodou (která nicméně přinesla řadu jiných problémů) může být prodleva růstu intenzity provozu v době pandemie, která umožnila letišťům lépe se připravit na další růst a mnoho z nich tuto dobu skutečně pro změny ve svých plánech využilo. V současnosti je velké množství letišť zpět na číslech před pandemií, nebo velmi blízko jejich dorovnání, nebo i překonání. Navíc právě předpandemická čísla byla často čísla rekordní za všechna období. Například v případě Letiště Praha je nyní konflikt mezi Ukrajinou a Ruskem jeden z hlavních důvodů, proč na těchto předpandemických číslech nejsou, konkrétně vzhledem k výpadku cestujících z těchto dvou zemí. Odhaduje se ale, i přes tyto faktory, poměrně rychlý návrat na rekordní čísla. Další růst se tak bezpochyby projeví právě na infrastruktuře a plánování toho, jak ji využívat. Tato práce se proto v jedné z částí zabývá způsoby, jaké letiště využívají pro přípravu na tyto změny, které úzce souvisí právě s problematikou dynamického řízení ploch. Zejména v případech, kdy rozšíření infrastruktury není řešením, které by stihlo reagovat na tuto problematiku.[11][12][15]

Způsob, který je nejčastější a v podstatě kopíruje trend všech odvětví i ostatních typů dopravy, je digitalizace. Převážně proto, že jde o velmi efektivní způsob řešení. I přes počáteční investice jde o řešení, které ve výsledku šetří finanční prostředky, protože umožní veškeré změny provádět na virtuální infrastruktuře a ověřit tak funkčnost opatření před jejich aplikací, případně před budováním některých složitějších úprav v rámci provozních ploch letiště.

Vzhledem k výše popsaným důvodům se práce tématem digitalizace a simulace procesů zabývá a její cíl vede k rozšíření modelu, který lze využít i pro účely zkoumání těchto možností. V rámci fakulty dopravní ČVUT na Katedře letecké dopravy vzniká model Letiště Václava Havla Praha, který by měl v budoucnu replikovat veškeré činnosti provozu, které se v rámci dráhového systému, odbavovacích ploch, i terminálu provádí. Základní model se v současné době stará



o běžný chod provozu na základě vložených dat, nicméně například v rámci odbavovací plochy, která je součástí modulu vyvíjeného v této práci, se spoléhá pouze na předem dané statické hodnoty. Proto tento modul přináší rozšíření možností modelu, který díky němu získá schopnosti dynamického řízení.

Modul pracuje s databázemi provozních dat Letiště Praha, které zajišťují co nejbližší podobnost s reálným provozem a činnostmi, které letiště řeší. Prvním dílčím cílem tak je analyzovat současné prostředí Letiště Praha a.s. A to do míry, kdy je možné porozumět a komunikovat s letištěm veškerá potřebná data pro přípravu modulu. Dalším krokem je analýza softwarových možností modelu tak, aby implementace byla co nejsnadnější. Práce následně zahrne také popis zajištění kompatibility s modelem, pro umožnění implementace a ukáže na různých scénářích, jak lze s funkcionalitou a výsledky pracovat.



## 1 Analýza infrastruktury letiště

### 1.1 Odbavovací plocha

APRON je dle Úřadu pro civilní letectví definován jako:

*„Vymezená plocha na pozemním letišti určená k umístění letadel pro nastupování a vystupování cestujících, nakládání nebo vykládání pošty nebo zboží, pro jejich plnění pohonnými hmotami, parkování nebo údržbu.“ [1]*

Z definice ve výsledku plyne, že spektrum všech prováděných činností v rámci dané oblasti je velmi rozsáhlé. V rámci těchto činností existuje množství procesů, které je nutné hlavně bezpečně, ale zároveň efektivně nastavit. Lze tak chápat, že jednou z nejméně přetížených oblastí na mnoha letištích je právě odbavovací plocha přilehlá k terminálům. Zvýšená informovanost, koordinace a komunikace jsou nutné k udržení bezpečnosti mezi pracovníky na odbavovací ploše a okolním provozem letadel, provozem pozemních vozidel mezi sebou i mezi okolním provozem letadel a v některých specifických případech i mezi letadly, vozidly a cestujícími zároveň (při takzvaných „Walk-In Walk-Out Procedures“). Mezi problémy, které mohou nastat na odbavovací ploše patří například [1]:

- zranění personálu letecké společnosti, letišť nebo handlingu
- zranění cestujících a posádky letadla
- náklady na poškození zařízení, jako jsou letadla a pozemní prostředky
- provozní dopady v důsledku nehod a incidentů, rozsah od provozních zpoždění až po náklady na vyřazení dané věci z provozu
- provozní efektivita v prostředí odbavovací plochy [1] [2]





## 1.2 Podoba odbavovacích ploch na LKPR

Letiště Václava Havla Praha v současnosti disponuje 4 odbavovacími plochami. Dle dokumentu AIM dostupného od Řízení letového provozu ČR, jde o plochy SEVER (NORTH), JIH (SOUTH), Bell a VÝCHOD (EAST). [4]

Parametry těchto ploch jsou následující:

- pro APRON NORTH jde o povrch z betonu/asfaltového betonu s únosností dle značení PCN 68/R(F)/B/T
- pro APRON SOUTH jde o povrch z betonu/asfaltového betonu s únosností dle značení PCN 65/R(F)/B/T
- pro APRON Bell jde o povrch z asfaltového betonu s únosností dle značení PCN 20/R/B/X/T
- pro APRON EAST jde o povrch z betonu s únosností dle značení PCN 68/R/B/X/T [4][5]

V rámci této práce se, jak je zřejmé ze zadání, zabývám OP SEVER. Plocha se nachází před terminály 1 a 2. Nabízí dle dokumentu AIP až 53 stání v závislosti na konfiguraci. Obvykle jde sice o individuální stání, objevují se ale také tzv. MARS stání. Tento typ stání obvykle umožňuje změnu konfigurace dle potřeb letiště v závislosti na provozní situaci. Může tak jít například o umístění dvou letadel B737 vs jednoho letadla A330. Na pražském letišti je těchto stání několik. Každé stání má předem definovanou kategorii dle rozpětí křídel letadla. V případě APRON NORTH jsou rozděleny následovně:

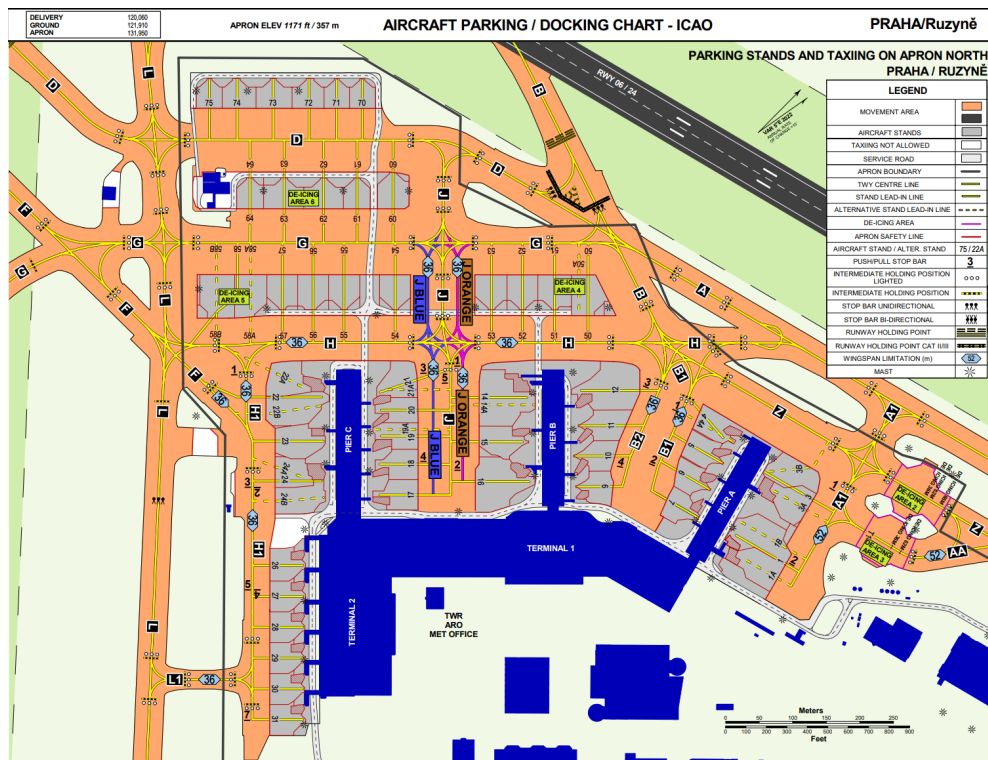
- Rozpětí do 29 metrů:
  - 5 stání
- Rozpětí do 34.5 metrů:
  - 2 stání v zimní sezóně
  - 0 stání v letní sezóně
- Rozpětí do 36 metrů:
  - 28 stání v zimní sezóně
  - 36 stání v letní sezóně



- Rozpětí do 52 metrů:
  - 0 stání v zimní sezóně
  - 1 stání v letní sezóně
- Rozpětí do 65 metrů:
  - 4 stání
- Rozpětí do 80 metrů:
  - 1 stání [5][8]

Výše je uveden výčet maximálního počtu všech stání, které jsou rovněž vidět na Obrázku 1. Nelze je takto však využít v jeden okamžik. V případě stání 1, 3, 22, 24 a 58 jde o stání typu MARS. Pro stání 1 platí, že využití je buď pro jedno letadlo s rozpětím 52 metrů, nebo dvě letadla s rozpětím 36 metrů. V případě stání 3 je rozdíl pouze v případě stání pro jedno letadlo. V takovém případě je velikost rozpětí omezena na 80 metrů. Limitace v odbavení dvou letadel na dvou stáních je shodná se stáním 1. Stání 22 a 58 dosahují maximální hodnoty 65 metrů. V případě využití dvou menších stání označených A a B jde opět o dvě 36metrová místa. Naopak v případě stání číslo 24 jde trochu atypicky o jedno pouze 36metrové místo nebo dvě stání o rozměrech 29 metrů.[7][8]

Většina stání je vybavena systémem VDGS. Visual docking guidance system umožňuje navádění letadla bez využití dalších lidských zdrojů. Umožněno je to instalací světelné tabule do úrovně očí pilota, která udává na základě optického senzoru nebo laserového senzoru polohu letadla vůči určené pozici. Ta se určí většinou dle databáze typů letadel. Pilot dostává pokyny o změně směru doleva/doprava a vzdálenosti od bodu stání. Tabule obsahuje také identifikaci letadla pro zajištění kontroly pilotem, že jde skutečně o jeho stání. I tyto systémy ale mají své limity. K těm dochází při zhoršených povětrnostních podmínkách a při snížené dohlednosti. V takovém případě musí dojít k opětovnému zapojení lidských zdrojů. Ty jsou v podobě tzv. maršálů.[5][6]



Obrázek 1 – Mapa odbavovací plochy [7]

### 1.2.1 Značení PCN

PCN neboli Pavement Classification Number je klasifikační číslo vozovky značící její únosnost a doplňuje některé další vlastnosti. Číslo rozdělujeme na několik částí. V případě APRONU Bell stejně jako ve všech běžných případech rozlišujeme celkem 5 částí. První je číslo 20, značící numerickou hodnotu zaokrouhlenou na celá čísla. Druhá část, v tomto případě R značí tuhou vozovku. Druhou možností je F, pro netuhou vozovku. Třetí část PCN je u APRONU Bell písmeno B. To značí únosnost podloží a nabývá hodnot od A do D, kdy B znamená středně velkou hodnotu. Na čtvrté pozici najdeme písmena W, X, Y a Z. APRON Bell má označení X, tedy 1.75 MPa. Daná hodnota určuje maximální přípustný tlak pneumatik. V dalším poli najdeme písmena U a T pro značení typu hodnocení.[8][5][11]

Standartně se využívá PCN v kombinaci s ACN, tedy Aircraft Classification Number. Číslo, které značí relativní efekt letadla v dané konfiguraci na vozovku s daným typem podloží.[10][9]

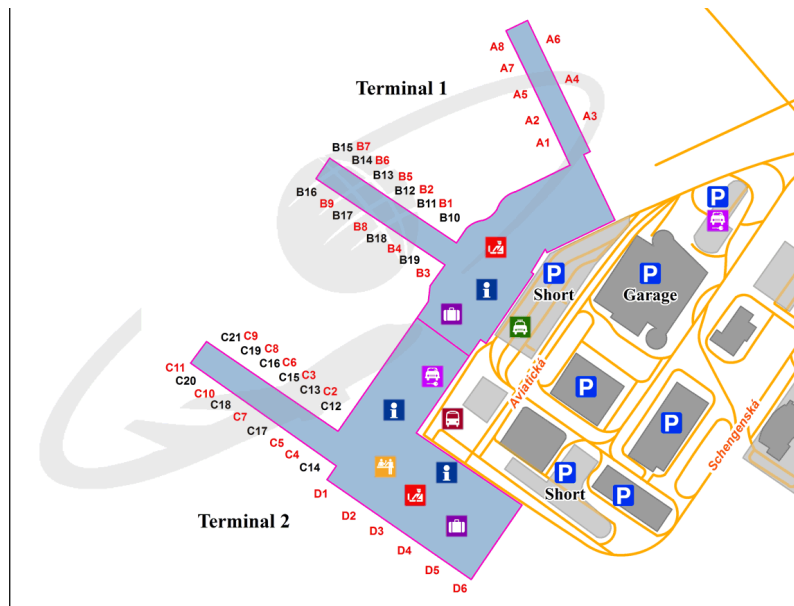


### 1.2.2 Terminály

Jak bylo zmíněno výše v kapitole o odbavovacích plochách na LKPR, odbavovací plocha SEVER navazuje na dva terminály. Každý z těchto dvou terminálů má svůj specifický účel. Terminály jsou na letišti zjednodušeně řečeno rozlišeny podle země, do které let směřuje, respektive jejich umístění v non Schengenském prostoru, respektive uvnitř Schengenského prostoru. V Terminálu 2 zajišťuje letiště lety do zemí Schengenského prostoru. Terminál 1 je naopak určen výhradně letům do zemí mimo Schengenský prostor.

Na terminálu 2 jsou dostupné dva tzv. prsty (anglicky označované jako peers) s odletovými čekárnami pro cestující. V tomto terminálu se nachází Prsty C a D, které disponují 28 odletovými čekárnami označovaný také jako gate. Některé z nich nabízí přístup ke kontaktním stáním. Další z nich slouží jako čekárny pro stání nacházející se ve větší vzdálenosti od terminálu. Typicky jsou odtud cestující dopravováni autobusy. U Prstu C je možnost využít stání pro letadla s rozpětím od 29 do 65 metrů (maximum je tedy kategorie E). Některé nabízí také tzv. alternativní konfiguraci. Prst D nabízí pouze stání pro letadla kategorie C. Spojení se systémem pojezdových drah pro tyto prsty C a D zajišťují TWY J, J BLUE, H1 a F.

Terminál 1 rovněž nabízí dva prsty, A a B. Na rozdíl od Terminálu 2 nabízí 22 gatů. Stejně jako terminál 2 nabízí také alternativní konfigurace stání. Prst A nabízí 6 stání. Prst B je vybaven 7 místy. V rámci tohoto prstu nabízí letišti možnost odbavení letadel s rozpětím křídel do 80 metrů. Spojení se systémem pojezdových drah pro tyto prsty A a B zajišťují TWY A1 a TWY B1, B2, J a J ORANGE.[5][6]



Obrázek 2 – Mapa terminálů [3]

### 1.2.3 Skladba provozu na LKPR

Vývoj letecké dopravy po pandemii změnil podobu provozu na většině letišť. Někteří dopravci nasadili odlišné typy letadel, někteří upravili frekvenci linek. Naopak některé linky jsou stále na úrovni nižší než před pandemií. V Praze může být dobrým příkladem změny frekvence linky PRG-DXB. Stejně tak linka do Kataru, na které došlo ke změně typu z B787 na A320. V současné době se opět podařilo získat zavedení B787 na většinu rotací. Takové změny se následně můžou odrazit například i při plánování alokace stání, kterou se práce zabývá, kdy velikost typu letadla se přímo váže na výběr dostupných stání. Dle aktuálního letového řádu nabízí Letiště Praha lety do celkem 167 destinací po celém světě. Lety cestujícím nabízí téměř 70 dopravců. Na více než 30 linkách došlo oproti loňskému roku k navýšení počtu frekvencí letů (Londýna, Amsterdamu, Paříže, Antalye). Letiště od zimního letového řádu nabízí i nové dálkové linky jako je přímé spojení s Tchaj-wanem. Vrátila se také obnovená linka do Soulu s dopravcem Korean Air, který do destinace bude z Letiště Praha létat třikrát týdně. V nabídce se objevuje navíc například La Palma, Brindisi, Astana, nebo Verona. Predikce provozu jsou stále optimističtější. Při odečtení linek z Ruska a Ukrajiny, které nemohou kvůli ruské agresi fungovat, nemá letiště možnost získat přes milion cestujících. A to by dle statistik letiště představovalo, v případě odečtení těchto



cestujících, návrat na téměř 100 % rekordních čísel. Tedy čísel, která byla před pandemií.

Co se týká současně provozovaných typů v rámci jednotlivých letů, jde o následující.

- B737 (např. SmartWings, Ryanair)
- B777(např. Emirates, Korean Air)
- B767 (např. Delta Airlines)
- B787 (např. Qatar Airways, Israil)
- A350 (např. China airlines)
- A320 (např Eurowings, WizzAir, Lufthansa)
- A220 (např. Air Baltic, Swiss)
- A330 (např. Turkish Airlines)

Většinu těchto typů na pražském letišti najdeme každý den. Výjimkou je například Airbus A350 společnosti China Airlines, ten prvozuje linku 2x týdně. Kapacitně nicméně žádné problémy dle dostupných informací nebyly ani v rekordním roce. Vše je tak ovlivněno pouze poptávkou. [12] [13]

### 1.3 Analýza stavu digitálního prostředí na LKPR

Letiště Praha je, co se týká rozvoje technologií, poměrně aktivní už dlouhou dobu. Velký skok udělali přibližně od roku 2018 kdy ve výhledu neustále rostoucí poptávky a vzdálenému rozvoji kapacity samotného letiště implementovali mnoho aplikací, které se zaměřily na optimalizaci provozu a udržení maximální bezpečnosti i v těch nejvíce exponovaných hodinách.

Například od roku 2000 pracuje s geografickými informacemi pomocí letištního geografického informačního systému (GIS) pojmenovaného LetGIS, což je systém, obsahující v jednotlivých hladinách informace jako je:

- Poloha jednotlivých budov a zařízení včetně popisu – název, správce, investiční a provozní náklady
- topografie venkovních prostor, budov, místností



- rozložení inženýrských sítí (vodovod, kanalizace, plyn, silnoproudé a slaboproudé kabeláže)
- podoba ochranných pásem
- poloha a podoba překážek
- umístění radionavigačních zařízení
- místa pro denní a noční značení pro navigaci na jednotlivých plochách
- evidence klíčů a čteček

LetGIS aplikace s těmito informacemi je přístupná všem zaměstnancům letiště, a umožňuje vyhledávat v mapě celého letiště nebo lokalizovat budovy jako jsou terminály, hangáry nebo administrativní objekty. Ve aplikaci je možné omezit práva každému uživateli tak, aby reflektovali jeho potřeby pro výkon činnosti v rámci letiště. Tento přístup umožňuje také funkci, kdy dokáže zaměstnanec žádat o přidělení konkrétní pracovní lokace. K dispozici je i část aplikace pro security. Ta nabízí informace o kamerovém systému, perimetru letiště a dalších bezpečnostních parametrech a informacích, které se týkají zabezpečení letiště.

V době, kdy letiště informovalo o této implementaci v rámci změny poskytovatele na společnost Esri, tedy v roce 2021, byla zahájena analytická fáze s tím, že nový geografický systém bude nastaven během následujících 14 měsíců. Pro implementaci GIS je na letišti kladen důraz na zajištění, aby bylo možné využívat nejnovější funkce bez nutnosti složitých aktualizací systému, čehož by se mělo docílit hledáním maximální shody se stávajícími standardy platform. Pro Letiště Praha tak jde o implementaci sady specializovaných mapových aplikací schopných podporovat specifické uživatelské scénáře, které jsou zahrnuty v tomto komplexním systému. Pro letiště systém vytvořila společnost Esri, která se o tato řešení stará na některých dalších letištích a zároveň je schopná vytvářet i o úroveň vyšší DT, které jako jeden ze základů používají data modelu GIS. K dispozici bude i mapový klient ArcGIS Pro. Původně letiště využívalo pro GIS modelování produkty společnosti Autodesk, a i ten byl značně využíván, kdy měl cca 1100 uživatelů v době představení. Nyní při převedení pod Esri ho využívá přes 2 000 zaměstnanců. Součástí přechodu na systém od Esri je i integrace s interními informačními systémy jako jsou SAP, BIP, MIB, PMS, CAFM, BIM a další, které letiště



využívá. Kromě toho jsou na letišti provozované další aplikace. Případně další technologie jako například:[36][37][38][35]

- webová aplikace AeroTrafficPRG – vydává upozornění na blížící se letadlo při přejezdu pojezdových drah, případně při vstupu na runway a do jejího ochranného pásma pro řidiče vozidel, kteří se pohybují na těchto plochách
- Aplikace PRINCE – zkratka pro Prague Information Cockpit Ecosystem, který zajišťuje například dostupnost meteorologických informací, informace o A-CDM, odmrazování a tocích cestujících
- Platforma ISH – umožnění rychlého sdílení dat napříč letišťem i se třetími stranami
- Aplikace AutoTOBT – webová aplikace pro zajištění predikce času ukončení pozemního odbavení letadla, tedy tzv. TOBT (target off block time), pomocí modelu založeném na strojovém učení, který byl vyvíjený společně s organizací Eurocontrol [32]

Letiště ale buduje změny pro digitalizaci procesů i uvnitř terminálu. V případě celé cesty cestujících při procesu odbavení se od roku 2021 implementuje systém od společnosti SITA pojmenovaný Flex, kdy se implementují kiosky TS6, které jsou právě součástí SITA Flex. Daná řada systémů je pak rozšiřitelná o bag drop zařízení, check in přepážky a další součásti odbavení. Celý systém je vyvinutý s myšlenkou následného využití pro co nejvíce bezkontaktního odbavení, ke kterému se využije mobilní zařízení nebo biometrika. [34]

#### 1.4 Analýza předpisů ovlivňující APRON

Odbavovací plocha, stejně jako další části letiště představující nezbytnou součást pohybových ploch na letišti, musí být podřízena jak bezpečnostním, tak provozním předpisům, tak aby se maximálně omezila míra jakýchkoliv rizik. Rizika by mohla mít za následek například provozní omezení na plochách letiště a tím přímý i nepřímý vliv na zpoždění letů. Z těchto důvodů se využívá pro APRON několik legislativních rámců. Organizace, které tvoří tyto regulace jsou například EASA nebo ICAO, nicméně v rámci Letiště Praha i dalších evropských letišť jde především o regulace od první zmiňované organizace EASA.





#### 1.4.1 Easy Access Rules for Aerodromes

Předpisů je vzhledem k množství oblastí, které jsou regulované celá řada. Nicméně pro shrnutí co největšího množství toho, co všechno může být regulované a vzhledem k výše zmíněné významnosti předpisů EASA pro pražské letiště byly vybrány předpisy, které v co největší míře ukazují oblasti regulací a neopakují podobné rámce regulací dalších organizací. V rámci dokumentu pojmenovaném Easy Access Rules for Aerodromes (EAR), který vychází z nařízení 139/2014, lze najít množství oblastí, které jsou na dalších řádcích popsány. V rámci EAR jsou publikovány dokumenty IR, CS, AMC a GM. Tento způsob publikace předpisu spadá do tzv. EASA eRules.

V prvních bodech vysvětluje vyznačení hranic dle ICAO mapy letiště a uvádí výčet všech nutných informací v příručce AIP. Zároveň v tomto bodě, který je pojmenovaný "Coordination of aircraft entry to / exit from the apron" předepisuje upřesnění využití airgroud komunikace pro využití na APRON.

Vzhledem k tomu, že se na odbavovací ploše, tedy APRONU, setkávají jak dopravní prostředky handlingových společností, ostražky letiště a dalších složek, tak logicky také letadla, je nutné řešit management pohybu všech těchto kategorií. V rámci problematiky Managementu pohybu letadel po odbavovací ploše se řeší následující. Vymezují se pravidla předávání informace při pohybu na APRONU na:

- verbální
- follow me
- marshalling
- kombinace předchozích

Vymezují se také nutné značky a značení, světelné vybavení apod. dle CS ADR DSN. Zároveň ale také dané nařízení vymezuje a upravuje přesná pravidla pro TWY, jako je:

- zákaz pohybu vozidel a chodců po TWY
- vymezené plochy pro vozidla a techniku
- maximální omezení křižovatek



V rámci managementu pohybu vozidel na APRONu se nařízení zabývá jednotlivými povoleními pro daná vozidla, nebo například křížením TWY a taxilanes při průjezdu pozemních prostředků.

Do této problematiky spadá také to, že nelze povolit pohyb mezi odbavovací plochou a stáním, pokud nebylo uděleno povolení od oddělení zodpovědného za TWY, apron TWY nebo stand taxilanes nebo nebyla provedena vizuální kontrola. V rámci jednotlivých cest využívaných pozemními prostředky se také vymezuje to, kdy se v některých případech mohou protínat trasy TWY a trasy pro pozemní prostředky. V těchto případech by měly být navrženy takovým způsobem, aby byla zajištěna jasná viditelnost pro řidiče vozidla a prostorově co nejkratší interference mezi trasami pojiždění letadel a prostředky pohybujícími se po zemi.

Další větší problematikou, který předpis řeší je alokace stání, která je současně velmi důležitou částí této práce. Jak lze předpokládat, do alokace stání vstupuje mnoho faktorů. Konkrétně zmiňuje, že celková odpovědnost za přidělování stání pro letadla obvykle leží na provozovateli letiště, ale existují i další možnosti v případě, kdy lze:

- pověřit alokací stání letadla provozovatele letadla
- přidělit tuto povinnost organizaci odpovědné za poskytování služeb pozemního odbavování v případě, že mají vyhrazený terminál nebo odbavovací plochu

Odpovědnost za zajištění zachování bezpečnosti však ve všech případech zůstává na provozovateli letiště.

Z důvodu nutnosti přijímat informace ať už o alokaci stání nebo o dalších instrukcích přilétajícímu letadlu, se vymezují také prostředky komunikace. Letadlu a personálu spolupracujícím na přípravě stání a manévrování letadla by měly být sděleny prostřednictvím:

- rádiové frekvence
- komunikace datovým spojem
- vozidla „FOLLOW ME“
- signalizací pomocí rukou (maršál)
- VDGS
- jakoukoliv kombinací výše uvedeného



Protože na většině letišť není provoz homogenní, je nutné odlišit typy letadel dle mnoha parametrů. Pro přidělení stání je třeba vzít v úvahu dle evropského nařízení následující charakteristiky letadla:

- délka trupu (významné především pro určení vyčkávací místa nebo stání)
- výška jednotlivých dveří/otvorů (významné pro nástupní mosty, respektive jejich přiřazení)
- výška ocasních ploch (kvůli de ice a anti ice, případně kvůli „obstacle clearance“)
- rozpětí (pro rozměry odbavovací plochy a vyčkávacích míst, přiřazení stání)
- výška konce křídla (rozměry odbavovací plochy a stání)
- parametry výhledu z kokpitu (využití pro návrh podoby příjezdu na stání)
- parametry motorů (geometrie a jeho proudění, počet motorů, rozměry, umístění, tah na volnoběh i mimo něj, síla nasávání motoru na zemi, celkově pro předjetí problémům pro handling)

V rámci kapitoly o alokaci stání se nařízení zabývá i tím, co považuje za prostředky pro navádění ke stání. Těmi jsou VDGS nebo příslušně vyškolený maršál. Kromě těchto parametrů mohou mít vliv na přidělení stání letadla nástupní mosty, dostupnost GPU nebo klimatizační jednotky, umístění a způsob plnění palivem, parametry parkovací plochy pro handling.

Alokace stání předchází samotnému parkování letadla, kdy nelze nechat tuto část bez regulace, neboť představuje mnoho rizik. Předpis se tak věnuje monitoringu stání. Monitorování letadla v této oblasti by mělo být prováděno buď:

- přiděleným personálem na daném stání
- nebo prostřednictvím senzorů (například optická nebo laserová technologie)

Probíhá tak ověření, že jsou bezpečné vzdálenosti dodrženy v plném rozsahu.

Předpis pokračuje nastavením pravidel pro maršály. Postup pro maršály stanovený provozovatelem letiště by měl vyžadovat poskytování služeb maršálů tam, kde VDGS systémy neexistují nebo nejsou provozuschopné, nebo kde je vyžadováno navádění k parkování letadla, aby se předešlo bezpečnostnímu riziku.



Postup by měl zahrnovat detailní pokyny pro jejich provedené činnosti, včetně následujících:

- nutnost, aby se maršál před vydáním povolených signálů rukou ujistil, že oblast, ve které bude letadlo naváděno, je bez překážek, do kterých by letadlo při plnění jejich signálů mohlo jinak narazit
- okolnosti, za kterých může být použit jeden nebo více maršálů, a okolnosti, kdy je nutné využití tzv. wingwalkers
- opatření, která mají být přijata v případě nouze nebo incidentu s letadlem a/nebo vozidlem

Tam, kde je k dispozici VDGS, by měl provozovatel letiště zajistit, aby naváděcí prvek v podobě právě VDGS systému byl zkalibrován a byl jasně a jednoznačně indikován všem vybraným letadlům. Přesnost VDGS by měla být pravidelně kontrolována v předem stanovených intervalech, stejně tak by měly být podrobeny každodenním kontrolám provozuschopnosti, jejichž výsledky by měly být zaznamenány.

Pro přípravu letadla na odlet tak zbývá pouze dostat se ze stání. Předpis definuje tzv. určenou nebo vybranou trasu (anglicky nazývaná jako "designated route"), což je cesta, po které má letadlo opustit stání. Zároveň se vysvětluje, že personál, který pomáhá letadlům při odjezdu ze stání, jsou například: operátoři a koordinátoři pushback, wingalkers, personál pozemního technického odbavení.

Všeobecně lze říct, že sdílení informací je klíčem k plynulému provozu. A zároveň je lze velmi dobře využít v nouzových situacích. Nařízení poukazuje na užitečnost znalosti limitů operací na odbavovací ploše, která pomůže udržet bezpečnost. Existuje tak požadavek na zavedení postupu pro šíření provozních informací. Nejde však o povinnost provozovatele letiště vyvinout unikátní technický systém. Podoba závisí na složitosti letiště, počtu organizací nebo uživatelů odbavovací plochy, kteří musí být informováni, i existujících využívaných systémech. Jak bylo výše zmíněno, součástí je nouzové sdílení informací. Prostředky, které by mohly být použity k upozornění záchranných složek, závisí na velikosti a složitosti letiště. Byly by posouzeny požadavky, které platí místně, a byly by vybrány nejvhodnější prostředky. Pro kontaktování pohotovostních služeb by měly být k dispozici:



- rádia
- telefony
- nouzová tlačítka
- jakákoliv kombinace výše uvedeného

V rámci APRONU řešíme také problematiku tzv. jet blast. Vždy by měly být poskytnuty informace o těchto jevech. Měly by být poskytnuty informace o nebezpečích způsobených tryskovým prouděním uživatelům odbavovací plochy prostřednictvím:

- bezpečnostních školení
- podpory prevence bezpečnosti
- kombinací výše uvedeného

Zároveň by měla být publikována žádost pilotům o minimální tah na konkrétních místech na odbavovací ploše, která by měla být zveřejněna v AIP. V případě potřeby mohou být na těchto místech instalovány informační cedule. Rizika podobná jet blast nese i tzv. engine test. Předpoklady provedení testu motorů jsou:

- kde je to možné, provádějí se testy motoru v určených odlehlých oblastech
- záběhy motoru při výkonu naprázdno nebo nad ním nejsou povoleny v oblastech, kde by proudění ovlivnilo plochy vybavení nebo pracovní plochy, případně místech, která jsou zcela uzavřené
- zkoušky motoru schválené na stáních při pravidelném používání na odbavovací ploše by se měly omezit pouze na kontrolu po nahození motoru a volnoběhu
- měla by být vybrána vzdálená oblast, kde je povoleno provádět zkoušky motorů na odbavovací ploše, kde neovlivní ostatní oblasti odbavovací plochy ani přílehlých TWY
- kde je to nutné, jsou motorové zkoušky zabezpečeny pozemním personálem, který zajistí uzavření jakékoliv zadní části vozovky a v případě potřeby i úseků pojezdové dráhy



- oblast za a přilehlá ke kuželu (kuželům) proudu vzduchu bude bez vybavení a zem musí být pevná a bez uvolněného asfaltu, kamenů nebo jiného materiálu

V nařízení se uvádí i podoba výcviku a přípravy. A to jak na jazykovou vybavenost, tak na SOP. Cílem hodnocení je například zjistit schopnost člověka mluvit a rozumět jazyku používanému pro radiotelefonní komunikaci. Důraz je kladen i na to, aby akcent použitých ve přezkoušení byl dostatečně srozumitelný pro mezinárodní komunitu uživatelů. Tzv. initial training, neboli Počáteční školení by mělo obsahovat alespoň tyto moduly:

- Obecný přehled řízení odbavovací plochy
- Letecké právo
- Vybavení poskytovatelů APRON management services (AMS).
- Komunikační postupy a frazeologie
- Postupy pro přilétající letadla
- Postupy pro odlétající letadla
- Postupy pro mimořádné události a incidenty
- Povědomí o pravidlech bezpečnosti
- Alokace stání
- Pozemní obsluha letadel
- Koordinace mezi službami řízení
- Provoz za každého počasí

[14]

#### 1.4.2 EASA ADR 13

V případě předpisu od organizace EASA pojmenovaném Apron Management Services, se řeší velikosti odbavovacích ploch, únosnosti, sklony nebo také vzdálenosti mezi stáními. Odbavovací plocha by dle předpisu měla být zřízena k umožnění nastupování nebo vystupování cestujících, nakládání nebo vykládání pošty nebo zboží a obsluhu letadel bez narušování letištního provozu. Předpis tedy využívá výše zmíněnou definici, která byla na začátku uvedena od Úřadu pro civilní letectví. Je tak vidět, že se jedná o ustálený pojem, využívaný napříč organizacemi.

Celková velikost odbavovací plochy by měla být dostatečná, aby umožnila bezpečné a spěšné odbavení provozu na letišti. Velikost potřebné plochy pro konkrétní uspořádání odbavovací plochy závisí na velikosti a manévrovací



schopnosti letadel využívajících odbavovací plochu, tedy na tom, jaká je skladba provozu na daném letišti. Dále pak na objemu provozu využívajícího odbavovací plochu, což ovlivňuje intenzita provozu. Dle možností infrastruktury pak požadavky na rozstupy, typy najíždění a vyjíždění na stání letadel a základní uspořádání terminálu. Případně se řeší také požadavky na pozemní činnosti letadel, pojezdové dráhy a obslužné komunikace na odbavovací ploše. Všechny tyto požadavky směřují k umožnění handlingu v co nejbezpečnější a nejvíce efektivní formě. To znamená doplnění cateringu, servis toalet, doplnění pitné vody, manipulaci se zavazadly, doplnění paliva, připojení na GPU, pushback a další. Vše se řeší pro maximální předpokládanou hustotu pro dané letiště. To znamená, že jde například o kritické typy letadel. K tomu se pojí také únosnost odbavovacích ploch, kdy by každá její část měla mít únosnost odpovídající zatížení letadly, pro která je určena. V porovnání s RWY a TWY zde platí v naprosté většině případů pravidlo, že únosnost odbavovací plochy je větší. Následuje TWY a poté RWY. Ve všech případech jde totiž zjednodušeně řečeno o dobu, kterou stráví na dané ploše. Dalším konstrukčním parametrem jsou sklony odbavovacích ploch a pojezdového pruhu. Maximální sklon v žádném směru přesáhnout 1 %. Dalším konstrukčním cílem na stáních letadel je poskytnout bezpečné oddělení letadla používajícího stání a jakýchkoli přilehlých budov, letadel na jiném stání a dalších objektů.

Stání letadla by měla zajistit následující minimální vzdálenosti od výše zmíněných překážek:

- Kategorie A: 3 m
- Kategorie B: 3 m
- Kategorie C: 4,5 m
- Kategorie D: 7,5 m
- Kategorie E: 7,5 m
- Kategorie F: 7,5 m

Tyto hodnoty musí být vždy mezi letadlem vjíždějícím na stání nebo ho opouštějícím a jakoukoliv přilehlou budovou, letadlem na jiném stání a dalšími objekty. Nicméně platí výjimky pro největší kódová písmena, kdy se mezi výjimky řadí výškově omezené objekty, případně mezi odbavovací budovou,



nástupním mostem a dalšími prvky na stáních. Nicméně jde o výjimky validní pouze za podmínky využití pushback a taxi in. Další výjimky jsou možné při využití VDGS.

Na stáních letadel by měly být povrchy vozovky chráněny před působením paliva, toho lze docílit kombinací několika způsobů. Buď může být využita krycí ochranná vrstva z materiálu inertního vůči palivu nebo materiál, který už je zapracovaný během jeho výroby a chrání kamenivo a pojivo. Palivo na asfaltobetonu totiž vyvolává jeho rozpad na tmavý prášek, je tak žádoucí povrch stání chránit. [16]





## 2 Alokace stání

Přidělení neboli alokace stání je komplexní proces optimalizace, jehož cílem je zlepšit provozní efektivitu a přizpůsobit se měnícím se podmínkám převážně na rušných letištích. V určité podobě ale musí existovat všude, nezávisle na intenzitě provozu. Přidělování letištních stání je pro provozovatele letišť jedním ze zcela nezanedbatelných kroků v rámci přípravy řízení provozu, protože má zásadní vliv na efektivitu letiště, pohodlí cestujících a spokojenost leteckých společností, tedy klíčových zákazníků letiště.[20][17]

Řešení této problematiky má vliv na efektivní přístup k rozdělení infrastruktury a dalších zdrojů letišť. Kapacita musí být přidělena tak, aby letiště mohlo kvalitně uspokojit poptávku a minimalizovat nepříznivé účinky provozních mimořádností. Navíc vysoké počty letů za den na nejrušnějších letištích a komplexnost problematiky přidělování stání činí ruční přidělování neefektivním a snadno náchylným na chyby v rámci lidského faktoru. Z těchto a mnoha dalších důvodů (jako jsou příprava konceptů digital twin a smart airport) vzniká potřeba aplikace algoritmů pro tuto podobu alokace. Podobné optimalizační metody jsou široce využívány v prostředí s omezenou kapacitou. Těmi jsou nejen letiště, ale i další dopravní uzly nebo například logistická centra.

Nejčastějšími cíli, kterých je třeba dosáhnout v případě alokace stání, jsou:

- Minimalizace doby chůze terminálem
- Minimalizace počtu využití autobusů pro boarding (pokud není vyžadováno)
- Minimalizace počtu operací přetahování letadel
- Minimalizace nákladů
- Maximalizace počtu letů přidělených na kontaktní stání
- Maximalizace výnosů [20]

Kromě těchto cílů se sledují i některé další metriky a ukazatele jako je tzv. SLA a OTP, tedy „On Time Performance“. SLA neboli Service Level Agreement je sjednaná dohoda mezi dvěma stranami (letištěm a leteckou společností), kde je definováno, o jakou úroveň služeb by mělo být v rámci odbavení a veškerých procesů na letišti postaráno, jakým způsobem bude probíhat kontrola a kdo je za ni



odpovědným. Součástí je dohoda na rozsahu základních výkonnostních opatření, dohoda na poplatcích placených za splnění jejich požadavků a zároveň sankce za neplnění. Mělo by jít o maximálně konzistentní úroveň služeb a podporovat neustálé zlepšování. SLA je založeno na otevřenosti a transparentnosti, s cílem neustálého zlepšování. [18]

On-time performance je pro cestující často důležitým faktorem i při výběru letecké společnosti a ovlivňuje tak nejen reputaci, ale také momentální spokojenost cestujících s dopravcem. V rámci letišť jde o sledování dodržení časů u pozemních operací jako jsou doplňování paliva, ztráta zavazadel, chybějící cestující. Zjednodušeně řečeno tak jde o všechny nepředvídatelné události a nepravidelnosti. To napovídá, že jde o spojení s tzv. „průletovým časem“. Všechny úkony musí být prováděny tak, aby neohrozily bezpečnost letadla a cestujících, což představuje znemožnění redukce většího zpoždění, vzhledem k nutnosti provádět úkony dle všech pravidel. Všechny důvody znamenají komplikace pro všechny, ať už jde o letecké společnosti, letiště i cestující. Sledování těchto aspektů může následně mít přímý vliv i na rozhodování o alokaci stání, která v rámci rozhodovacích procesů se zpožděními musí pracovat a některá rozhodnutí s tím úzce souvisí. [19]

Často se pracuje s dvojicí letů, tj. přílety a odlety, které jsou spárovány do navazujících letů. Dvojice letů, které jsou takto vytvořeny, jsou přiděleny na stání, kde letadlo tráví čas odbavení mezi příletem a odletem. Přidělení je založeno na údajích o poptávce, nabídce a provozu, konkrétně na letových párech, stáních, respektive vahách jednotlivých cílů. Letiště časy v rámci plánu nadhodnocují, aby zvýšili odolnost alokačního plánu vůči měnícím se podmínkám. V případě údajů o letech a stáních jsou využívány velmi podobné formáty. Výčet těchto informací může vypadat následovně. [17] [20]

Údaje o letových párech:

- časy příletu a odletu
- buffer dob při příletu a odletu
- země původu a určení pro typ hraniční kontroly (schengen vs nonschengen)
- velikost, respektive typ letadla
- preference leteckých společností



Údaje o stání:

- velikost daného místa
- náklady za určitou dobu stání
- podoba hraniční kontroly, která je zde možná
- způsob nástupu a výstupu (například airbridge vs bus)
- doba chůze cestujících terminálem (průměrná doba potřebná k překonání vzdálenosti mezi hlavním vchodem do terminálu a odletovou bránou)
- doba poježdění a způsob opuštění stání (průjezdné vs pushback) [17]

Dle dostupných informací bylo navrženo několik přístupů k vyřešení tohoto problému, včetně lineárních programovacích modelů, teorie her, fuzzy logiky a multikritériová optimalizace. Tyto přístupy zvažují každý různé faktory v závislosti na jejich principech. Některé studie zahrnuly specifické druhy modelování a simulací za účelem generování robustních řešení za realistických podmínek.

Využívají se následující algoritmy:

1. Konstrukce proveditelných řešení: Hyper-heuristický přístup založený na genetickém algoritmu, který lze použít k vytvoření proveditelných řešení problému s přidělováním slotů pro jednotlivá letiště a překonává individuální konstruktivní heuristiku ve všech testovacích případech.
2. Optimalizace doby přemístění cestujících: Algoritmy lze použít k vytvoření inteligentního systému správy letiště, který optimalizuje dobu přechodu cestujících, zkrácení čekací doby a zlepšení logistiky během špičkových období.
3. Modelování a optimalizace alokace stání: Lineární programovací modely lze vyvinout pro optimalizaci alokace stání na letišti, s ohledem na faktory, jako jsou náklady na stání a doba přemístování cestujících. Použitím genetických algoritmů může být přidělení stání optimalizováno několika způsoby.
4. Umělá neuronová síť: Metoda výkonná z hlediska jak kategorizace, tak také aproximace funkcí, bývá značena ANN neboli Artificial Neural Network. Struktura ANN se podobá lidskému nervovému systému, který se skládá z různých složek, které komunikují mezi sebou. Neurony jsou pak vnímány jako komponenty, které mohou vykonávat různé výpočetní úkoly tím, že slouží jako repliky biologické sítě. Pracuje se s data sety řízení letového provozu a pozemních služeb letiště.



Jde o statistická data pro pozemní letové procesy. Předpokladem je, že všechny pozemní pohyby letadel, vozidel i osob musí obdržet povolení od řídicího letového provozu. Zpracování dat pro strojové učení se skládá ze čtyř částí, kdy probíhá také trénování modelu. [23]

5. E-DASA: Jde o složení výstupů ze dvou modulů. První modul používá techniku odvození k hledání pravděpodobnosti nepravidelností letů analýzou historických dat povětrnostních podmínek, informací o letecké společnosti, typu letadla a emisních faktorů letadla. Pomocí Bayesovského distribučního modelování, kde je cílová proměnná popsána prostřednictvím jejích prediktorů, se získají pravděpodobnosti reprezentující hodnoty pro jednotlivé nepravidelnosti. Tyto hodnoty pravděpodobností, respektive jejich Bayesovské distribuční modely, se přenesou jako vstupy do Modulu II, kde je analyzován cílový letový plán a jsou vypočteny nejpravděpodobnější letové odchylky na základě výsledků z Modulu I a charakteristik každého plánovaného letu. Modul II poté vygeneruje nový plán alokací. Doby obsazenosti stání se pak přepočítají jako součet původně plánované doby s nejpravděpodobnější hodnotou odchylky vůči plánovanému času. [24]

6. Recoverable robustness: Tento přístup, který řeší TSAP neboli Tactical stand allocation problem, patří mezi novější metody řešení alokace stání pro daný den. Recoverable robustness spadá také do prostředí optimalizace s cílem reagovat na jakékoliv změny v původní standardní alokaci. Metoda je založena na stochastickém programování. Základem je poskytovat takové efektní řešení alokace, aby bylo proveditelné v co nejvyšším možném množství případů. Koncept se skládá ze tří kroků, kde se každý označuje jedním písmenem. Původní, značený jako O, je daný optimalizační problém. Druhým krokem, označeným písmenem S, je krok nedokonalosti informací, řešený pomocí scénářů, které v tomto případě vychází z historických dat letiště. Hledají se tak například shody ve zpožděních letů ze stejné destinace. A třetím je krok opatření pro obnovu, označeným jako R, které jsou myšleny jako změny v původních plánech. V tomto případě se uvažují 3 možnosti těchto „změn“: vyčkávání, realokace nebo přetah letadla na jiné více vyhovující místo. Výše zmíněné kroky pak vedou k řešení pomocí algoritmu. [25]

[17][20][21][22] [39]



Návazně pak lze využívat i algoritmy strojového učení (známé jako machine learning), což znamená získání schopnosti učit se a identifikovat určité vlastnosti na základě poskytnutých datových sad. V případě této práce tedy stání letadel, na kterých by měla být letadla umístěna. Takové algoritmy mohou co do přínosu pro automatizaci překonat statické programové instrukce tím, že na základě dat vytvoří předpovědi nebo přímo rozhodnutí. V rámci letištního provozu lze tyto modely využít nejen na alokaci stání, ale také na hodnocení efektivity letištního provozu a další optimalizační úlohy, jako například zkrácení času na rozhodování o výběru stání, zvýšení kapacity pohybových ploch a efektivitu letišť, pro umožnění snížení spotřeby paliva a emisí. Kromě toho lze tento způsob využít k dalšímu výzkumu identifikace vlastností všech stání s cílem zlepšit služby pozemního provozu letiště, rychle a v co nejkratším čase. Výsledkem tak může být zlepšení celkového systému řízení letiště.

Jednou z využívaných variant řešení je výše zmíněný model lineárního programování, zaměřený čistě pro přidělování stání. Důležité v něm je, definovat si různá omezení, která by v rámci modelování mohla mít vliv. To mohou být například variace podmínek na následující možnosti:

- Let může být přiřazen pouze k jednomu stání a každý let musí mít stání
- Letadlo lze přiřadit pouze ke stání odpovídající velikosti
- U překrývajících se stání je třeba zabránit blokování
- Na jednom stanovišti může být současně jedno letadlo nebo může být v rámci posuzovaného období naplánováno více letů po sobě [20]

Přidělení stání lze nicméně optimalizovat několika dalšími způsoby. Celkově se všechny přístupy zaměřují na minimalizaci doby využití pozemního prostoru (stání, TWY), maximalizaci využití stání a zajištění spravedlivého přidělování slotů.

Není výjimkou, že velké množství procesů, které se na letišti dějí, se zodpovědně plánují. Celá myšlenka je v tom, aby v takto komplexním případě, jako je letiště, vše fungovalo co nejplynuleji. V případě alokace stání tomu není jinak. Ve výsledku jde o velmi důležitou návaznost na práci v rámci ATM. Obvykle je o přidělení stání rozhodnuto nejpozději den před provedením letu. Co ale v takovém případě může i tak vynutit změny jsou nepravidelnosti v provozu.



Případné provozní události jsou například zpoždění letů. Dalšími vynucenými událostmi může být divert letadla, změna typu na lince nebo třeba potřeba delšího stání na daném místě kvůli technické závadě. Zároveň dochází k rušení některých letů. Danou problematiku lze označit jako optimalizační úlohu. Cílem je i přes změny minimalizovat docházkové vzdálenosti, přetahy letadel a letové zpoždění a maximalizovat využití stání a z toho plynoucí příjmy, případně maximalizovat i příjmy z komerční činnosti v terminálu. I v případě nutnosti provedení změn v rámci původních plánů alokace existuje několik přístupů k vyřešení tohoto problému, včetně lineárních programovacích modelů, obnovitelné robustnosti a dynamické alokace stání pomocí vyhodnocení více kritérií. Tyto metody berou v potaz faktory, jako jsou náklady na stání letadla, doba chůze cestujících k čekárně u gatů a komerční příjmy, ale také zájmy letiště. Kromě toho je využíváno přístupů jako je teorie her a bayesovského modelování k nalezení efektivního způsobu přidělování stání. Zapojených subjektů, které jsou v případě nesprávné přípravy alokace stání ovlivněny, je několik. V první řadě stojí samotné ATC, které zodpovídá všeobecně za safety letového provozu, tedy vydává povolení tak, aby byla zachována bezpečná vzdálenost od překážek a od ostatních letadel. Správně vydaná rozhodnutí pak mohou ovlivnit výše zmíněné OTP, a tím nepřímo i dobu obsazení parkovacího stání. Zároveň ATC určuje pojezdovou dráhu, která by měla být použita po přistání k dosažení určeného stání. V neposlední řadě vydávají také povolení k vytlačení a pojíždění. Pracovník letiště jako další entita zajišťuje řízení odbavovací plochy, která je mu obvykle přidělena. V takovém případě jeho práce zahrnuje přidělování stání pro letadla, realizaci přípravy plánu alokace stání a v reálném čase, pokud plán vyžaduje změny, jeho přepracování. Dále se jako aktivní složka zapojuje také handling, který se při výkonu svých povinností tímto plánem musí řídit. A pochopitelně samotné aerolinky, pro které je zásadní, aby vše proběhlo bez problému, třeba i kvůli případným řešením nespokojenosti cestujících. V neposlední řadě jsou to právě samotní cestující, pro které může mít případné chybné rozhodnutí v problematice alokace slotů neboli SAP (Slot Allocation Problem), jak je daná problematika také nazývána, dopad na celou jejich následující cestu. [17][21]

Dříve, přibližně kolem roku 2000, v některých případech ale i před tímto rokem, se problematika řešila jediným kritériem. Příkladem může být minimální



docházková vzdálenost. Celkově je ale alokace stání na letištích zcela zásadním procesem, který proto vyžaduje pečlivé zvážení různých faktorů pro optimalizaci přidělování zdrojů a zlepšení letištních operací jako celku. V současnosti se většinou problematika alokace stání v rámci algoritmů řeší za pomoci stanovení několika kritérií. Nelze však říct, že převažuje jediná kombinace. A proto bych zde zmínil rovnou několik z nich.

- minimalizace doby chůze cestujících ke gatům je dalším důležitým faktorem při přidělování stání
- počet letů odbavených u vzdálených stání (tzv. remote stands)
- náklady spojené s používáním konkrétního stání se zvažují v procesu alokace stání
- minimalizace pravděpodobnosti konfliktu letů
- počet letů v rámci jednotlivých odbavovacích ploch
- maximalizace počtu letů u kontaktních stání
- minimalizace přetahů letadel
- maximalizace výnosů z navazujících letů
- maximalizace robustnosti plánování pro odletové brány
- maximalizace využití kapacity letiště a zmírnění zpoždění
- preference různých zúčastněných subjektů, jako jsou letiště, správci leteckého provozu, letecké společnosti, handlingové agenti a cestující jsou proto zvažovány v procesu přidělování stání
- metodiky přiřazení stání berou v úvahu stochastickou povahu prostředí letiště a usilují o generování řešení, která jsou robustní pro zpoždění letu [17][20][26][39]

Nicméně důležitost kritérií se pro různé uživatele, tedy hlavně jednotlivá letiště, liší a nelze tak říct, že některé řešení je ideální. Spíše jde o kompromis nebo alespoň snahu o něj v rámci nejvíce preferovaných bodů ze strany jak letiště, tak dopravce, při snaze zahrnout další entity do těchto rozhodnutí. Nejde totiž nikdy zcela vyhovět každé složce v provozu letadla. Zároveň při tak nízkém počtu kritérií může docházet k opomenutí některých faktorů. Příkladem může být, že podle některých předpokladů všechna stání vyhovují všem letadlům, což nelze aplikovat v reálném provozu. Lze formulovat různé účelové provozní faktory, kterých lze dosáhnout.



V tomto smyslu se využívají prioritizace kritérií, kdy každé kritérium má nějakou zvolenou hodnotu. Součástí je pak systém sankcí při jejich nedodržení. V rámci systému je logicky zvolena nejvýhodnější varianta, tedy varianta s minimem sankcí. Výsledkem tak mohou být například maximalizace počtu letadel přidělených na preferovaná stání, minimalizace odchylek od původního plánu. [17][20]

Dalším příkladem, který řeší dopravce i letiště v rámci preferencí, je pravidelné přidělování letadel dopravce na stejná místa. To je parametr, který má mnoho výhod pro obě strany. V případě letů se stejným číslem je opakovatelnost přidělení výhodná pro cestující, kteří tento let často využívají, protože dosažení příslušné odletové brány je rychlejší a efektivnější. Další výhodou může představovat možnost umístit na stálo veškeré propagační předměty dopravce u gatů, případně různá další zařízení, jako například pro kontrolu rozměrů příručních zavazadel.[20][19]

Všeobecně ale platí, že přidělování stání je vícestupňový proces. Na většině letišť se předběžný plán připravuje před začátkem sezóny. V případě splnění předchozí fáze, která zahrnuje především dlouhodobý plán, přichází druhá fáze procesu, která obvykle probíhá v den před plánovanými přílety/odlety. Spočívá v kontrole souladu mezi původním plánem a aktuálním letovým řádem. V případě nesrovnalostí se připraví plán změn. Třetí fází je sledování provozu v reálném čase, kdy v reakci na zpoždění letů, změny typů letadel a další záležitosti, které znemožňují použití již dříve vypracovaného plánu, můžou zaměstnanci připravit změny. Změna přidělení jednoho letadla může často začít řetězit a opakovat a je tedy nutnost naplánovat přerozdělení stání pro několik následujících letadel. Přidělování stání může být také ovlivněno faktory, jako je let v schengenském prostoru. Další faktory mohou souviset s kulturními a politickými problémy. V případě Letiště Praha jde typicky o izraelské aerolinky, které se v některých letech potkávaly ve stejnou dobu s aerolinkami z UAE. Taková situace byla potenciálně riziková a letiště tak přijímalo opatření.[21]

Celkově lze tak shrnout, že přidělení stání leteckým společnostem na letištích zahrnuje zvážení faktorů, jako jsou náklady, pohodlí cestujících, provozní změny, využití kapacity, preference zúčastněných subjektů a robustnost vůči zpoždění letů.





## 2.1 Multikriteriální dynamická alokace stání (MDSA)

Předpokladem aplikace metody je změna alokace oproti plánu, tedy určitá realokace. Respektive nemožnost původního provedení plánu přidělených míst. Metoda je popisována jako efektivní řešení, proveditelné v krátkém časovém horizontu. Zároveň je popisována jako nutná pro řešení zpoždění, naléhavých událostí, tedy tzv „emergency“ a dalších neobvyklých situací. V úvahu bere množství faktorů. Například operativní složky letiště, ATC, aerolinky, handling, PAX a další součásti provozu na letišti. [26]

Alokace stání je obvykle starostí ATM. Infrastruktura na letištích, se kterou se pracuje v rámci této činnosti, často může být redundantní, a v některých případech tak nejde o zcela kritickou činnost. Nicméně plánování alokace slotů je stále činnost, na kterou je kladena vysoká priorita. To většinou nastává v době špičkových hodin nebo změn v množství nebo funkčnosti infrastruktury. Nelze totiž vyloučit například závady na nástupních mostech, handlingové technice, nebo při závadě různých systémů na stání, jako je VDGS. Ve většině případů z těchto důvodů nelze plán dodržet. Zároveň v případě výše jmenovaných entit lze očekávat různé požadavky, které mohou vést také k nutnosti dynamické alokace slotů. V rámci MDSA se jedná o hledání řešení v případě jiných než obvyklých podmínek. [8] [26]

V případě alokace stání pomocí metody MDSA se jedná o alokaci jednotlivých letadel se specifickými parametry v reálném čase závislé na dané situaci na konkrétním letišti. Vždy jde o konkrétní obsazenost stání, ale také o další nutné podmínky pro dané letadlo nebo denní dobu, případně i pro specifickou provozní situaci.[26]

Výše zmíněné entity jsou součástí řešení metodou MDSA. Lze proto předpokládat aplikovatelnost na většině letišť, pouze s dílčími úpravami metody, protože mezi letišti nepanuje tak velká odlišnost, aby určitá modulace nebyla aplikovatelná. Celkem jde o 14 kritérií. S tím, že 10 z nich je objektivních, zbytek je subjektivního charakteru. Každý ze zúčastněných stran má samozřejmě odlišné preference, proto jsou rozděleny do skupin. [26]



#### ATC

- doba vedení letadla
- náročnost práce ATCO
- bezpečnost

#### Letiště

- doba využití stání
- počet okolních obsazených stání
- slučitelnost kapacity brány a počtu cestujících
- kompatibilita letadla se stáním
- operational preference

#### Dopravce

- preference dopravce
- možnost opakované alokace

#### Handling

- způsob odjezdu ze stání
- cena

#### Cestující

- vzdálenost, kterou cestující musí ujít v terminálu
- komfort [26]



### 3 Řízení odbavovacích ploch

APRON je oblastí s nejvyšší intenzitou a rozmanitostí pohybů, kde se křížují letadla, vozidla, cestující, zaměstnanci letiště a někdy i další složky a lidé, kteří vstupují pouze jednorázově. Aby i přes všechny tyto účastníky s odlišnými znalostmi prostředí odbavovací plochy byla zachována nejvyšší úroveň efektivního řízení a bezpečnosti, musí mít provozovatel letiště opatření, která zajistí, aby každý znal bezpečnostní pravidla pro provozní službu poskytovanou na odbavovací ploše, případně aby všichni zaměstnanci pracující na APRONU byli před prací seznámeni se zásadami bezpečnosti. Znalosti získané o bezpečnosti musí obsahovat informace o riziku pro návštěvníka samotného a ostatní vyplývající z jeho zaměstnání v případě, že jde o zaměstnance. Zároveň by součástí mělo být informování o nebezpečích vázaných na některá zařízení, ostatní zaměstnance a třetí strany pohybující se na dané ploše. Stejně tak musí všichni dle pravidel využívat ochranné prostředky a vědět, jak se zachovat při nouzových situacích. Mezi problémy, které lze nedodržením postupů na APRONU, patří zranění personálu letecké společnosti a letišť nebo ranění cestujících a posádky letadla. Při poškození techniky v důsledku incidentu můžou přibýt další náklady za poškození zařízení používaná na ploše, případně přímo poškození letadla. Ve hře jsou také provozní dopady v důsledku nehod a incidentů, rozsahově od zpoždění až po náklady na nemožnost využití zařízení při servisu, respektive na dobu opravy. Provozní efektivita v okolí odbavovací plochy, to znamená zlepšení doby obratu letadla.[1][28]

Pro účely řízení bezpečnosti musí provozovatel letiště zajistit, aby byl přístup personálu a vozidel k odbavovacím plochám omezen pouze na ty, které byly speciálně proškoleni a jsou způsobilými pro práci na odbavovací ploše. To znamená, aby každá osoba hlásila výskyt nehody nebo nebezpečného postupu, který byl pozorován. Vždy musí také být získáno povolení od ŘLP, pokud je od personálu požadováno, aby překročil schválené hranice jejich pracovní oblasti. [27][28]

Veškeré znalosti by měly být v pravidelných intervalech opakovány na školeních. Co se týká samotného řízení plochy, Musí být kladen důraz na jednoduché fungování všech složek podílejících se na provozu. V rámci spolupráce s ŘLP nelze fungovat



bez určení konkrétních míst předání letu, respektive letadla mezi TWR a osobou odpovědnou za letadlo na odbavovací ploše. V literatuře bývá popsána jako APRON manager, v případě českého ÚCL jde o řídicího odbavovací plochy. Takovou lokací pro předání jsou například místa na záchytných bodech pojezdových drah. Typicky si lze představit některou ze stop příček nebo podobně snadno detekovatelnou lokaci. Zásadní je stanovení podmínek pro takové možné předání letu. Pro přilétající letadlo může řídicí ze stanoviště TWR uvolnit letadlo dříve, než překročí daný bod, ale pouze v případě, že pilot oznámí, že má odpovědnou osobu za řízení odbavovací plochy na dohled. Pro odlétající platí podobné podmínky, tedy letadlo může být předáno dříve, ale pouze když už definitivně míří na pojezdovou dráhu a je pryč z rizika konfliktu se všemi překážkami na odbavovací ploše.[1][27][28]

### 3.1 Pravidla pohybu po pozemních plochách na LKPR

Vzhledem ke komplexnosti celé problematiky odbavovacích ploch nelze přidělit stání náhodně v dobu, kdy letadlo přiletí například podle toho, které si společnost vybere na základě toho, které je nejvýhodnější ve smyslu vzdáleností k RWY a podobných nekoncepčních kritériích. Ve skutečnosti je tato problematika závislá na mnoha faktorech. A jejich správné uplatnění dokáže ovlivnit provoz celého letiště. Ať už jde o kapacitu provozních ploch, nebo problematiku umístění cestujících v terminálu. Úplně nejzákladnější věcí může být právě dělení terminálů. V případě LKPR jde o rozdělení na schengenský a non schengenský prostor. V případě smíchání těchto toků cestujících by mohlo dojít k významným bezpečnostním problémům, čemuž je prioritou se zcela samozřejmě vyhnout. Některé vybavení terminálu by ani nebylo odpovídající právě požadavkům ze strany států na úroveň security kontroly. Nelze ale uvažovat pouze s řešením umístění pohledu schengenského prostoru. V případě alokace slotů k tomu připadá několik dalších faktorů. V případě LKPR tyto faktory řeší operační dispečinky provozních subjektů. Mezi ty se řadí centrální provozní dispečink, staniční dispečinky pro handling a operační dispečink pro dopravce. Na základě několika pravidel se pak přidělují tyto místa. Na pražském letišti se nachází výše zmíněných až 53 stání. Každé je schopné zajistit stání pro letadlo určitých parametrů. Největší limitace se



dostává letadlům kategorie E a F. Pro tyto letadla, tedy typicky B747 a A380, se dostává pouze jedno až dvě stání. [29]

Všeobecně platí několik základních pravidel. V praxi se uplatňují ale i specifická pravidla pro dané letiště. Závisí například na požadavcích dopravců, provozní situaci nebo různých stavebních pracích.

Základní dokument stanovující dané podmínky od LIS je součástí příručky AIP. Dělí se na několik částí, jmenovitě na:

- ŘÍZENÍ LETADEL POHYBUJÍCÍCH SE NA POHYBOVÉ PLOŠE
- VIZUÁLNÍ NAVÁDĚCÍ SYSTÉM (VDGS)
- POJÍŽDĚNÍ
- PROVOZ KRITICKÝCH TYPŮ LETADEL
- PLNĚNÍ PALIVA DO LETADLA S CESTUJÍCÍMI NA PALUBĚ
- MULTIPLE PUSH-BACK
- ODMRAZOVÁNÍ LETADEL
- HIGH INTENSITY RWY OPERATIONS – HIRO
- PŘÍČKY ZASTAVENÍ NA STÁNÍCH [29]

První z kapitol řeší několik provozních pravidel. Pro jednotlivá stání informuje o dostupnosti služby řízení a zároveň definuje pravidla, za kterých může letadlo využít vlastní pohon pro vjezd na stání. Součástí této kapitoly je i podoba pravidel v případě LVP, tedy provozu za nízké dohlednosti. Z pohledu této práce je zajímavá část, která zmiňuje právě apron Sever, který je rozebíráný napříč celou prací. Vyjadřuje zde právo provozovatele zasáhnout nařízením uvolnění některého stání (po uplynutí určité doby) a přetahem letadla na jiné. Lze tak předpokládat zásahy provozní složky letiště. Předpis upravuje také pravidla pro motorové zkoušky. Na většině ploch letiště toto testování nelze realizovat, výjimkou je plocha Východ. Na té lze na stáních E3 až E7 provést zkoušku v režimu volnoběhu za podmínky splnění požadavků na rozpětí a čas, kdy je zkouška provedena. [29]

Další kapitola, která je pro tuto práci důležitá z pohledu chápání pravidel a toho, zda je nutné je nějak promítnout do modulu, je Pojíždění. Kapitola udává restriktce pro



výjezd z RWY, konkrétně zákaz využití RWY 12 pro sjezd RWY 06/24. Výjimka platí v případě povolení od ATC. Následuje doplnění pravidel v případě aktivního využívání navigačního zařízení ILS pro CAT I v době podmínek RVR 5 km a základny oblačnosti 1000 ft. Součástí je také popis omezení rychlosti na 15 kt na určitých částech infrastruktury, které platí především pro některé úseky TWY. V tabulce číslo 1 níže lze vidět omezení jednotlivých TWY dle rozpětí letadla. A současně zde figuruje popis povolených míst pro využití tzv. POWERback principu. Všeobecně se však největší část věnuje výše zmíněnému popisu limitací TWY s tím, že jde o detailnější popis, než je v tabulce. Ne vždy jde totiž v celé délce aplikovat takto fixní limit.[29]

Tabulka 1 - Omezení maximálního rozpětí letadla na TWY [29]

TWY	kódové písmeno/code letter	MAX rozpětí/wingspan of ACFT
AA	D	52 m
A1 mezi stánými / between stands 1 a/and 3	D	52 m
B1	C	36 m
B2	C	36 m
TWY H mezi/between TWY L a/and TWY B2	C	36 m
H1	C	36 m
J BLUE	C	36 m
J ORANGE	C	36 m
L1	C	36 m
Q mezi TWY Q1 a výjezdem ze stání S19 / Q between TWY Q1 and S19 stand exit	C	36 m
Q1 mezi/between TWY Q a stání / and stand S9	C	29 m
Q1 mezi stáním / between stand S9 a odbavovací plochou / and apron Bell	B	19,5 m
Q2	C	36 m
Q3	C	36 m
Q4	B	24 m
Q5	C	29 m
S	C	36 m

Navazující kapitolou je provoz kritických typů letadel, což zásadní informace pro celou infrastrukturu. Vždy je totiž nutné řešit tzv. kritické letadlo. A právě tento přehled je zde vypsán nejen pro limit rychlostí pojíždění a pro vzdálenost konce křídla od překážek, nadjíždění v obloucích ale i odmrazování. V případě například A380 jde o detailní instrukce právě třeba v případě nadjíždění v obloucích.

Další kapitola stanovuje postupy HIRO. Zkratka, která označuje tzv. High intensity RWY operations určuje podmínky provozu v určitém období, a to konkrétně od 5:00 do 21:00, respektive 4:00 do 20:00, v závislosti na změnách času z letního na zimní. Celý význam HIRO je zamezení zpožděním a zvýšení maximálního hodinového



počtu vzletů a přistání. V závislosti na tomto cíli je nezbytné snížit časy obsazení RWY na minimum. Pro přílety je pravidlo nastavené tak, že by piloti měli, kdykoliv to podmínky po přistání umožní, vyklidit RWY na následujícím výjezdu na TWY. Dále je popsán postup přípravy před letem a v rámci briefingu před přistáním pojmenovat očekávaný výjezd z RWY. Podobná pravidla platí i pro odlety, kdy se apeluje, aby kdykoliv to podmínky na RWY umožní, byli piloti připraveni akceptovat vzlet z následující křižovatky, a měli by být schopni provést vstup na RWY neprodleně po obdržení povolení, případně být na základě povolení připraveni provést vzlet přímo z pojíždění.

Další kapitola popisuje funkci příčky zastavení na stáních, které jsou určeny pro zastavení letadla předovým podvozkem na úrovni příčky. Dále se zabývá specifiky na odbavovací ploše Východ. Kromě výše zmíněných a rozebraných kapitol jsou další neméně důležité. Nicméně jde o postupy, jejichž význam není tak blízko provozu v rámci odbavovacích ploch. [29]

### 3.2 Smart APRON

Na letištích v současné době funguje velké množství technologií a odbavovací plocha je v tomto ohledu poměrně rozvinutou oblastí. Některé technologie jsou využívány pouze pro jejich primární účel, což není samozřejmě špatně. Nicméně při využití dat, která se z těchto technologií a senzorů sbírají, lze připravit prostor pro tzv. smart airports, a tím výše popisované řízení odbavovací plochy zefektivnit. Propojení inteligentních zařízení přes Internet of Things, je možným řešením. Propojené uzly IoT jsou nezbytné pro to, aby byly někdy značně odlišné a izolované systémy dále rozšiřitelné, pokročilé a použitelné kdekoli. Integrace do takové sítě pak zajišťuje komplexnější sběr dat, snímání, a dokáže umožnit i provádění některých pokročilejších akcí. Zařízení pak díky připojení k této síti komunikují prostřednictvím vzdálených serverů.

Na odbavovací ploše najdeme množství dostupných komponent pro vytvoření výše popisovaného modelu. Těmi mohou být data o slotech, senzory (množství typů dle způsobu měření), kamery a další. Mezi daty jsou tak informace o jednotlivých letech, typu požadovaného stání a jeho stav (obsazený nebo volný, případně informace, co na stání probíhá za činnost). Pomocí kamer spojených se



specifickým SW nebo například s umělou inteligencí lze získat informace o průběhu technického odbavení letadel na jednotlivých stáních. Každé místo pak má status, zda bude volný včas pro další let, případně jaký je odhad zpoždění. Příkladem takového zařízení, které je schopné být na takovou funkcionalitu navázané, je například využití A-VDGS. Tedy určitého pokročilejšího systému VDGS (advanced VDGS), který obsahuje senzory ke sledování pohybu letadel v oblasti stání při příletu a během pushbacku, které jsou schopné poskytovat větší množství informací než původní systémy VDGS. Díky tomu lze například dostávat upozornění na potenciální problémy před příletem letadla, aktuální o průběhu TSAT/TOBT, aktualizací AODB nejnovějšími informacemi o bráně/letu. Možná je integrace s výše zmíněnými optickými senzory pro rozpoznání činností handlingu pomocí umělé inteligence a strojového učení. Aktivace A-VDGS může být navázaná na letové plány nebo pouze na manuální aktivaci manuálně. V případě vyššího stupně integrace systémů v rámci letiště (jak bylo popsáno výše) může být na základě skutečné polohy letadla poskytovaného sledovacím systémem aktivace prováděna zcela automaticky. V případě takové integrace data ze systémů v síti IoT mohou poskytnout automatické vedení nebo rozhodování o dostupnosti alokovaného místa pro daný let. [31][27]

To je nicméně pouze jeden z příkladů využití technologie, která už na letišti je. Otázkou pak je pouze navázání daných technologií na větší, často cloudové SW nástroje. To znamená v případě rozšíření i mimo APRON, kdy je žádoucí mít také informace o ostatním provozu. Dle toho lze rozhodovat o alokaci, případně volbě TWY nebo dalších provozních změnách operativně a s co největším předstihem. Například lze znát a využívat informace o letadle, tedy zda přistálo, jaké má zpoždění nebo další informace, které jsou dostupné ze systémů řízení letového provozu nebo ze systémů letiště. Výsledkem je informace, kdy se předpokládá přílet letadla. Když taková informace do systému přijde, proběhne kontrola, zda je předem přiřazené stání volné. Při této kontrole by bylo využito optických senzorů umístěných na stání. V případě konfliktu by byl personál informován o situaci a zodpovědná osoba by rozhodla o realokaci. Právě díky optickým senzorům, které jsou schopné sledovat průběh odbavení může systém predikovat, zda bude stání v době příletu obsazené. Lze tak informaci a predikci nutné realokace sledovat





v čase. Letiště může díky automatickému vyhodnocení efektivněji reagovat a předvídat. [30]

Výše popsaná automatizace tedy může vytvořit komplexní řešení. Integrace různých systémů proto je klíčem k rozšíření automatizace ze samostatných aplikací na plně integrované komplexní aplikace, které jsou propojeny tak, aby umožnily zobrazení kompletního scénáře pro identifikaci jakýchkoliv dopadů v rámci procesů daného letu, případně celého letového řádu pro určitý den. Právě tak můžeme plně využít potenciál technologií, které letiště už v určité míře má. Integrace musí probíhat na datové úrovni, tj. různé aplikace a technologie existují a jsou integrovány, aby podporovaly transfer dat pro jiné aplikace. Nemělo by docházet k nutnosti měnit samotné technologie k tomu, aby byly schopné komunikace a koexistence. Mnoho IoT zařízení na odbavovací ploše může už nyní komunikovat. Ale protože neexistuje žádný standard, komunikují různými způsoby, což je výzva pro vytvoření těchto propojených a značně komplexních řešení jako je koncept smart APRON a dále pak smart airports. Předchází se i nutnosti měnit všechny technologie ve chvíli, kdy jedna musí být vyměněna. Stačí se soustředit pouze na to, aby výstupy byly vhodného datového typu pro integrovaný letištní systém. [30][31][32][33][40]



## 4 Tvorba a aplikace modulu pro alokaci stání

### 4.1 Výchozí model letiště

Model, pro který vzniká modul z této práce, je model Letiště Praha vytvořený na Katedře letecké dopravy FD ČVUT. Ten zahrnuje kompletní grafické zobrazení letiště, tedy jeho dráhového systému, pojezdových drah a odbavovacích ploch, znázornění stop příček a některého dalšího značení. Dominantní je ale samozřejmě logická část řešící a ovládající komplexní procesy letiště. Model je naprogramovaný pro simulaci veškerých pohybů na všech zmíněných plochách letiště. Proces provádí každé letadlo od příletu přes pojiždění až k pozemnímu odbavení. A následně naopak od vytlačení letadla z jeho stání až po odlet. Pro tuto logickou část je také vytvořen právě modul řešící dynamickou alokaci stání, jehož tvorba je cílem této práce.

Modul, je proto od začátku připravovaný tak, aby byl plně kompatibilní s výše zmíněným modelem, který se v současné době dále rozšiřuje právě o jednotlivé moduly. Cílem implementace všech postupně vytvářených modulů je vytvoření podoby, díky které by měl vzniknout dle dostupných možností co nejrealističtější model pro simulaci provozu Letiště Praha.

Model má určitá softwarová specifika. Některé zásady proto kvůli snadnější implementaci musí být dodrženy i při tvorbě modulu. Model běží v prostředí softwaru Anylogic, kde využívá multiagentní modelování pro simulaci provozu letiště. Protože jde ale v případě této práce pouze o modul, nemusí být proveden v rozhraní Anylogicu, postačující je využití kompatibilního programovacího jazyku, v tomto případě jazyku Java.

V nynějším stavu model pracuje s alokací stání. Nepracuje s ní však v podobě, která by byla vhodná pro další rozšiřování funkcí modelu. Nyní model funguje pouze se statickými hodnotami alokace, které jsou předem známy, respektive musí být. To znamená, že jeden z nahraných souborů disponuje také alokované místo pro každé letadlo. Tímto souborem je letový řád obsahující veškeré informace od imatrikulace letadla, přes alokované místo, až po čas strávený v pojezdovém systému letiště. Na základě hodnot alokace pak model umožní vhodné umístění na odbavovací ploše letiště. Není však možné měnit parametry dynamicky tak, aby bylo možné reagovat



na případné změny v provozu. Letadlo v případě blokování původního stání nemůže pokračovat a je umístěno do oblasti stání 70 až 76, kde vyčkává na uvolnění stání, které mělo přiděleno.

Modul je právě řešením těchto situací. Není totiž vždy vhodné nechat letadlo vyčkávat, obzvláště ve špičkových hodinách. Modul proto ve chvíli, kdy provede původní alokaci, musí umožnit další 2 funkce, realokaci a kompletní zrušení letů. První z nich, realokace, je případ, který je popsán výše. Letadla přiletí a jeho místo je obsazené jiným letem, který má zpoždění. Modul v takovém případě pro co největší shodu s reálným řešením problému musí nabídnout 2 možnosti. Letiště v některých případech chce vybrat konkrétní náhradní stání, které například společnost preferuje, případně vyhovuje přímo letišti. Proto jako první musí uživatel nabídnout možnost zvolit stání pro umístění letadla. Druhou možností je automatická alokace, kterou provede systém ve chvíli, kdy není nutný výběr na základě specifických požadavků. V případě rušení rezervací jednotlivých stání jde typicky o diverty a podobně ovlivněné lety, kdy je nutné stání uvolnit pro případ právě třeba dříve zmíněné realokace. Modul proto musí umět libovolnému množství letů zrušit rezervaci z původní alokace. Jak realokace, tak zrušení letu tak přispívají k rozšíření vlastností modelu, který bude díky implementaci těchto řešení schopný dynamického řízení odbavovací plochy.

## 4.2 Modul a jeho implementace

Jak vyplývá ze zadání a názvu práce, modul řeší dynamické řízení odbavovací plochy Sever. Účelem tak je řešit alokaci stání, která je v současné době v modelu řízena pouze načtením alokačních dat o každém letu. Modul tak umožňuje s využitím základních informací o letu připravit plán alokací na celý den a zároveň během dne provádět změny, ať už jde o realokaci, nebo rušení jednotlivých rezervací stání pro dané lety. Současně modul umožní snadné testování změn v infrastruktuře. Lze totiž snadno aktualizovat rozměry, počty i další charakteristiky.

Modul je zpracován v souladu s možnostmi již vytvořeného modelu Letiště Praha, s vědomím toho, v jakém prostředí model funguje. A jaké formáty jednotlivých databází a vstupních dat využívá. Zdrojový kód modulu je dostupný na: <https://github.com/stepanstudnicka/DP.git>.



Zásadním a nezbytným krokem je využití programovacího jazyku Java. Bez toho by modul nemohl fungovat jako součást modelu. To by velmi zásadně ovlivnilo umožnění implementace a umožnění dynamického řízení přímo v modelu, vše by totiž muselo běžet jako vedlejší software a následně by mohl být pouze importován soubor s již alokovanými stánkami. Tomu se využitím kompatibilního programovacího jazyku lze vyhnout. Proto je možné jednotlivé funkce i celý program zasadit přímo do logického fungování modelu a využívat ho naplno jako jeho součást.

### 4.3 Využití dat

Příprava jakéhokoliv modelu je téměř nemožná bez dostatečné znalosti dat, která modelovaný děj ovlivňují. Takové situaci se podařilo předejít díky konzultaci s expertem z Letiště Praha. Na základě této schůzky se podařilo získat veškerá data nutná pro získání přehledu o všech vstupech, které je nutné zahrnout.

První a zcela zásadní soubor je letový řád. Bez znalosti formátu dat tohoto vstupu nelze začít. Struktura letového řádu je zdaleka nejméně komplexní. A nelze tak připravit žádné další funkce bez úvodní implementace tohoto souboru dat. Obsahem jsou následující údaje pro každý let.

- Datum letu
- Čas letu
- Kód letecké společnosti (ve většině případů IATA kód)
- Číslo letu
- Indikátor A/D (značení, zda se jedná o přílet nebo odlet)
- Datum navazujícího letu
- Kód letecké společnosti pro navazující let
- Číslo navazujícího letu
- Typ letadla
- ICAO kód destinace

Vybraný letový řád je z období roku 2020, konkrétně jde o červen tohoto roku. Výhodou je, že není ještě ovlivněn pandemií, což byl záměr při konzultaci s Letištěm



Praha. Cílem je mít nástroj dobře fungující za běžných podmínek. Všechny ostatní parametry vstupující do modulu jsou také z tohoto období.

Druhým využitým souborem je seznam typů letadel. Obsahuje seznam typů veškerých letadel vyskytujících se na LKPR a jejich rozpětí křídel. Na základě rozpětí byla také určena kategorie jednotlivých typů letadel. Zároveň díky využití ICAO zkratk jako v letovém řádu lze tento soubor snadno využít pro párování typů letadel. O tom, jak se konkrétně využila data o letadlech, se zmíním v další části práce.

Další soubory obsahují informace o stáních. Těchto souborů je několik, které jako celek dávají kompletní přehled o parametrech každého z nich. Převážně z důvodu komplexnosti a různorodosti informací by jediný soubor nebo sada dat nebyla přehledná. Celkem lze rozdělit na 3 základní části. Seznam stání s jejich rozměry je první z nich. Tyto informace obsahuje dokument, kterým je směrnice pro řízení provozu ploch odbavovací plochy Sever. Často jsou zde informace o stáních doplněné také výjimkami pro některá letadla, která jinak přesahují všeobecně nastavené limity stání. Lze tak jako příklad uvést povolení stání letadel typu A330 na stání 1. To má jinak nastavený limit na max rozpětí 52 m. V případě A330, je to však více. To sebou pochopitelně nese další limity, které jsou dále popsány v tomto manuálu. Na jejich základě pak lze rozhodnout, zda je pro letiště takové umístění možné. Pokud ne, manuálně ho pracovník daného oddělení může přemístit. Stejná funkcionalita je součástí modulu. Druhá část souborů se týká vzájemných restrikcí. Některá stání totiž nelze obsadit najednou. Tyto parametry nemají žádná konkrétní pravidla. Proto jsou uváděna pro každé stání separátně. Jde většinou o tzv. MARS stání. To se týká například stání číslo 1. To lze využít pro letadlo s rozpětím do 52 metrů, případně ho lze využít jako 1A a 1B. Obě s limitem 36 m. Třetí část není tak komplexní, ale je jedna z rozhodujících. Seznam stání pro lety v oblasti Schengenského prostoru a mimo schengenský prostor. V tomto případě došlo k vytvoření databáze všech destinací z daného letového řádu. V návaznosti byla každé destinaci přiřazena země. A dle seznamu zemí schengenského prostoru se automaticky rozhoduje o přiřazení statusu dané destinace. Tyto 3 části jsou dále samostatně využívány a popsány v následujících kapitolách, které se věnují logice celého kódu.



Naopak velmi komplexní je další kategorie dat. Jde o preference dopravců. Každý dopravce totiž na základě mnoha parametrů (požadavky na nástupní most, vzdálenosti v terminálu, konfigurace čekárny pro cestující atd.) preferuje některá stání více než jiná. Většinou se jedná o soubor několika stání, kdy každé má určitou hodnotu vyjádřenou číselně od 1 do 100, kdy právě hodnota 100 značí nejvíce preferované stání a řadí se tím na první místa alokace. Zejména ve chvíli, kdy dopravce vyžaduje vždy stejné, stání má velmi vysokou preferenční hodnotu a většinou pouze menší množství stání. To nicméně neplatí plošně. Někteří dopravci mají preferenci stejnou pro několik stání, často třeba i ve dvojnásobném počtu. V tomto případě je rozhodnutí na straně letiště, které na základě svých preferencí také rozhoduje o přidělení stání. Případně se zakládá na domluvě mezi těmito stranami. Existují ale také dopravci, kteří preferenci nemají. Zde je pak volba čistě na straně letiště. Příklad preferencí dopravce ukazuje tabulka číslo 1. V té je vidět celkem 6 preferovaných stání jednoho ze síťových dopravců, který letiště navštěvuje pravidelně.

Tabulka 2 – Seznam preferencí dopravce [41]

Číslo stání	Hodnota preference
18	50
19	50
19A	50
20	5
23	50
54	10



#### 4.4 Logika modulu alokace stání

Logika modulu pro alokaci stání se skládá z několika částí. Každá z těchto částí je reprezentována specifickou funkcí v daném programu, která obsahuje samostatně reprezentovaná pravidla, která byla popsána výše. Zároveň bylo nutné využití několika souborů s daty a parametry. Všechna data jsou reprezentována soubory typu Excel. Tedy v tabulkovém procesoru sloužícím jako databáze parametrů, ze kterého modul může čerpat vždy aktuální informace, aniž by byla nutná změna samotného zdrojového kódu. Tento krok je volen s předpokladem co největší kompatibility s originálním modelem. Software Anylogic totiž preferuje tento typ souborů pro tvorbu databází. S těmi, pokud je to potřebné, dále pracuje. Zároveň umožňuje neustálou a snadnou aktualizaci dat. Vzhledem k poměrně časté aktualizaci letových řádů (letní x zimní), nebo aktualizaci dostupných stání (rekonstrukce, rekonfigurace apod.), je tento způsob vkládání dat zcela nejvíce uživatelsky přívětivý. A bude také možné data využít napříč modelem, případně do modulu přidávat už nyní využívané databáze. Jako příklad mohou být aktuální seznamy preferencí dopravců, které se pravidelně mohou měnit, například i pro určité týdny v jinak konzistentním letovém řádu.

##### 4.4.1 Párování letů

Nelze začít jinak než načtením letového řádu. S tím se ale pojí složitější logika. Jak bylo výše zmíněno, lety jsou rozděleny v jednotlivých řádcích jako přelety a odlety samostatně. Proto je v začátku upřednostněná logika pro párování letů. To je založeno na hledání shody těchto dvou řádků, které vytváří stejný let, tedy jeden pár. Protože plánování alokace stání probíhá většinou na jeden den dopředu, je nastaveno dialogové okno programu pro zadání dne pro přípravu alokace. Následně pro tento den probíhá párování všech letů. Párování je založené na několika podmínkách. První z nich je shoda čísel letů. Každý řádek totiž obsahuje číslo daného letu i číslo navazujícího letu. Díky tomu lze považovat tento prvek za jeden z hlavních rozhodujících znaků. Vzhledem k opakujícím se letům během týdne je ale nutné rozlišit i datum daných letů. To lze využít ve stejné logice jako čísla letů. Každý řádek totiž obsahuje datum obou letů. V letovém řádu se vyskytují



samozřejmě i lety, kdy let přiletěl už předchozí den. Takové případy jsou řešeny podmínkou. Vždy jeden z párovaných letů může být nalezen o den dříve, případně později. Vždy jde o srovnání s původním vstupem zadaným od uživatele.

#### 4.4.2 Výběr vhodných stání

Dalším krokem je metoda pojmenovaná jako „findCompatibleStands“. A jak je z názvu zřejmé, cílem je nalézt všechna vhodná stání pro daný let. Zde probíhá načtení dat rozpětí křídel všech typů letadel. To je součástí především z důvodu omezení vybírání nevhodných, tedy příliš malých stání. Další nezbytná podmínka pro filtrování je rozlišení stání, která jsou či nejsou pro lety v rámci schengenského prostoru. Dle destinace z letového řádu dochází k porovnání se seznamem stání. Obě tyto databáze obsahují informace o statusu daných vstupů. Ve chvíli, kdy jsou splněny tyto dva parametry, je vytvořen základní seznam vhodných stání. Cílem je využití stání, které jsou co nejvhodnější. Proto je seznam seřazen dle jejich rozměrů. Tak aby nedocházelo k přiřazení stání neadekvátních rozměrů. Do seznamu ještě vstupuje další parametr. Tím jsou preference dopravců. Na jejich základě dochází v seznamu k přeřazení stání. Na prvních místech se objeví všechna preferovaná stání. A to v pořadí od nejvyšší preference po nejnižší. Vždy však proběhne ověření kompatibility.

#### 4.4.3 Kontrola konfliktních rezervací

Velmi důležitou metodou je „isOverlapping“. Není totiž přípustné, aby na kterémkoliv stání vznikl konflikt. To by v reálném provozu znamenalo obrovské problémy pro pozemní personál. Takový konflikt by totiž mohl vést k blokaci infrastruktury a následným zpožděním letů. Tento prvek je tak v kódu zcela nezbytný. V první fázi dojde k přečtení údajů obou letů. Konkrétně časů příletů (přílet 1 a přílet 2) a odletů (odlet 1 a odlet 2). Následně metoda porovnává dvě různé kombinace.

- přílet 1 je před odletem 2 a zároveň odlet 1 je před příletem 2 nebo
- přílet 2 je před odletem 1 a zároveň odlet 2 je před příletem 1





Na základě výsledků těchto podmínek lze určit, zda dochází ke konfliktu. Nelze ale provést tento proces pouze pro první stání, se kterým má potenciálně shodu, proto je tento proces opakován pro další stání v případě, že první má konflikt. Součástí je pak kontrola restrikcí mezi stáními. Ty se kontrolují pro případ stání typu MARS. Tedy stání, kam lze umístit buď 1 větší, nebo 2 menší letadla. Pro případ nesprávné alokace všech 3 stání je právě nutná kontrola jejich obsazenosti. Sledování a srovnávání konfliktů těchto stání probíhá obdobně jako srovnávání běžných konfliktů.

#### 4.4.4 Rezervace stání

Metoda řešící rezervace stání se jmenuje „reserveStand“. A i zde vstupuje několik podmínek a informací. Prvotní vstup je z předchozí metody. Ten předává právě seznam stání, který byl výstupem části vybírající vhodná stání. Po předání seznamu stání dochází k jeho kontrole. A to především pro zjištění, zda vhodné stání existuje. Následuje kontrola konfliktních rezervací. Ta probíhá na základě kontroly popsané výše pomocí metody „isOverlapping“. Na základě toho se metoda „reserveStand“ opakuje. A to do doby, než najde volné stání. V případě, že nenajde volné stání, vypíše tuto informaci a informuje tak uživatele.

#### 4.4.5 Sekvenční alokace stání

V případě této metody jde o ne tolik složitou, ale velmi důležitou metodu. Nelze ji totiž vynechat nebo zaměnit. Byla připravena s vědomím, že právě sekvenční přidělování bude nejvhodnější. To je také důvod, proč je seznam stání řazený tak, jak je popisováno výše. Předchází se tak efektu náhodnosti. Ten by činil přidělování stání nepřehledné. Především proto, že by nezohlednil preference dopravců. Zároveň by vznikl problém s přidělením vždy co nejmenšího vhodného stání pro daný let. Ve výsledku tak stání vstupují do funkce seřazené dle preferencí a následně veškerá stání bez preference dle rozměrů. Není zde zahrnuto už žádné stání, které není vyhovující a zároveň jsou v řadě od nejvýhodnějšího po nejméně vhodné. Může se tak postupně od prvního stání v řadě hledat pouze to, které vyhovující stání je volné a lze tam vybraný let přidělit.



#### 4.4.6 Realokace stání

V určitých situacích plán alokace stání nelze zcela dodržet. Není vždy možné zachovat původní stání volné, může dojít například k provozním změnám, které znemožní alokaci dle plánu, které je většinou nejvýhodnější. Případně může být důvodem změny stání například porucha systému VDGS, který je pro daný typ vyžadován. Případně kvůli změně typu letadla na dané lince. Příkladem může být využití větších typů letadel na některých linkách. Metoda tak po prvotním rozdělení umožní interakci. Uživateli nabídne, zda chce některý z letů změnit. Může vybrat jeden nebo více letů, které jsou v původním plánu alokace. V případě, že uživatel vybere některé číslo letu, dostane další možnost volby. Buď může vybrat stání automaticky tak, aby byly dále zachovány všechny podmínky. Ve druhém případě může manuálně vybrat stání jaké je dle uživatele nejvhodnější. V takovém případě proběhne celý proces ověření kompatibility stání a kontroly konfliktních letů. V případě, že narazí na problém v jednom z parametrů, dojde k upozornění uživatele.

#### 4.4.7 Zrušení rezervace

Podobně jako u realokace program umožňuje interakci s uživatelem. A opět lze vybírat jeden či více letů. V tomto případě dochází ke zrušení již přiřazeného letu. Typicky může jít o let, který byl zrušen, případně divertoval. Můžeme tak uvolnit stání, a využít ho rovnou i při realokaci pro další lety. Modul tak dostává další z vlastností, která je součástí systému letiště. Pracovník zodpovědný za plánování alokace běžně také může lety takto upravit. Ať už ve smyslu realokace stání nebo uvolnění jednotlivých alokovaných stání.

#### 4.4.8 Vypsání a uložení výsledků

Všechny informace jsou po spuštění kódu vypisované do konzole v softwaru. Není však dostačující vypsání pouze v takto uživatelsky ne příliš přívětivé podobě. Obzvláště ve chvíli, kdy se jedná o tak velké množství letů. V průměru se každý ze dnů najde přibližně okolo 180 až 230 letů. Vyhledávat specifické informace v konzoli, kde je nespočet informací z průběhu procesu rezervace by bylo příliš nepřehledné. Zároveň je potřeba pro model mít k dispozici tyto informace v přijatelném formátu.



Tedy v, jak bylo výše zmíněno, kompatibilním Excelu. Ten umožní snadnou filtraci všech dat, které se z modulu dostávají do modelu. Není tak nutné složitě vyhledávat informace, které je nutné například ověřit. A zároveň po přeřazení všech požadovaných letů se přepíše původně vygenerovaný soubor. Nedojde samozřejmě ke změnám v jakýchkoliv dalších řádcích. To by ohrozilo zachování předchozí alokace. Nicméně by to hrozilo pouze v situaci, kdy by některý z parametrů byl aktualizován. V opačném případě je program sestavený tak, aby se při opakování stejného scénáře (zachování databází, preferencí atd.) nemohlo stát to, že by stání byla pokaždé přiřazena jiným letům. Vzhledem k preferencím dopravců by se to pochopitelně ani dít nemělo.

Na základě požadavků tak bylo stanoveno uložit informace do tohoto typu souboru v této podobě:

- Číslo letu
- Datum a čas příletu
- Datum a čas odletu
- Typ letadla (IATA)
- Číslo stání

Především proto, aby byla zachována kontinuita formátů napříč modelem, ve kterém musí dále fungovat a komunikovat s dalšími funkcemi.

#### 4.4.9 Ostatní pomocné metody

Ve zbytku kódu se nachází především metody zajišťující načítání dat ze souborů, případně jejich čtení a úpravu do požadovaných formátů pro práci v dalších metodách. Není však nutné je popisovat tak detailně jako metody předchozí. V zásadě jde o metody, které převádí jednotky, zajišťují ověření správného formátu pro veškerá data nebo provádí pomocné ověření schengenského statusu. Metody jsou pak volány v hlavních metodách a je s nimi dále pracováno napříč programem. Proto byly také voleny pro vytvoření takto samostatně.

Celá logika je pak poskládána přímo v hlavní metodě pojmenované „Main“, která sdružuje veškeré výše zmíněné funkce do logické posloupnosti.



## 4.5 Validace

Přestože po proběhnutí všech funkcí programu mají všechny lety přiřazené stání, nelze to automaticky považovat za úspěšné fungování modulu. V rámci procesu validace proto práce zkoumá několik parametrů. Primárním úkolem bude ověřit, že byly dodrženy preference co největšího množství dopravců. Vzhledem k tomu, že jde o smluvně dohodnuté preference, je nutné tento důraz dodržovat v co největší míře.

Dále je vhodné ověřit, že došlo k dodržení parametrů stání nebo například zda byla dodržena alokace z pohledu preference umístění u tzv. „remote“ stání. Takový případ lze typicky pozorovat u společnosti Ryanair. Vzhledem k jejich obchodnímu modelu by umístění jinde než na těchto typech stání, znamenalo potenciální problém při snaze dosáhnout co nejnižšího tzv. průletového času. Tedy času, za který se dokáže letadlo dostat od přistání přes kompletní odbavení zpět ke vzletu. V případě stání typu „remote“ totiž odpadá například nutnost čekání na vytlačení letadla nebo manipulaci s nástupním mostem.

Výše uvedeným základním parametrem pro validaci je například umístění dle schengenského statusu. To je samozřejmě parametr, který je bezpodmínečný, stejně jako správný výběr velikosti stání a další parametry. Vzhledem k formátu výstupu, který je popsán výše, není problém snadné ověření vůči poskytnutému letovému řádu. Umístění letu na nesprávné stání v tomto ohledu by vedlo k mnoha problémům z pohledu provedení procesů při odbavení cestujících nebo dalším podobně kritickým provozním omezením.

V neposlední řadě je na místě také provedení kontroly efektivity využívání větších stání, než je nutné. To je věc, kterou by měl modul s ohledem na lety, které nemají žádnou preferenci také řešit. Blokování zbytečně velkých míst by mohlo způsobovat provozní problémy, v případě nutnosti odbavit větší typy letadel, než bylo předpokládáno. Takové situace mohou nastat ať už z důvodu divertu nebo provozních změn na straně dopravce. V každém případě je vhodné neobsazovat zbytečně větší stání, než je nutné.

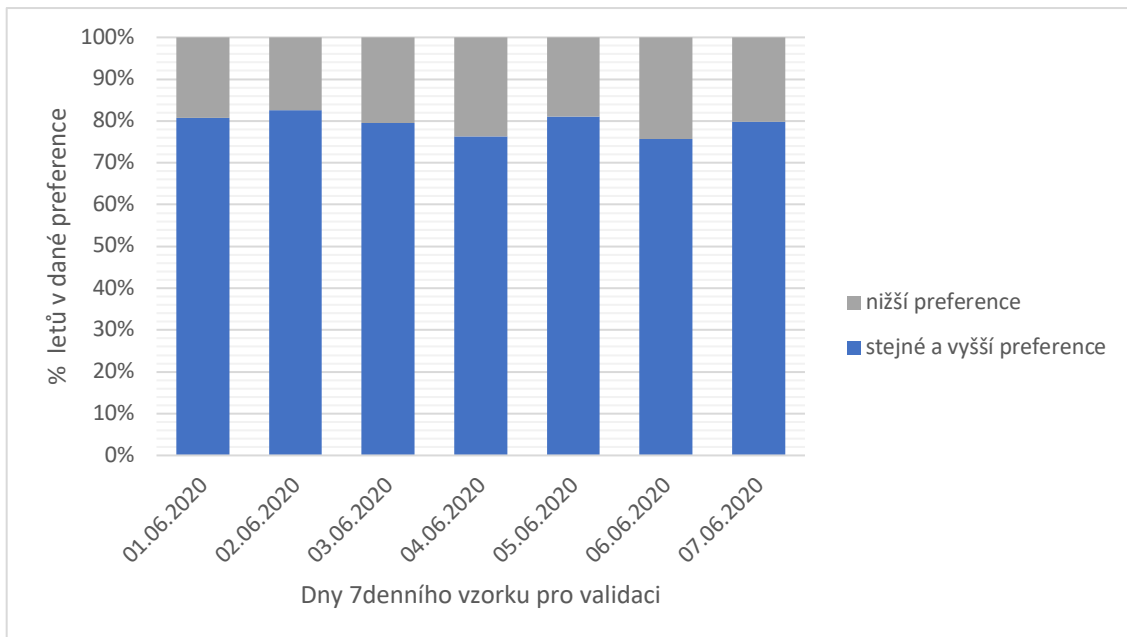


#### 4.5.1 Výběr vzorku pro validaci

Výše bylo uvedeno, že letový řád poskytnutý letištěm se týká období června roku 2020. Nicméně vzhledem k tomu, že nejběžnějším scénářem je využití alokace pro jednotlivé dny, byl pro validaci zvolen následující přístup. V první části byl vybrán jeden celý týden, ve kterém byly sledovány celkové hodnoty dodržení preferencí letů v porovnání s hodnotami z LŘ. Následně byl proveden výběr dvou modelových příkladů napříč daným týdnem. Byl tak vybrán den v pracovním týdnu a jeden víkendový den. Konkrétně jde o středu 3.6.2020. Běžný pracovní den, který zahrnuje přes 200 letů. Dalším je neděle 07.06.2020. Víkendový den zahrnující rovněž více než dvě stovky letů. U každého z těchto letů byla provedena validace všech výše zmíněných údajů pomocí samostatného modulu před implementací do modelu. A to především z důvodu, aby se předešlo implementaci nevhodného řešení.

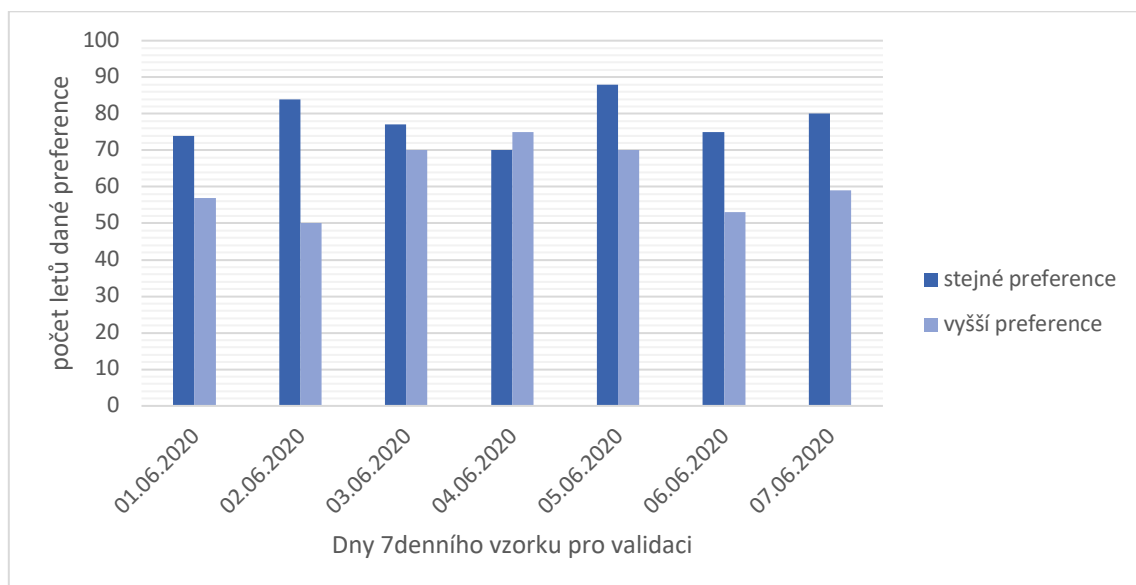
Byl vybrán týden od 1. do 7. června. Tento týden obsahuje přes 1460 letů. Protože je k dispozici souhrn preferencí dopravců, nabízí se srovnání dodržení těchto preferencí. Velké množství dopravců má s letištěm v rámci smluvních vztahů vybraná stání s určitou hodnotou preference, která sahá od 1 do 100. Lze proto díky těmto hodnotám ověřit, do jaké míry a zda byla dodržena alokace preferencí dle zmíněných dohod. Dle toho lze určit, zda je stání alokované letu s nižší, stejnou nebo vyšší preferencí (srovnání hodnot preferencí alokovaných stání dle LŘ a dle modulu) a je tak dodržen smluvní vztah, nebo zda se let podařilo umístit „pouze“ na stání, které vyhovuje ostatním parametrům popsáním výše. To je také důvodem, proč v těchto grafech není obsaženo přibližně 10 % letů, které jsou operovány dopravci bez preferencí, protože by nebylo, jak provést stejně relevantní porovnání. Ve všech ostatních statistikách ale lety zahrnuté jsou a jejich alokace splňuje veškerá pravidla, která jsou vysvětlena v kapitole popisující jednotlivé části modulu.

V rámci vybraného vzorku dní se pohybuje míra shody, kdy je stejná nebo vyšší preference, mezi 76 % a 83 %, tedy rozsah viditelný v grafu č. 1. Nejnižší hodnota, tedy zmíněných 76 %, je ve čtvrtek 4.6.2020. Nejde nicméně o den, který by se něčím vymykal ve faktorech, které bylo možné analyzovat.



Graf 1 – míra shody pro 7denní vzorek letů

Následující graf číslo 2 ukazuje detailnější rozdělení mezi vyššími a stejnými preferencemi v daný den, tedy hodnot modré barvy z grafu číslo 1. Ty se poměrně liší, nicméně to je dáno především tím, jak byla ze strany letiště prováděna realokace v jednotlivé dny. V principu se tak hodnoty přelévají mezi stejnou a vyšší preferencí bez možnosti ovlivnění této variability v rámci modulu, který pracuje bez preferencí samotného letiště.



Graf 2 – srovnání alokace stejné a více preferovaných stání pro 7denní vzorek dat



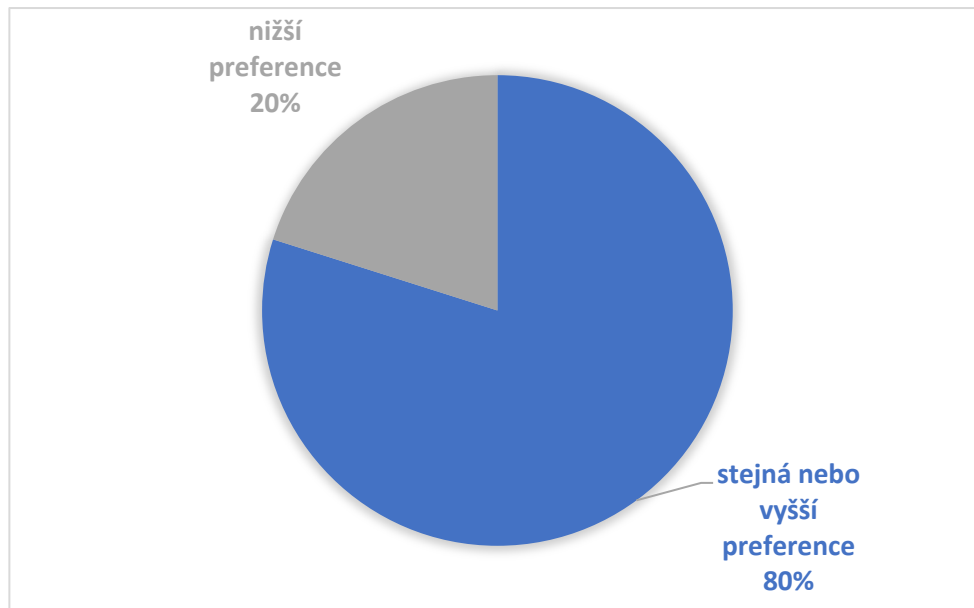
#### 4.5.2 Modelový příklad na vybraných dnech

##### Letový řád pro den 07.06.2020

V tento den proběhlo více než 200 letů provozovaných téměř šedesáti dopravci. Z toho je několik tzv. long-haul letů. 86 letů je odbavených v režimu mimo schengenský prostor. Ostatních 133 letů je pochopitelně v režimu schengenských pravidel. Celkem 23 dopravců nemá žádnou preferenci stání. V takových případech se nicméně alokace orientuje dle všech ostatních parametrů. Pro případ validace to každopádně znamená, že nelze dané lety zahrnout do porovnání s letovým řádem z důvodů, které byly vysvětleny výše. V ostatních částech validace nicméně zahrnutý být mohou, protože všechna ostatní pravidla nejsou preferencemi ovlivněna a je tak ověřeno splnění veškerých zásad při přidělování stání.

V daný den se na letišti nachází 8 letů, které spadají do kategorií D a vyšší, které v průměru každý tráví přes 2 hodiny a 20 minut. Vzhledem k poměrně omezenému počtu stání pro tyto kategorie letadel jde o jedno z ideálních ověření správné alokace. A to především proto, že všichni tito dopravci mají konkrétní preference, které s ohledem na omezenou kapacitu stání těchto rozměrů jsou častěji dodržovány oproti letům, kde je výběr umístění letů variabilnější.

V případě tohoto dne splňuje 80 % letů přidělení stání tak, že jsou na stejných stáních jako v letovém řádu, nebo že mají stání s vyšší preferencí, jak lze vidět níže v grafu číslo 3. Naopak ve 20 % případů je preference alokovaného místa nižší než preference stání, které poskytlo letiště. Tento graf, respektive jeho data, jsou očištěna o lety, které nedisponují preferencí. Nejvíce dominantním případem, kdy je preference odlišná, je případ dopravců ČSA a Smartwings. Obě společnosti totiž preferují příliš mnoho stání na velmi podobné úrovni. Ve výsledku jsou pak značné rozdíly v tom, jaké stání skutečně dostane let přiřazené. Důvodem je především velké množství preferencí s minimálním odstupňováním hodnoty preference. Pak vzniká velmi snadno rozdíl mezi tím, kde je preference vyšší a nižší.

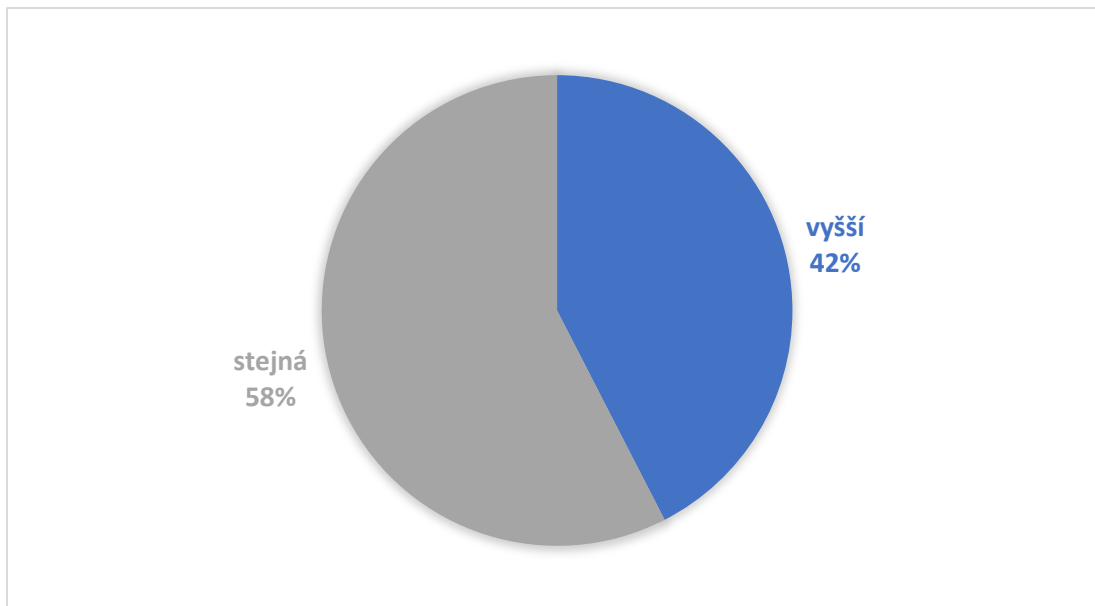


Graf 3 – Míra shody alokace stání vůči LŘ pro 7.6.2020

Všeobecně to, že jde v případě alokace dle modulu o vyšší preferenci, než přidělilo letiště je dáno především jedním faktem. Většina letů, které letiště přiřadilo na „horší“ stání, než si dopravce přál, je dáno jinými provozními faktory na letišti. Tedy určitou preferencí a provozní situací letiště, která pro vytváření modulu nebyla k dispozici. Daná situace pak může některá místa v určité časy upřednostnit například z důvodu přesunů techniky, zpoždění jiných letů, preference dalších stran zapojených do procesu odbavení a podobných činností. Nicméně v mnoha případech jde také o pouhou záměnu míst, kde jsou umístěné opačné lety. Nedojde tak umístění obou letů na stejná stání. Jeden let byl umístěn na stání s nižší preferencí, druhý naopak na vyšší. Takový princip platí u značného množství letů, které jsou zobrazeny v kategorii „nižší preference“.

V následujícím grafu č. 4 lze vidět rozdělení mezi stejnou a vyšší preferencí. Jde o rozdělení výše zprostředkovaného grafu, kde je kombinace alokace stání se stejnou i vyšší preferencí zahrnuta v kategorii, která má hodnotu 80 %. Uveden je tak ještě tento detailnější graf pro upřesnění, kolik procent zastávají kategorie samostatně.



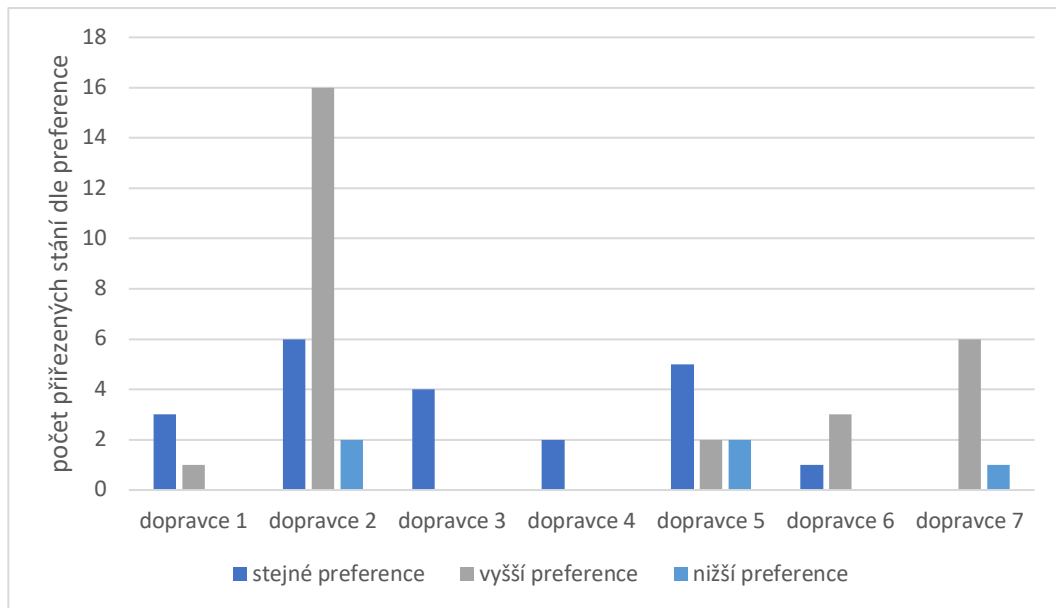


Graf 4 – Srovnání alokace stejně a více preferovaných stání pro 7.6.2020

Mezi výběrem společností níže (graf číslo 5) lze vidět kolik stání s nižší, stejnou nebo vyšší preferencí bylo přiděleno. Bylo zvoleno několik dopravců tak, aby šlo o průřez různými typy dopravců i linek.

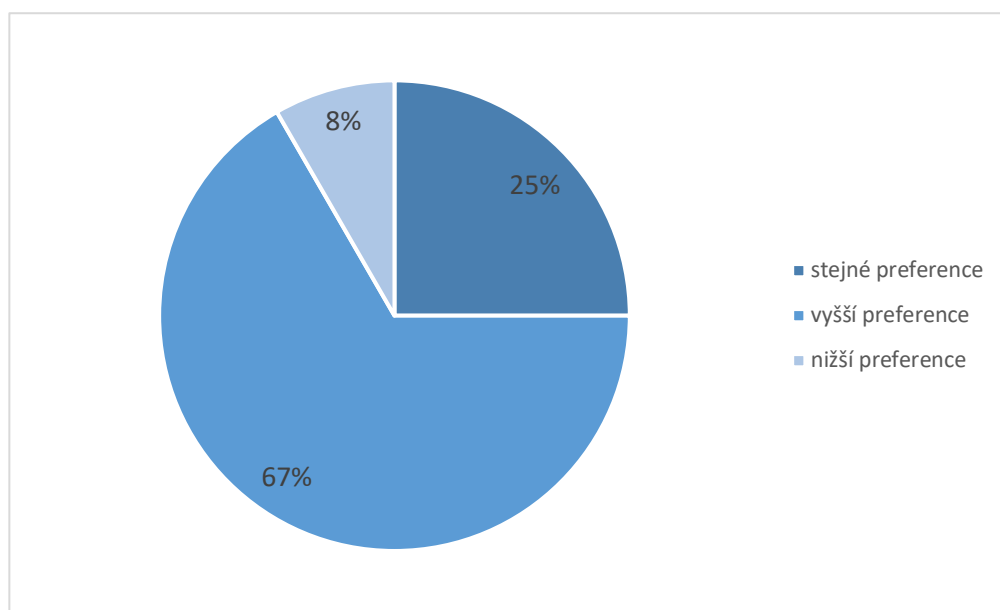
Vybrány tak byly:

- Dopravce 1 – pravidelné linky do schengenského prostoru
- Dopravce 2 – pravidelné nízkonákladové linky v schengenském i non schengenském prostoru
- Dopravce 3 – pravidelné linky do schengenského prostoru
- Dopravce 4 – dálkové pravidelné linky
- Dopravce 5 – pravidelné linky v schengenském prostoru
- Dopravce 6 – pravidelné linky do non schengenského prostoru
- Dopravce 7 – pravidelné nízkonákladové linky do non schengenského prostoru



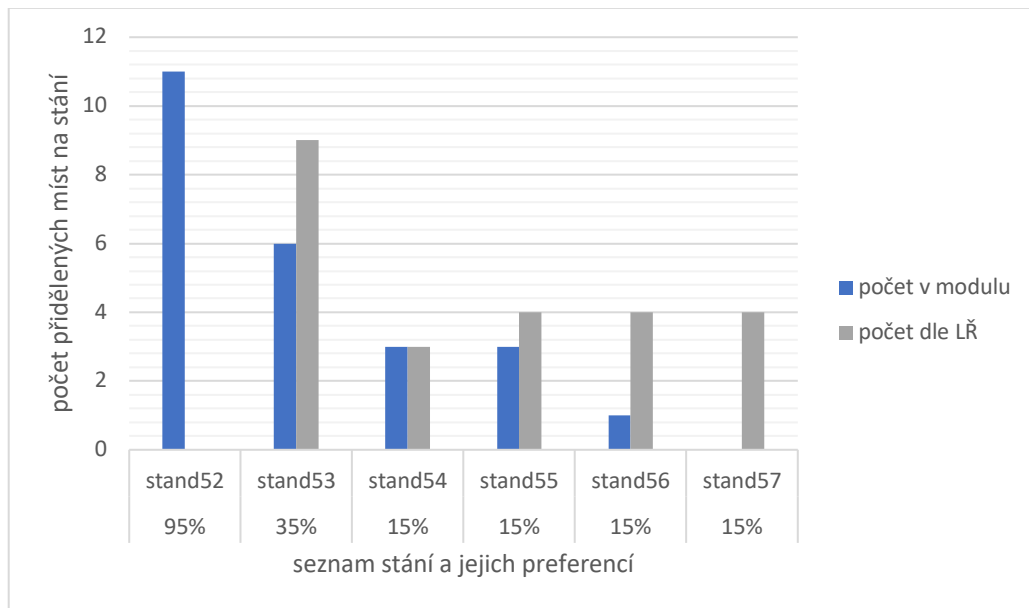
Graf 5 – Srovnání shody alokace pro vybrané dopravce 7.6.2020

Na příkladu jedné ze společností na grafu číslo 6 lze ukázat, o jaké odlišnosti v daném případě přesně jde. Záměrně je vynechán název dopravce, vzhledem k popisu konkrétních preferencí u tohoto příkladu. U daného dopravce došlo při alokaci k přidělení významně vyššího množství míst s vyšší preferencí, než tomu bylo v případě letového řádu, a to konkrétně v 67 % případů. Naopak přidělená stání s nižší preferencí tvoří pouhých 8 %. Čtvrtina míst byla totožná.



Graf 6: Detail alokace dle modulu pro vybraného dopravce 7.6.2020

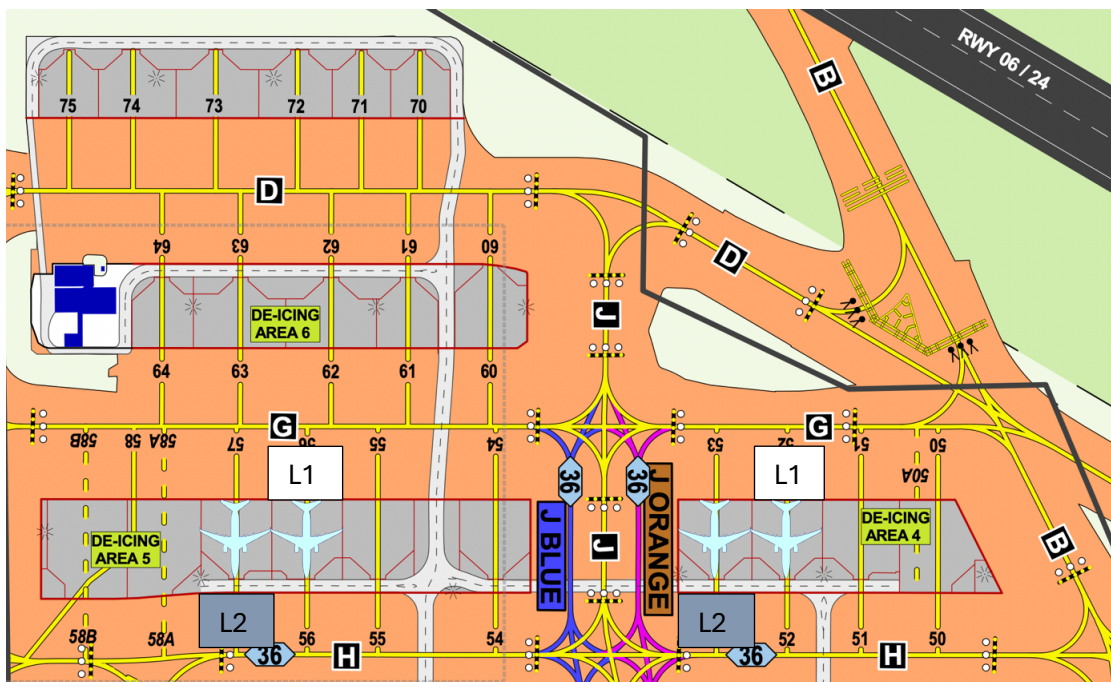
Důvodem je především výrazně více letů přidělených na stání 52. Toto místo společnost preferuje na 95 % úrovni. Naopak druhé nejvíce preferované místo, číslo 53, je preferované pouze na úrovni 35 %. Tyto a další preference jsou vidět společně s údaji na grafu č. 7. Ukazuje to tak na velký důraz modulu na hodnotu preference. V případě letiště to nicméně poukazuje na potřebné provozní změny, které v reálném provozu musí být řešeny.



Graf 7 – Srovnání alokace preferovaných stání vybraného dopravce

Na následující vizualizaci (obrázek číslo 4), kde jako příklad jsou uvedeny dva lety tohoto dopravce a jejich vzájemná pozice dle výsledků LŘ a modulu, je vidět, o jak podobná místa se jedná. Lze se domnívat, že dopravce preferuje nejvíce stání 52 kvůli jeho umístění, které je v nejvýhodnější pozici vůči odletu z RWY 24, která je využívána dominantně. Nezávisle na tom jde ale ve všech případech o místa velmi podobná a jejich záměna tak z pohledu dalších parametrů nehraje příliš velkou roli. Lze proto i z pohledu letiště přiřadit kterékoliv z dalších preferovaných stání. V takovém případě pak letiště může vybírat dle svých preferencí ať už pro vyhovění například handlingovým společnostem, nebo například pro potřebu uvolnění stání pro jiného dopravce z důvodu optimalizace provozu.

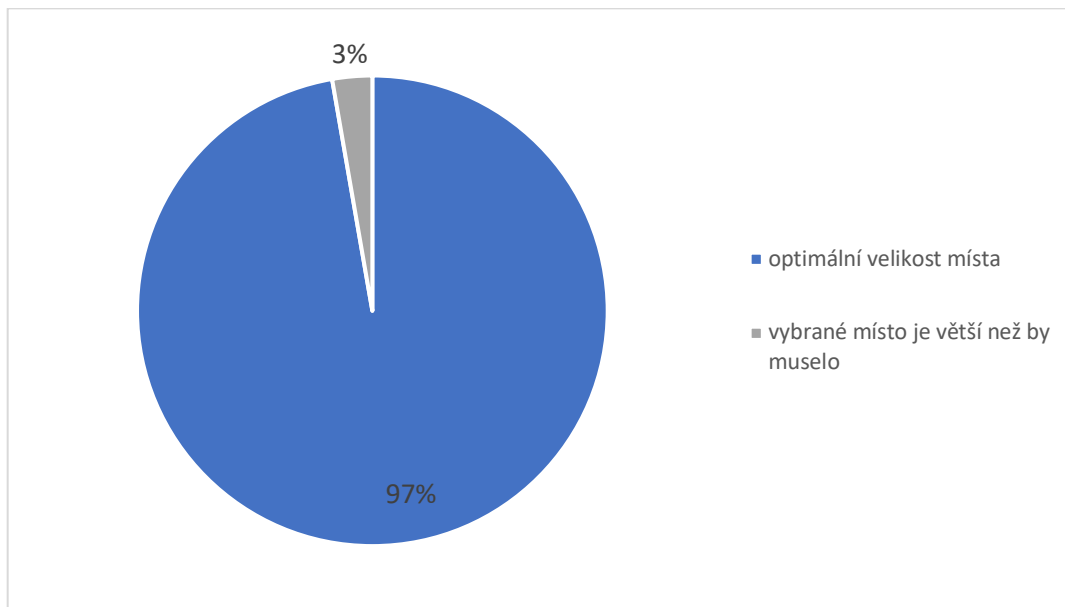
V tomto případě jde o dva vybrané lety, které jsou zobrazeny na Obrázku číslo 3. Let L1 byl v LŘ umístěn na stání 56, zatímco v modulu byl umístěn na stání 52, tedy na stání s nejvyšší preferencí. Let L2 má podobné parametry. Umístěn byl na stání 57 s nižší preferencí vůči místu z modulu, kterým je 53. Dle dostupných informací i informacím z této mapy letiště jde o parametricky totožná stání, pouze s odlišnou vzdáleností k některým TWY a RWY. Nicméně z pohledu letiště může taková změna představovat ulehčení přesunu techniky a optimalizaci dalších obdobných činností. V obou případech, ať už v případě nižší preference ze strany LŘ nebo modulu byly vždy zachovány možnosti pro přidělení jednoho z míst, které je v seznamu preferencí. Společnost tak vždy dostala místo, které je pro ně z tohoto pohledu výhodné a které si na základě smluvních vztahů s letištěm žádá.



Obrázek 3 - Detail rozdílu mezi alokací dle LŘ a modulem vybrané lety [5]

A jak bylo zmíněno výše, blokace zbytečně velkých míst by mohlo způsobovat provozní problémy v případě nutnosti odbavit větší typy letadel, než bylo předpokládáno. To není případ této vybrané společnosti, která vše v tomto ohledu splňuje. Bylo však ověřeno, že se tento jev nevyskytuje ani u žádných dalších letů ani dopravců. Na následujícím grafu číslo 8 lze vidět, že dochází k výběru většího stání, než je nutné, pouze ve 3 % případů. Často je tomu tak kvůli z důvodu,

že preferované stání je větší, než by bylo nutné. Nicméně vzhledem k tomu, že dané preference jsou předmětem jednání mezi letištěm a dopravcem, není to pravděpodobně v některých případech problém. Nehledě na to, že jak v případě letiště, tak v případě modulu lze takový let vždy přesunout na jiné stání. To je také jeden z principů dynamické alokace.



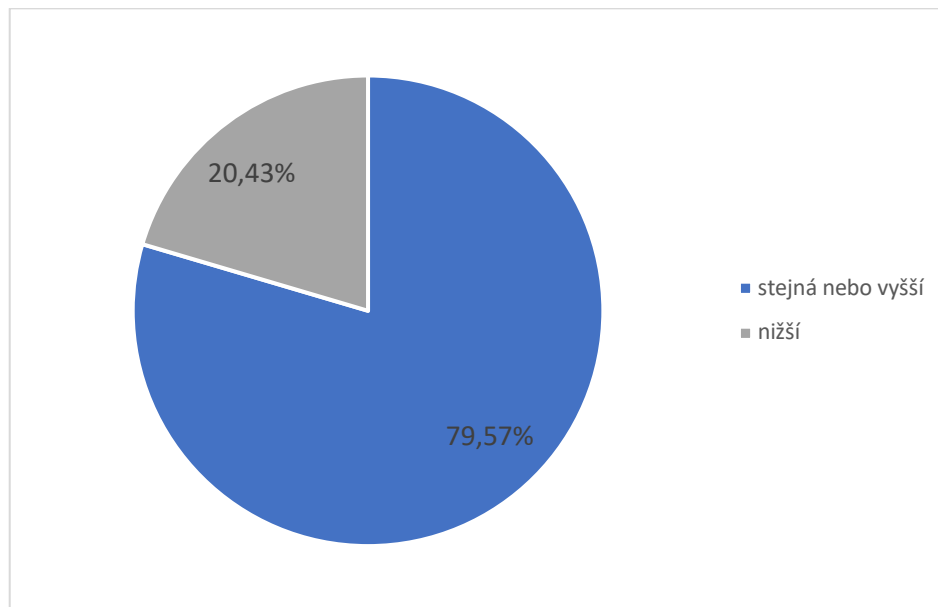
Graf 8 – Míra využití optimální velikosti stání pro 7.6.2020

Jak bylo popsáno výše, i přes určité rozdíly právě kvůli změnám, které dělá daný den operativní změny, bylo na stání s vyšší nebo stejnou preferencí umístěno přes 80 % letů. Žádný z faktorů tak není natolik zásadní, aby zcela proměnil alokaci z původních hard a soft rules.

### Letový řád pro den 03.06.2020

V tento všední den proběhlo stejně jako v minulém případě více než 200 letů. Dopravců v tento den mírně ubylo. Co naopak zůstalo velmi podobné je několik dálkových letů. 134 letů, tedy o pouhý jeden let více v porovnání s předchozím rozebíraným dnem, je odbavených v režimu schengenského prostoru. V režimu non schengenských pravidel je odbavován podobný poměr letů jako v předchozím případě. 17 dopravců provozujících 03.06.2020 některou z linek nemá žádnou preferenci pro přidělení stání. Odbaveno je tentokrát 9 letů, které spadají do kategorií D a vyšší, které v daný den na stání tráví průměrně 3 hodiny. V porovnání

s předchozím dnem jde o mírně nižší procento stání, které jsou stejné nebo vyšší preference jako v letovém řádu poskytnutém od Letiště Praha. Výsledek je zobrazen v grafu číslo 9. Nicméně jak je vidět právě v grafu, jde o rozdíl méně než jedno procento, tedy zanedbatelná hodnota, která nehraje roli pro srovnání těchto vybraných dnů z letového řádu.

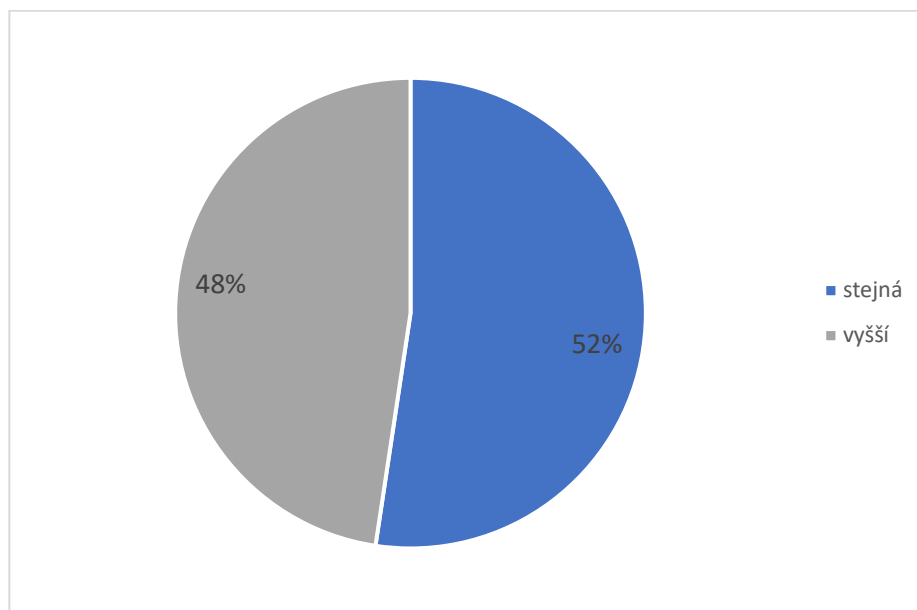


Graf 9 – Míra shody alokace letů vůči LŘ pro 3.6.2020

Podobně jako v případě víkendového dne je nejčastějším případem, kdy je preference odlišná, je případ dopravců ČSA a Smartwings. Vzhledem k výše popsanému poměrně velkému množství letů, a rozsáhlému seznamu hodnot preferencí v kombinaci s velkým množstvím letů každý den lze předpokládat podobný problém i u dalších dnů. Ve všech případech se nicméně opět dostáváme k tomu, že veškeré podmínky jsou splněny. Muselo by tak dojít k vytvoření specifických preferencí pro jednotlivé destinace, typy letadel a podobné úpravy. To by ale nereflektovalo skutečný stav, který je k dispozici. A vzhledem ke snaze se co nejvíce přiblížit realitě, by vlastní tvorba preferencí dle vlastních pravidel nebyla vhodná.

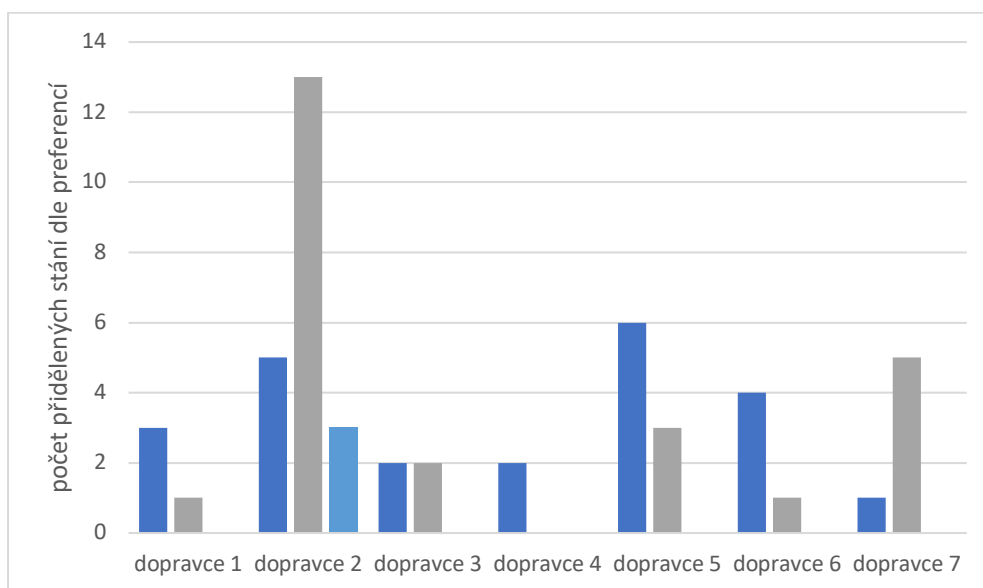
V následujícím grafu číslo 10 je znázorněn opět rozdíl mezi stejnou a vyšší preferencí pro vybraný den. Tentokrát je rozdíl mezi danými kategoriemi ještě nižší než v případě víkendového dne. 52 % umístění letů na stání stejné preference oproti

7.6.2020 ukazuje na více dodržených požadavků dopravců a méně nutných provozních změn ze strany letiště.



Graf 10 – Srovnání alokace stejně a více preferovaných míst dle LŘ 3.6.2020

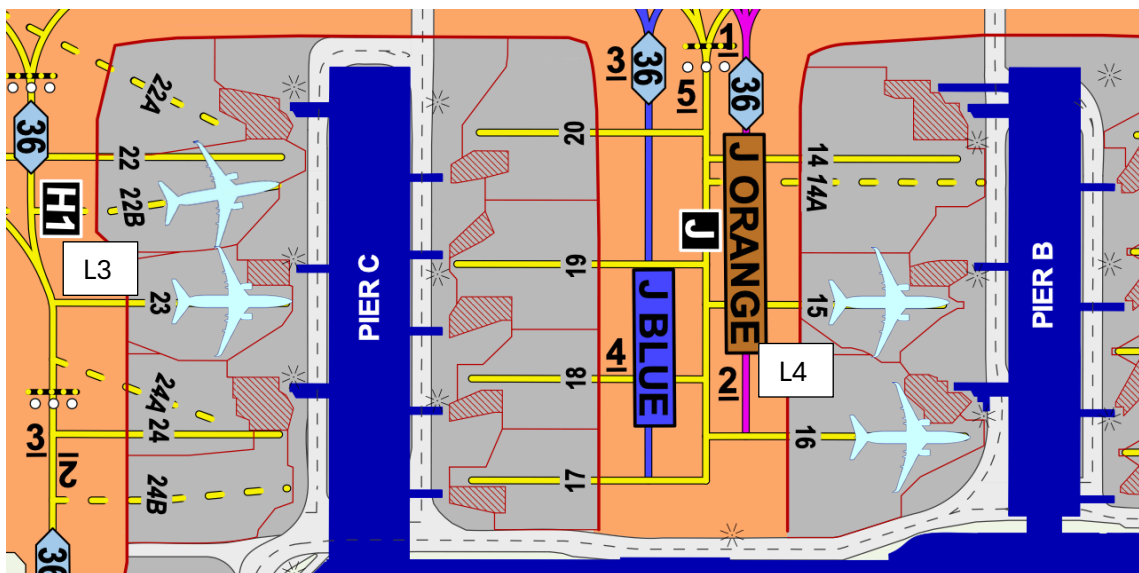
V grafu č. 11, který zobrazuje poměr mezi preferencemi stejných leteckých společností, které byly vybrány výše, ukazuje kontinuitu výsledků. V některých případech se najdou drobné změny oproti 07.06.2020, ale nejde o zcela zásadní záměny poměrů.



Graf 11 – Srovnání shody alokace vybraných dopravců 3.6.2020

Vizualizace na mapě z dokumentu AIP stejně jako v předchozím případě ukazuje detailní pohled na situaci dvou letů, alokovaných dle LŘ a dle modulu. V tomto případě nejde nicméně o dva lety stejného dopravce. Alokovaná místa jsou téměř totožná. Stejně jako v předchozím případě jejich záměna nehraje velkou roli.

V tomto případě jde o dva lety zobrazené na Obrázku číslo 4. První let L3 v Schengenském prostoru je odbavený v rámci Terminálu 2 a druhý, let L4, odbavený na druhém terminálu pro lety v non schengenském prostoru. Let L3 byl v LŘ umístěn na stání 23, zatímco v modulu byl umístěn na stání 22B. Stání číslo 23 má v tomto případě preferenci vyšší. Ve výsledku jsou ale místa z pohledu parametrů (VDGS, rozměry, umístění v rámci infrastruktury, nástupní most) stejná. Let L4 byl umístěn na stání 16 s nižší preferencí vůči místu z modulu, kterým je 15. Největší rozdíl mezi těmito místy jsou rozměry stání. Číslo 16 umožňuje totiž odbavení letadla vyšší kategorie než v případě letu L4. Nedošlo nicméně k blokaci místa pro let, který by větší stání vyžadoval. V obou případech bylo dostupné správné přidělení jednoho z míst, které je v seznamu preferencí daného dopravce. Společnosti tak opět dostaly místo, které na základě smluvních vztahů s letištěm bylo předem zvoleno a odsouhlaseno, i když s nižší preferencí.

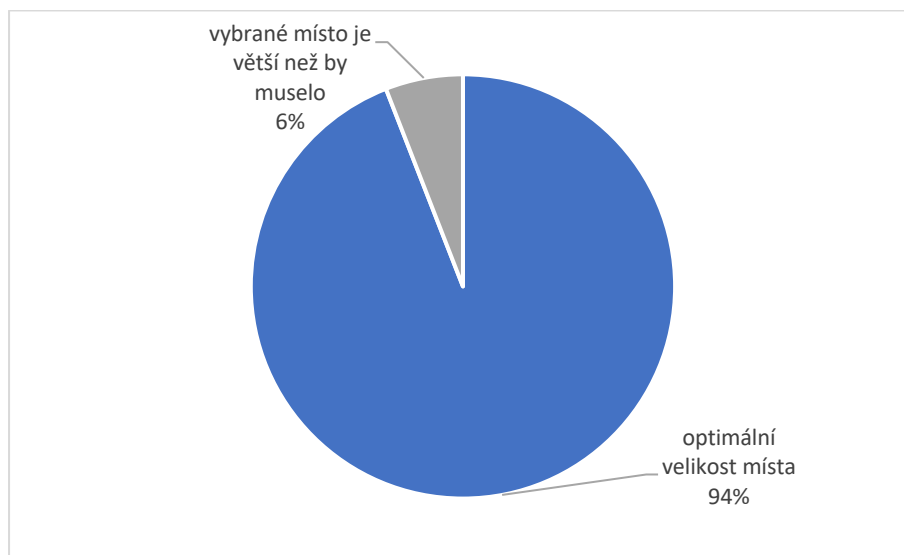


Obrázek 4 - Detail rozdílu mezi alokací dle LŘ a dle modulu [7]

Stejně jako v předchozím případě se nevyskytuje u žádného z letů značné blokace příliš velkých míst, co se týká jejich kategorie. Na grafu č. 12 lze vidět, že dochází



k výběru většího stání, než je nutné, pouze v 6 % případů, což je sice více než v předchozím případě, ale příčinou výběru většího místa je, ze stejných důvodů jako výše, zachování preferencí. V některých případech došlo k upřednostnění dopravce s preferencí před dopravcem bez preference. Nicméně kvůli žádnému z těchto letů nedošlo k problémům s kapacitou jiných stání, případně zamezením přiřadit místo dle preference jinému letu.



Graf 12 – Míra využití optimální velikosti stání 3.6.2020



## 5 Využití v modelu

V případě implementace modulu do výše popsaného modelu Letiště Praha vytvořeného v rámci Katedry letecké dopravy jde o poměrně složitý proces. I přes zachování veškerých konvencí v průběhu programování modulu, které jsou pro implementaci nutné, jde o práci, která zahrnuje mnoho testování a úpravy některých částí modelu. Model v současné době alokaci stání řeší dle předem definovaných hodnot. Modul tak umožňuje rozšířit funkcionalitu, kdy lze pouze přidat letový řád, a o zbytek se postará logika modulu. V případě zpožděných letů lze realokovat lety na jiná volná stání. V případě zrušení letu lze alokaci zrušit a uvolnit tak stání pro jiné lety. V podobě, ve které model je, to ale zahrnuje úpravu několika prvků v rámci agentů, tedy bloků, které mezi sebou interagují v rámci metody ABM. Zároveň to zahrnuje nutnost rozdělit kód tak, aby právě v jednotlivých blocích modelu reprezentoval dané funkce správně a uceleně. Než bude model takto připraven je ale stále možné využití modulu pro řešení provozních situací v modelu, které nastanou v průběhu simulovaného dne. Těmi jsou určeny i následující provozní scénáře.

Díky výše zmíněným funkcím modul umožňuje zkoumání různých možností alokace, v závislosti na parametrech, které vstupují z databází nebo v závislosti na způsobu provedení alokace manuálně nebo automaticky. Ve spolupráci s modelem může být otestováno několik variant alokace a v závislosti na tom ohodnoceno, jak je která z variant efektivní a kterou letiště v určitých provozních situacích může využít. V modelu můžeme simulovat například změny v rámci aktuální rekonfigurace infrastruktury nebo provozní změny na různých linkách. Využití díky funkcím modelu ale není omezeno pouze na tyto případy a může tak například být provedeno i vyhodnocení dopadů při výstavbě nově plánovaných stání a podobných změnách, při kterých je nutné ověřit a vyhodnotit schopnost infrastruktury pojmout požadované množství letadel, nebo ověřit kapacitu letiště během výstavby, kdy mohou být omezeny původní stání.

Prvním ze dvou scénářů je zcela základní alokace stání na daný den. Nejde tak o nic jiného než o provedení toho, co bylo řešeno pro účely validace. Nicméně jde o velmi častou činnost, která se v rámci alokace provádí, protože jak byl zmíněno výše,



jde o každodenní činnost, kdy se nejpozději den předem tento plán připraví. Na potřeby této části práce tak je využitý jeden ze dnů v týdnu, který byl využitý ve validaci, konkrétně den 6.6.2020.

V případě realokace se vychází z tohoto původního plánu alokace. Kvůli tomu může být využito právě zmiňované dynamické řízení, kdy v důsledku zpožděných letů, kvůli kterým vznikají problémy s dodržáním plánu, lze vybrat nová co nejvhodnější místa, kam lety přemístit. Konkrétně jde o linky, které měly přiřazené dané stání po letech, které na stání zůstali déle ať kvůli technickým problémům, zpoždění technického odbavení a dalším nepravidelnostem. Co se týká samotného využití modulu jde o následující kroky. První v celém procesu musí být určeno, které lety je nutné podrobit realokaci. Další v řadě je rozhodnutí o tom, jakým způsobem chce uživatel realokaci provést. Jak bylo uvedeno výše, jsou dvě možnosti, manuální a automatická realokace. V obou případech každopádně nelze vynechat kontrolu veškerých parametrů stání, na které chce uživatel let přemístit. V případě, že by tak uživatel vybral pro let stání, které je menší, umístěné na jiném terminálu, nebo je již obsazené, dostal by upozornění o chybném výběru. V případě automatické alokace tento proces probíhá automaticky a nehrozí tak, že by se vybralo chybné stání. V případě automatické alokace probíhá také kontrola preferencí dopravce tak, aby i nové stání odpovídalo jednomu z preferovaných stání.

Ve většině případů jsou lety alokované s dostatečným časovým odstupem tak, aby nedocházelo při menších zpožděních k ovlivnění letů. Není, ale možné vždy předejít tomu, aby se právě takto lety neovlivnily, a v takový moment je prováděna realokace. V modulu proto byl importován letový řád s lety, které právě kvůli zpoždění je nutné realokovat. Ve výstupu v podobě Excelu bylo možné identifikovat, o které lety se jedná a následně pomocí výše popsané funkce pro realokaci pojmenované `reassignStandForFlight`, lze provést pro jednotlivé lety změnu stání. Všeobecně by bylo možné nechat změnu provést automaticky, nicméně pro ověření funkčnosti byly otestovány jak manuální, tak automatická realokace.



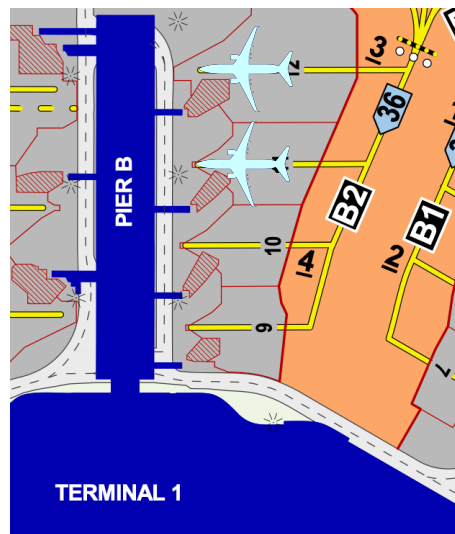
Pro popis v této práci byly zvoleny lety s různými parametry, které ověří funkčnost ve všech případech různých typů letu. Ať už jde o odlišné typy letadel, umístění u kontaktních stání nebo jednotlivé terminály. Z důvodu rozsahu práce však nelze podrobně rozepsat veškeré lety, navíc by v mnoha případech šlo o opakující se výsledky.

Celkem bylo vybráno 6 letů pro detailní popis, které jsou specifikované v Tabulce číslo 3. V případě veškerých letů byla možná realokace na stání, která byla v rámci požadovaných preferencí dopravců, některá se stejnou hodnotou jako původní stání, některá s nižší. V případě vybraných příkladů jde o následující lety:

Tabulka 3 – Realokované lety

ID	Typ dopravce	Schengen x Nonschengen	Typ letadla	Původní stání	Nové stání
L1	nízkonákladový	Nonschengen	A319	11	12
L2	síťový	Nonschengen	A320 Neo	12	16
L3	síťový	Schengen	A319	23	22B
L4	nízkonákladový	Nonschengen	B737-500	4	6
L5	nízkonákladový	Schengen	B737-800	52	53
L6	nízkonákladový	Nonschengen	B737-800	6	1B

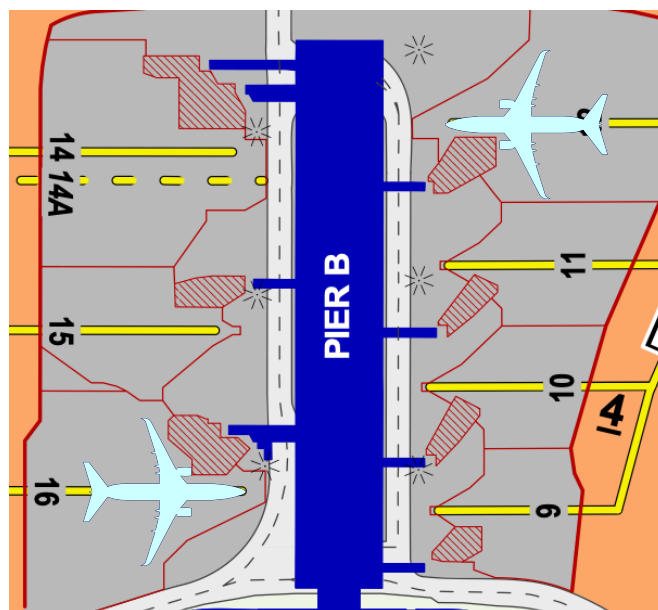
První let, v tabulce označený jako L1, je v původní alokaci umístěn na stání 11. V rámci tohoto stání byl předchozí let opožděn o 40 minut a není možné navazující let alokovat na tomto stání. Možné z pohledu preferencí je několik dalších míst. Protože let byl umístěn na stání s nejvyšší preferencí, nelze najít shodné náhradní stání. Při realokaci je první nabízené náhradní stání číslo 12. Lze tak snížit preferenci pouze o 10 %, kdy dojde k výběru stání se třetí nejvyšší preferencí. Vizuálně lze změnu vidět na obrázku č. 5.



Obrázek 5 - Realokace letu L1 [7]

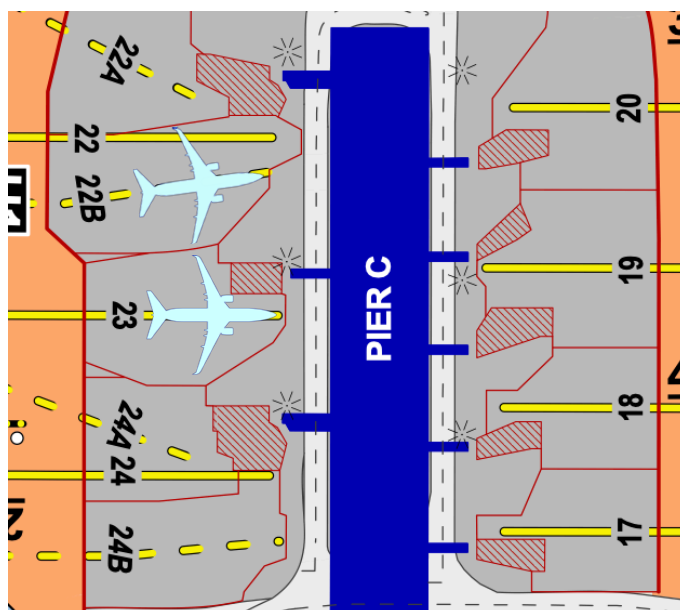
Výhodná realokace je to z pohledu jak dopravce, tak dalších účastníků odbavení. Stání 12 je totiž velmi podobně umístěné jako 11. Není tak velký rozdíl vzdáleností při pojíždění, ani při prováděném nástupu v terminálu. Co se týká velikosti stání, může zde být umístěno i letadlo s rozpětím 52 metrů, což je stání pro letadla jiné kategorie než A319 tohoto dopravce. Co se však týká letového řádu, žádné takové letadlo zde v tuto dobu nepřilétá.

Další realokovaný let, označený jako L2, je v původní alokaci umístěn na stání 12 a je odbavovaný v průběhu poledne, narozdíl od ranního letu L1. Předchozí let, kterým je dálková linka byl opožděn a 25 minut mezi lety není dostatečný prostor pro umístění dalšího letu na tomto stání. Možné je v tomto případě z pohledu zachování hodnoty preferencí několik dalších míst. Aniž by bylo nutné snížit preferenci, lze využít stání 14, 16. Dle modulu může být využito stání 16, které je stejně jako 12 v Prstu B. Tím zůstávají zachovány výhody jako v případě letu L1. Změnu lze vidět na obrázku číslo 6.



Obrázek 6 - Realokace letu L2 [5]

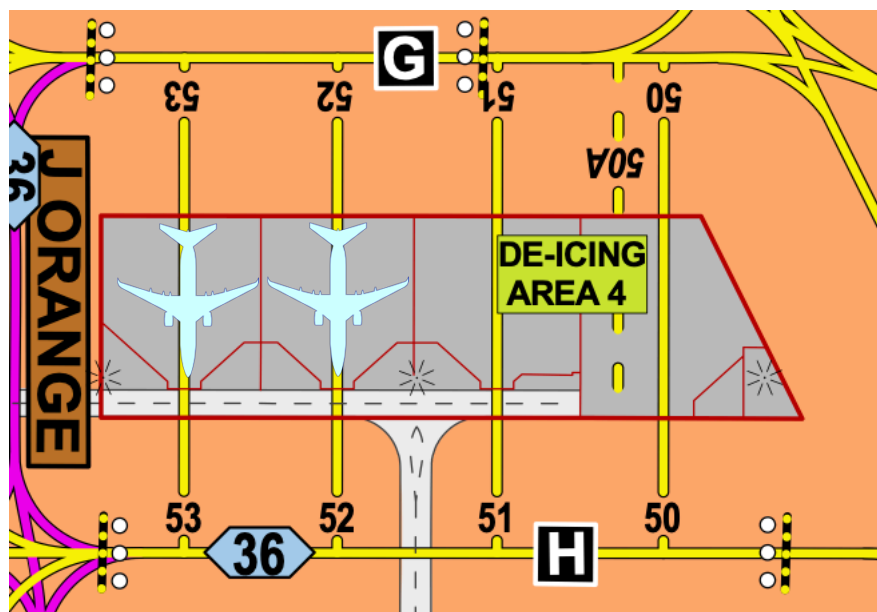
Let L3, je v alokaci umístěn na stání 23, u Prstu C Terminálu 2. Dopravce má v tomto případě pouze 3 preference. Z toho jedno s přibližně 10x větší preferencí než ostatní. Není proto dobře možné zachování hodnoty preferencí. Modul proto umístil let na stání 22B, které je v pořadí preferencí druhé. Jak ukazuje obrázek č. 9 níže, změna, co se týká umístění v rámci odbavovací plochy, není opět velká, protože stání se nachází vedle sebe, což je nejspíš i důvodem takto zvolené preference, vzhledem k dříve popsaným parametrům preferencí dopravců.



Obrázek 7 - Realokace letu L3 [7]

Let L4 je u Prstu A Terminálu 1 na stání 4. Pro daný let bylo hned při úvodní alokaci vybráno stání s nejvyšší preferencí. Z dalších preferovaných bylo volné pouze jediné, které pomocí modulu bylo zvoleno. Stání 6 s preferencí o 20% nižší je z pohledu ostatních parametrů výhodné, protože jde opět o stání, která sousedí.

Další let, L5, je na tzv. remote stand. Daný let je operován dopravcem, který tento typ stání preferuje, mimo jiné kvůli snadnému výjezdu ze stání, kdy nepotřebuje push back. Při úvodní alokaci bylo zvoleno stání 52, které dopravce preferuje (hodnota 95 ze 100). Proto je zde ale umístěno před tímto letem letadlo stejného dopravce, které v rámci poměrně krátkého průletového času, typického pro tento typ dopravců, mělo zpoždění. Nové stání 53 je druhé v pořadí preferencí. Na obrázku číslo 10 níže lze vidět, že došlo k přemístění pouze na vedlejší stání, které zachovává veškeré preferované vlastnosti nízkonákladových dopravců.



Obrázek 8 - Realokace letu L5 [7]

Let L6 je odpolední let umístěný u Terminálu 1 na stání 6. Protože daný let je operovaný dopravcem s velkým množstvím preferencí, cílem bylo, aby modul realokoval let na stání s co největší preferencí. Stání 4 je jedno z několika dalších s hodnotou preference 10, mezi které se řadí i realokací zvolené číslo 1B. Nezávisle na tom, že se stání nachází na opačné straně Prstu A, nejde vzhledem k rozložení odbavovací plochy a Terminálu 1 o příliš velký problém, jak lze vidět také na Obrázku 11.



Obrázek 9 - Realokace letu L6 [7]





## 6 Diskuse výsledků

V této kapitole dochází k rozebrání jednotlivých výsledků a pohledu na to, co představují. První částí je hodnocení validace, která ověřuje základní shodu mezi realitou a modulem, který by ji měl na základě dostupných dat a informací co nejlépe kopírovat. Další částí je pak zhodnocení a rozbor samotné implementace modulu a jeho použití jako celku.

Validace byla provedena vůči letovému řádu letiště Praha z června roku 2020. Celkově došlo k otestování na 7denním vzorku dat. V rámci toho byly výsledky, které ověřují alokaci stání na základě hodnocení toho, zda má let alokované místo se stejnou nebo vyšší preferenci dopravce, na hodnotách od 76 % do 80 % ve prospěch shody s letovým řádem. Další parametry sledovaly rozdělení právě mezi stejnou a vyšší preferencí těchto letů nebo například detail toho, zda došlo u některého dopravce k výrazně odlišné alokaci oproti jeho preferencím. Dalším ukazatelem je také to, zda nedocházelo k umístování na míst, které jsou pro daný let zbytečně velké nebo například zda byly zachovány povinnosti umístění na T1 x T2. V případě dvou dnů ze 7denního vzorku byla provedena detailnější analýza. Ta ukázala hodnocení alokace pro 7 různých dopravců. Každý z hodnocených dopravců byl vybrán tak, aby byl unikátní ať už typem obchodního modelu, sítí destinací, délkou letů nebo typem letadla.

Primárním rozdílem a limitací, která stojí za největší mírou neshodných alokací mezi modulem a letovým řádem, mohou být změny alokace dle preferencí letiště na denní bázi, zohledňující obchodní a strategická rozhodnutí, případně provozní situace letiště, handlingu a dalších složek spolupracujících na odbavení letadla. Tyto parametry k dispozici totiž nebyly a nelze je tak implementovat do modulu. Zároveň je nutné vnímat i to, že pro některé dny jsou preference dopravců měněny na speciální odlišné hodnoty zcela jednorázově. Proto tak ve chvíli, kdy má modul fungovat všeobecně, nelze dané jednorázové výjimky zapracovat. Nicméně snadno aktualizovatelné databáze v případě nutnosti simulace letů pro daný den umožňují takovou úpravu provést v pár krocích. Co se týká preferencí, byl zaregistrován ještě jeden problémový bod. V některých případech jsou letům přidělovány stání, dle toho, jaký typ letadla přiletí na dané lince, ne však v běžném ohledu toho, že jde o



větší nebo menší stání. V rámci preferencí jsou všechna stání rozdělena pro danou společnost pouze dle hodnoty preference od 1 do 100. Není však nikde upraveno, zda pro některé typy neplatí. To je možné, že obsahují interní pravidla letiště, případně jde o hodnoty, které nelze vyčíst z databází poskytnutých letištěm. V rámci konzultace bylo totiž diskutováno, že formát nelze zcela jednoduše změnit, protože jde o export z databáze systému letiště, který vyhodnocení alokace řeší. Pokud by nebylo možné dodatečně získat tyto údaje pro finální model letiště, bylo by nejspíš vhodné najít tento princip ve větším vzorku dat z dřívějších letních a zimních letových řádů. V rámci modulu by to neznamenal velké úpravy, stačilo by rozšířit logiku metody, která se stará o seřazení míst dle preferencí, a to tím způsobem, že by se srovnávaly hodnoty 2 preferencí a na jejich základě by se vybralo nejlepší možné stání. A samozřejmě by bylo nutné doplnění další databáze právě pro druhou sadu preferenčních hodnot.

Co se týká dalších výsledků, byl kontrolován také správný výběr místa dle velikosti jednotlivých stání tak, aby nedocházelo k výběru příliš velkých stání pro lety, které je nepotřebují. To bylo předmětem především u letů bez preference. Lety s preferencí mají vzhledem k dojednání preferovaných míst s letištěm v podstatě vyloučený podobný problém. Případně letiště ví o takto explicitně schváleném stání pro daný typ letadla a dle toho jsou řešeny další preference daného dopravce.

V tomto případě je vhodné zmínit i jedno z omezení modelu. Některé databáze jsou staršího data, právě z důvodu validace. Pro toto provedení v rámci validace vůči LŘ z roku 2020 bylo nutné vložit do databází údaje z tohoto roku, které v současné době nemusí být aktuální. Příkladem mohou být změny rozměrů nebo značení některých stání z důvodu rekonfigurací stání, které proběhly v době po červnu 2020. Na logiku samotného modulu to však vliv nemá. Vzhledem k využití a zachování formátů maximálního možného počtu souborů poskytnutým letištěm není problém následně využít opět stejně vygenerované informace bez jakýchkoliv změn a modul tak aktualizovat. Vhodným doplněním by byla také znalost dalších parametrů, které nejsou ovšem už součástí databází letiště, a pochopitelně tak nelze veškeré tyto informace získat. Některé z nich se v rámci konzultace podařilo zjistit, ale pouze všeobecně. Příkladem dalších informací, které by bylo možné využít, jsou informace o tom, které odletové brány nemohou být



využity zároveň, protože se toky cestujících kříží. Tento problém ale spadá spíše do tvorby modulu terminálu, který zatím také není součástí modelu. V tu chvíli bude pravděpodobně snazší tuto funkcionalitu přidat do komplexního modelu než v tomto modulu pro dynamické řízení plochy.

Co se týká modulu a jeho implementace, šlo v první řadě o omezení v některých formátech dat. Oba modely pracují totiž s daty poskytnutými letištěm. Nejde však o totožné datové sady. V rámci tvorby modulu totiž byly využívány údaje, se kterými model nepracuje, jako jsou IATA a ICAO kódy dopravců nebo routing jednotlivých letů. Na straně vstupních dat je proto nutné udělat úpravy, které na vstupu pro simulaci doplní veškerá potřebná data tak, aby byla shodná s požadavky modulu. Nejde ale o žádné zásadní změny, které by nebyly stejně potřebné provést pro rozšíření funkcionality pro další moduly.

Modul byl poté využit pro realokaci letů, které byly kvůli předchozímu zpožděnému letu na jejich stání nutné přemístit. Šlo o 6 letů, které nebylo možné umístit na původně alokované stání čímž bylo možné využít a otestovat jednu z funkcí modulu. V rámci toho došlo ke zkoumání, zda jsou lety umístěné na stání správných rozměrů a dalších parametrů a zároveň, zda modul správně vyhodnotí obsazenost již alokovaných míst. Využívány byly dle výsledků i údaje preferencí, čímž bylo prokázáno, že realokace pracuje i s těmito hodnotami, čímž plní cíl, se kterým byla funkce realokace vytvořena.

Obě tyto části validace ukazují, že modul je následně při plné implementaci schopný dynamicky řídit odbavovací plochu, díky čemuž ho lze využít v simulaci provozu. Modul tím umožňuje provádět zásadní činnosti v rámci řízení odbavovací plochy, které mají přímý vliv na efektivitu provozu. Využití může být rozšířeno o další funkce, případně zpřesněno pomocí aktualizací dat, nebo přidáním nových parametrů jako jsou preference letiště a dalších.



## 7 Závěr

Cílem bylo vytvořit rozšiřující modul do existujícího simulačního modelu pojiždění letadel zajišťující dynamické řízení OP SEVER na Letišti Václava Havla Praha a ohodnotit jeho aplikovatelnost pro potřeby plánování dalšího rozvoje infrastruktury. Dosažení cíle bylo realizováno v několika krocích. Kromě nutnosti analyzovat kompletní podobu odbavovacích ploch na LKPR, se v rámci přípravy podoby modulu bylo nutné seznámit s již fungujícím modelem, pro který modul vzniká. Na základě toho bylo možné vyhodnotit vhodnost využití jednotlivých programovacích jazyků. Stejně tak dle toho bylo určeno, v jaké podobě, respektive formátu budou databáze jednotlivých informací. Veškeré tyto věci bylo nutné provést v úvodu tak, aby bylo možné tyto znalosti zúročit při konzultaci se zástupcem Letiště Praha.

Primárním krokem pro začátek tvorby modulu byla analýza veškerých získaných dat a pochopení principu řízení odbavovací plochy. Po seznámení se se strukturou existujícího modelu bylo možné připravit návrh komplexního řešení modulu pro řízení odbavovací plochy, zejména alokace stání. Ten se skládá z více než dvou desítek metod. Všechny pak fungují v kombinaci 8 hlavních funkcí, které umožňují implementaci jak tzv. hard rules, tak také tzv. soft rules. Veškerá data vstupují do softwaru v podobě databází, kterých je celkem 6. V první řadě jde o letový řád, který zahrnuje veškeré lety pro dané období. Dalším je seznam stání s jednotlivými parametry, jako jsou maximální rozměry a status umístění v rámci schengenského prostoru, s čímž úzce souvisí databáze letadel s jejich rozměry a seznam destinací s jejich Schengenským statutem. To celé doplňují seznamy preferencí dopravců a restrikcí mezi stáními. Všechny databáze byly připraveny tak, aby byly snadno aktualizovatelné, právě pro zachování dynamiky, které je v provozu velké množství.

Ve chvíli, kdy byl program pro modul připraven, došlo k jeho validaci. Ta byla možná na základě dat od letiště, která v rámci letového řádu zahrnují i umístění jednotlivých letů na alokovaná stání. Validace byla provedena na 7denním vzorku letů a následně dva z nich byly detailně rozebrány. Byla na nich provedena analýza, která hledala důvody neshody, a zároveň byly popsány ovlivňující faktory



jednotlivých rozdílů alokace. V rámci tohoto rozpětí dní byl vybrán den pro testování správného fungování realokace. V té je zahrnuto několik letů, kdy každý v návaznosti na zpoždění předchozího letu na daném stání je realokován a probíhá vyhodnocení, zda je nebo není vybráno vhodné nové stání. Detaily jsou zpracovány v kapitole „Diskuse výsledků“.

Přínosem práce je především rozšíření funkcionality modelu, který v současné době nemá možnost takto dynamicky plánovat alokaci stání a je plně závislý na předem daných statických hodnotách. Rozšíří se tak možnosti scénářů, které lze v modelu simulovat. Zároveň se model přiblíží reálnému provozu tím, že další část bude řešena dle pravidel, které využívá přímo letiště při jejich vlastním plánování letů. Limitací je především znalost pouze preference dopravců a nikoliv letiště. I přes to, že existence těchto preferencí je známa, nebylo možné je využít pro tvorbu modulu. V případě této znalosti by bylo možné se přiblížit výsledkům reálné alokace ještě více.



## 8 Zdroje

- [1] Zásady získání kvalifikace k provádění činnosti řídicího odbavovací plochy. *Úřad pro civilní letectví* [online]. 2020 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: [https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2020/11/CAAS-SP-025-0220-Marshall\\_2020\\_09.pdf?cb=c45345e737bc5c18a5c421477b79fcf6](https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2020/11/CAAS-SP-025-0220-Marshall_2020_09.pdf?cb=c45345e737bc5c18a5c421477b79fcf6)
- [2] Apron Management. *ICAO* [online]. 2021 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.icao.int/MID/MIDANPIRG/Documents/MID19%20and%20RASGMID9/RSA-15-%20Apron%20Management.pdf>
- [3] Vaclav Havel Airport Map. *Maps Prague* [online]. 2017 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://maps-prague.com/maps-prague-airport/vaclav-havel-airport-map>
- [4] Movement area. *Prague Airport* [online]. 2023 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/movement-area>
- [5] AD 2–LKPR–1 AIP. *LIS ŘLP* [online]. c2024 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: [https://aim.rlp.cz/ais\\_data/aip/data/valid/a2-pr-txt1.pdf](https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/a2-pr-txt1.pdf)
- [6] Capacity Parameters and Slot Coordination. *Prague Airport* [online]. c2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/capacity-parameters-and-slot-coordination>
- [7] Aircraft parking (docking) chart – ICAO. *Řízení letového provozu* [online]. 2021 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: [https://aim.rlp.cz/ais\\_data/aip/data/valid/a2-pr-pdc1.pdf](https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/a2-pr-pdc1.pdf)
- [8] LETIŠTĚ PRAHA A.S. *ŘÍZENÍ PROVOZU NA ODBAVOVACÍ PLOŠE SEVER*. 2019.
- [9] Aircraft Classification Number (ACN). *Skybrary* [online]. c2021-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/aircraft-classification-number-acn>
- [10] Pavement Classification Number (PCN). *Skybrary* [online]. c2021-2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/pavement-classification-number-pcn>



- [11] VYSKOČILOVÁ, Tereza. *Letištní vozovky* [online]. Praha, 2021 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/95251/F1-BP-2021-Vyskocilova-Tereza-Letistni%20vozovky.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. ČVUT v Praze.
- [12] Do města Romea a Julie, nebo futuristické Astany. Letní letový řád nabídne bezmála 170 destinací, navýšení kapacit i počtu letů. *Letiště Praha* [online]. 2024 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/do-mesta-romea-julie-nebo-futuristicke-astany-letni-letovy-rad-nabidne-bezmala-170-destinaci>
- [13] VÝROČNÍ ZPRÁVA SPOLEČNOSTI LETIŠTĚ PRAHA, A. S., ZA ROK 2022. *Letiště Praha* [online]. 2023 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: [https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/O-letisti/O%20spole%4%8Dnosti/soubory/Vyrocni-zpravy/VZ\\_LP\\_2022.pdf](https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/O-letisti/O%20spole%4%8Dnosti/soubory/Vyrocni-zpravy/VZ_LP_2022.pdf)
- [14] Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014). *EASA* [online]. 2014 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20for%20Aerodromes%20%28Regulation%20%28EU%29%20No%201392014%29%20—%20Revision%20from%20April%202022.pdf>
- [15] Passenger traffic reaches nearly 95% of pre-pandemic levels in 2023. *International Airport Review* [online]. 2024 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.internationalairportreview.com/news/207595/passenger-traffic-reaches-nearly-95-of-pre-pandemic-levels-in-2023/>
- [16] CS ADR-DSN Certifikační specifikace a poradenský materiál pro návrh letišť. *Úřad pro civilní letectví* [online]. 2022 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: [https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2022/05/Decision\\_ED\\_2022\\_006\\_RAnnex\\_CS.pdf?cb=042020edb17f0e688777482891d7037d](https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2022/05/Decision_ED_2022_006_RAnnex_CS.pdf?cb=042020edb17f0e688777482891d7037d)



- [17] GUÉPET, J, R ACUNA-AGOST, O. BRIANT a J.P. GAYON. Exact and heuristic approaches to the airport stand allocation problem. *Sciencedirect* [online]. 2015 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715003331>
- [18] Airport Service Level Agreement (SLA) – Best Practice. *IATA* [online]. 2019 [cit. 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.iata.org/contentassets/fa95ede4dee24322939d396382f2f82d/airport-service-level-agreement.pdf>
- [19] HAJKO, Jakub a Benedikt BADÁNIK. Airline on-time performance management. *Science Direct* [online]. 2020 [cit. 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520308632>
- [20] HEGYI, Patrik a Bálint CSONKA. Optimizing airport stand allocation using multi-objective linear programming. *IEEE Xplore*[online]. 2023 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10146211>
- [21] MELDER, David, John DRAKE a Sha WANG. An Evolutionary Hyper-Heuristic for Airport Slot Allocation. *Scopus* [online]. 2022 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85159412113&origin=resultslist>
- [22] KANJANASURAT, Isoon, Boonchana PURAHONG, Sawaluck TEERAPANPONG a Chawalit BENJANGKAPRASERT. Comparison of Support Vector Machine for Apron Allocation. *ACM* [online]. 2022 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3556055.3556057>
- [23] PURAHONG, B, S TEERAPANPONG, N SATAYARAK a C BENJANGKAPRASERT. Comparison of logistic regression and artificial neural network model for apron allocation assignment. *IOP Science* [online]. 2023 [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2497/1/012013>





- [24] BAGAMANOVA, Margarita a Miguel Mujica MOTA. Reducing airport environmental footprint using a disruption-aware stand assignment approach. *Science Direct* [online]. 2020 [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920920308191?via%3Dihub>
- [25] DIJK, Bert a Bruno F. SANTOS. The recoverable robust stand allocation problem: a GRU airport case study. *Springer Link* [online]. 2018 [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00291-018-0525-3>
- [26] ŻARÓW, Piotr a Jacek SKORUPSKI. Dynamic management of aircraft stand allocation. *ScienceDirect* [online]. 2021 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699720305470>
- [27] PROCEDURES FOR APRON MANAGEMENT. *Institute of civil aviation of Mozambique* [online]. 2012 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.iacm.gov.mz/app/uploads/2019/01/AIC-12-2013-Procedures-for-Apron-Management-2.pdf>
- [28] Airport Apron Management and Control Programs. *Transportation Research Board* [online]. 2012 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: [https://crp.trb.org/acrp0715/wp-content/themes/acrp-child/documents/050/original/ACRP\\_62\\_\\_Airport\\_Apron\\_Management\\_and\\_Control\\_Programs.pdf](https://crp.trb.org/acrp0715/wp-content/themes/acrp-child/documents/050/original/ACRP_62__Airport_Apron_Management_and_Control_Programs.pdf)
- [29] AIP AD 2-LKPR-15. *Aeronautical Information Management* [online]. 2024 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: [https://aim.rlp.cz/ais\\_data/aip/data/valid/a2-pr-txt2.pdf](https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/a2-pr-txt2.pdf)
- [30] LATIF, Saba a Javed FERZUND. Smart Airport Apron Management System Formal Modeling using VDM-SL. *IEEE Xplore* [online]. 2019 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9024825>



- [31] Intelligent Apron. *ADB Safegate* [online]. c2024 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: [https://adbsafegate.com/media/cq3apyek/adb-safegate\\_intelligent-aipron\\_brochure\\_2024-2upsread.pdf](https://adbsafegate.com/media/cq3apyek/adb-safegate_intelligent-aipron_brochure_2024-2upsread.pdf)
- [32] Safegate A-VDGS. *ADB Safegate* [online]. c2024 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: [https://adbsafegate.com/media/p43bswpp/adb-safegate\\_safedock-a-vdgs\\_brochure.pdf](https://adbsafegate.com/media/p43bswpp/adb-safegate_safedock-a-vdgs_brochure.pdf)
- [33] THE ELASTIC APRON. *ADB Safegate* [online]. c2024 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: [https://adbsafegate.com/media/ospfdxxk/the-elastic-apron-white-paper\\_adb-safegate\\_jacobs.pdf](https://adbsafegate.com/media/ospfdxxk/the-elastic-apron-white-paper_adb-safegate_jacobs.pdf)
- [34] SITA upgrades passenger processing at Prague airport for a mobile and touchless future. *SITA* [online]. 2021 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.sita.aero/pressroom/news-releases/sita-upgrades-passenger-processing-at-prague-airport-for-a-mobile-and-touchless-future/>
- [35] Nový LetGIS pro Letiště Václava Havla Praha. *Unicorn Systems* [online]. c2024 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://unicornsistemas.eu/geoinformatics/cs/news?article=nova-era-ve-sprave-geografickych-dat-pribeh-letiste-praha&newsArticleId=64be2736b53db4002a894ff3>
- [36] Letiště Praha – LetGIS. *Cadstudio* [online]. 2013 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.cadstudio.cz/dl/letgis.pdf>
- [37] Prague Airport to Implement New Geographic Information System. *Prague Airport* [online]. 2021 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/prague-airport-implement-new-geographic-information-system>



[38] Prague Airport: Turning Data into Competitive Advantage. *Prague Airport* [online]. 2023 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/digital-transformation>

[39] CONDE, Javier, Andres MUNOZ-ARCENTALES, Mario ROMERO, Javier ROJO, Joaquín SALVACHÚA, Gabriel HUECAS a Álvaro ALONSO. Applying digital twins for the management of information in turnaround event operations in commercial airports. *ScienceDirect* [online]. 2022 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034622001811?via%3Dihub>

[40] TAO, Fei, Ang LIU, Tianliang HU a A.Y.C. NEE. *Digital Twin Driven Smart Design* [online]. Academic Press, 2020 [cit. 2024-04-26]. ISBN 9780128189191. Dostupné z: <https://shop.elsevier.com/books/digital-twin-driven-smart-design/tao/978-0-12-818918-4>

[41] *Preference groups for stand preference rules*. Letiště Praha a.s., 2019.