



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy

**Optimalizace procesů operátora nástupních mostů**  
**Optimization of the processes of the air bridge operator**

**Diplomová práce**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích  
Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

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

**Bc. David Tolar**

---

Praha 2022

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. David Tolar**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

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

Název tématu (česky): **Optimalizace procesů operátora nástupních mostů**

Název tématu (anglicky): Optimization of the Processes of the Air Bridge Operator

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cíl práce: Vytvořte model optimálního provozu operátorů nástupních mostů na letišti Václava Havla a ohodnoťte návrh
- Popište současný stav nastavení procesů operátora nástupních mostů
- Identifikujte nedostatky současného přístupu
- Navrhněte model optimálního fungování operátorů nástupních mostů
- Ohodnoťte dopad navrženého řešení na provoz letiště
- Navrhněte postup zavedení řešení do praxe



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Kulčák, L. - Kerner, L. - Sýkora, V.: Provozní aspekty letišť. ČVUT FD. 2003
- Norman J., Ashford, Salej Mumayiz, Paul H. Wright.: Airport Engineering: Planning, Design and Development of 21st Century Airports, 4th Edition
- Ground Operation Manuals

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

Datum zadání diplomové práce: **17. července 2020**  
(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: **16. května 2022**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



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

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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. David Tolar  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 2. prosince 2021



## Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je analyzovat možnosti zlepšení současného nastavení procesů operátora nástupních mostů. Nedílnou součástí bylo zjištění a popsání současného stavu včetně nedostatků jeho nastavení. Analýze zlepšení předchází vytvoření simulačního modelu infrastruktury odbavovacích ploch areálu sever u terminálů 1 a 2, což je zároveň motivací práce. Tento model bude možné v budoucnu jakkoli rozvíjet a použít ho v rámci zlepšení nastavení procesu pozemního odbavení letadel. Model lze v jeho současném stavu také použít pro simulaci provozu letištních autobusů a vyhodnocování výstupních dat. V práci je optimalizace procesů operátora nástupních mostů dosaženo pomocí různých nastavení provozního simulačního modelu vytvořeného v programu AnyLogic. Především se jedná o optimalizace počtu lidských zdrojů. Tento výsledek je porovnán se současným stavem a ohodnocen. Dále je navrženo, jak takové procesy zavést do praxe, aby se dosáhlo zlepšení nastavených procesů, kde budou operátoři nástupních mostů a potřebné vybavení k dispozici vždy v dostatečném množství, a tím požadované kvalitě pro odbavení letadel.

**Klíčová slova:** Letiště Václava Havla Praha, odbavení letadla, operátor nástupního mostu, simulační model provozu



## **Abstract**

The subject of this thesis is to analyse the possibilities of improving the current setup of the air bridge operator processes. An integral part was to identify and describe its current state including the shortcomings of the setup. The analysis of the improvement is preceded by the creation of a simulation model of the apron infrastructure of the north area at terminals 1 and 2, which is at the same time the motivation of the thesis. This model can be developed and used in the future to improve the setup of the ground handling process. The model in its current state may also be used to simulate airport bus operations and thus evaluate them. In this thesis, the optimization of the air bridge operator processes is achieved by using various validated settings of the operational simulation model developed in Any Logic. In particular, the optimization of the number of human resources is involved. This result is compared with the current situation and evaluated. Furthermore, it is suggested how to put such processes in practice to achieve an improvement in the set ones where the air bridge operators and the necessary equipment will always be available in sufficient quantity and thus of the required quality for aircraft clearance.

**Keywords:** aircraft handling, operator of the air bridge, simulation of traffic model, Vaclav Havel Airport Prague



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady, cenné informace a rady k vypracování této diplomové práce, zvláště pak mému vedoucímu Ing. Slobodanu Stojíčkovi, Ph.D. za pomoc s výběrem tématu, konzultace a odborné vedení. Velké poděkování patří Ing. Janě Kuklové za obětavou pomoc s vytvářením samotného modelu a Karlu Jencíčkovi za poskytnutí provozních a odborných informací. Mé poděkování patří také rodině a blízkým za podporu, která mi byla poskytována po celou dobu studia.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Optimalizace procesů operátora nástupních mostů vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

Praze dne 16. května 2022

.....

*Podpis*



## Obsah

Úvod .....	14
<b>1. Analýza současného stavu procesů na LKPR .....</b>	<b>16</b>
1.1 Přehled současného stavu procesů operátorů NM a letištních autobusů .....	16
1.2 Postupy provozu letištních autobusů .....	18
1.3 Postupy provozu nástupních mostů .....	19
1.4 Mobilní prostředky operátorů mostů a autobusů .....	20
1.4.1 Letištní autobus .....	20
1.4.2 Osobní automobil .....	21
1.4.3 Mobilní terminál PDA .....	21
1.5 Dopravní řád Letiště Praha .....	22
1.6 Letištní infrastruktura .....	23
1.6.1 Letištní infrastruktura komunikací .....	23
1.6.2 Stání a odletové brány .....	24
1.6.3 Nástupní mosty .....	25
1.7 Identifikace nedostatků současného stavu .....	31
1.7.1 Personální nedostatky .....	31
1.7.2 Blokace OLK .....	31
1.8 Shrnutí kapitoly .....	33
<b>2. Specifikace problému a postup řešení .....</b>	<b>34</b>
<b>3. Simulační model operátorů NM a řidičů autobusů .....</b>	<b>36</b>
3.1 Program AnyLogic .....	36
3.2 Zahrnutí části provozu autobusů .....	36
3.3 Data a základy pro tvorbu modelu .....	37
3.4 Grafický a logický model .....	38
3.4.1 Grafický model .....	38
3.4.2 Logický model .....	41
3.5 Vstupní parametry .....	45
3.5.1 Databáze modelu .....	45
3.6 Popis fungování modelu .....	46
3.6.1 Načtení modelu a výjezd agenta .....	46
3.6.2 Trasa vozidla .....	47





3.6.3	Úkol agenta .....	47
3.6.4	Návrat agenta .....	47
3.7	Nastavení rychlostí vozidel.....	47
3.8	Model dojezdových časů .....	49
3.9	Nastavení dob úkolů .....	50
3.9.1	Průměrné doby úkolů.....	50
3.10	Výstupní hodnoty .....	54
<b>4.</b>	<b>Simulační analýza provozu operátorů nástupních mostů.....</b>	<b>56</b>
4.1	Scénáře provozu .....	56
4.1.1	Scénář společného provozu .....	57
4.1.2	Scénář odděleného provozu .....	58
4.1.3	Scénář současného provozu .....	60
4.2	Model provozu propojení skupin a minima operátorů NM.....	63
4.3	Počet dedikovaných zaměstnanců .....	67
4.4	Data o využití vozidel .....	67
<b>5.</b>	<b>Shrnutí výsledků a diskuze .....</b>	<b>70</b>
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>74</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>76</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Autobus na OLK čekající na cestující při nesrotovaném přelet.....	17
Obrázek 2 - Příklad informací na PDA pro operátora autobusu při přiletu na odlehlé stání...	19
Obrázek 3 - Letištní autobus Cobus 3000 u přízemních odletových bran .....	21
Obrázek 4 – Vzhled zařízení, funkce a informace pro odstavení NM v PDA.....	22
Obrázek 5 - Schéma infrastruktury areálu Sever na Letišti Praha.....	24
Obrázek 6 - Nástupní most a jeho typické vybavení na LKPR .....	26
Obrázek 7 - Ovládací panel nástupního mostu.....	28
Obrázek 8 - Nástupní most pohyblivý jen kolmo k ose stání na letišti v Oslu .....	30
Obrázek 9 - Letištní autobus čekající na OLK na pasažéry z nesrotovaného přiletu.....	32
Obrázek 10 - Detail grafické části a obrazového podkladu infrastruktury kolem prstu C .....	39
Obrázek 11 - Síť obslužných letištních komunikací areálu Sever v grafické části modelu.....	39
Obrázek 12 - Graf přímých vzdáleností .....	41
Obrázek 13 - Ukázka logického modelu z programu AnyLogic.....	41
Obrázek 14 - Příklad databáze letů z programu AnyLogic.....	46
Obrázek 15 - Nastavené rychlosti Cobusu 3000 v modelu .....	48
Obrázek 16 - PERT rozdělení časů přistavení NM .....	52
Obrázek 17 - Graf vývoje potřebného počtu automobilů v průběhu dne 30. 8. 2019.....	55
Obrázek 18 - Distribuce dob úkolů v procentech s depem u T1 s jejich průměrnou dobou ...	57
Obrázek 19 - Distribuce dob úkolů v procentech s depem pod prstem B s jejich průměrnou dobou .....	58
Obrázek 20 - Histogram s průběhem dne 30. 8. 2019 na T1 s odděleným provozem.....	59



---

Obrázek 21 - Histogram s průběhem dne 30. 8. 2019 na T2 s odděleným provozem.....	59
Obrázek 22 - Graf průběhu množství operátorů NM .....	60
Obrázek 23 - Graf počtu hodin s potřebným počtem operátorů NM.....	62
Obrázek 24 - Distribuce dob úkolů v procentech a jejich průměrná hodnota (vyznačena svislou čarou).....	63
Obrázek 25 - Histogramy počtu automobilů, autobusů a celkového počtu zaměstnanců .....	64
Obrázek 26 - Graf minimálního počtu operátorů NM a jejich doplněk řidiči autobusů na denní směně od 8 do 20 hodin .....	65
Obrázek 27 - Graf počtu pomáhajících řidičů BUS a počty provedených úkolů .....	66
Obrázek 28 - Graf počtu dostupných zdrojů vůči provedeným úkolům dne 30. 8. 2019 .....	68



---

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Označení jednotlivých kontaktních stání s jejich odletovými branami a mosty ...	25
Tabulka 2 - Dojezdové časy na jednotlivá stání automobilů a autobusů .....	50
Tabulka 3 - Průměrné zdržné časy přistavení NM .....	53
Tabulka 4 - Průměrné zdržné časy odstavení NM .....	53
Tabulka 5 - Hodnoty vložené do PERT rozdělení v minutách .....	54
Tabulka 6 – Průměrná doba procesu a počtu operátorů NM .....	61
Tabulka 7 - Hodnoty simulace .....	63



## Seznam symbolů a zkratek

A/C	Aircraft	Letadlo
AIBT	Actual In-Block Time	Skutečný čas příjezdu na stání
AOBT	Actual Off-Block Time	Skutečný čas vytlačení ze stání
APU	Auxiliary power unit	Pomocný zdroj energie
CDP		Centrální dispečink
EEG		Elektroencefalografie
GPU	Ground Power Unit	Pozemní zdroj energie
GS	Ground Star (také RMS)	Systém pro alokaci letištních zdrojů
LKPR	Vaclav Havel Airport Prague	Letiště Václava Havla Praha
LPH		Letecké pohonné hmoty
MARS	Multiple Aircraft Ramp System	
MMP		Mobilní mechanizační prostředek
NM	Air Bridge	Nástupní most
OLK		Obslužná letištní komunikace
PAX	Passenger(s)	Cestující
PCA	Preconditioned Unit	Klimatizační / vyhřívací jednotka
PCL		Pracoviště přepravy cestujících
PDA	Personal Digital Assistant	Kapesní počítač / mobilní terminál
PRM	Passanger with Reduced Mobility	Cestující s omezenou schopností pohybu
RAC	Ramp Control Supervisor	Vedoucí odbavení letu
RMS	Resource Management Systém	Systém pro alokaci letištních zdrojů
TSAT	Target Start-up Approval Time	Cílový čas vydání povolení ke spouštění motorů
T1 / T2		Terminál 1 / Terminál 2
VDGS	Visual Guidance Docking System	Vizuální naváděcí a parkovací systém



## Úvod

Technické odbavení letadel je nedílnou součástí každého odletu, příletu nebo průletu. Především pak v omezeném průletovém čase je na všechny složky, které se podílejí se na procesu odbavení tvořen velký tlak na včasnost, rychlost, správnost a v neposlední řadě bezpečnost odbavení letu. Jelikož se tato práce zabývá pracovním procesem operátorů nástupních mostů, kteří jsou také součástí technického odbavení letu, jsou na ně a jejich činnosti kladeny především požadavky na včasnost a bezpečnost. Na Letišti Praha působí jednotka Pracoviště přepravy cestujících, která má starosti provoz letištních autobusů a salónního vozu, s kterými zajišťuje přepravu cestujících mezi terminály a letadly. Dále také zajišťuje přistavování a odstavování nástupních mostů na kontaktních stáních. V této jednotce působí především provozní zaměstnanci, kteří vykonávají výše zmíněné činnosti, které má tato jednotka na starosti. Všichni zaměstnanci mají oprávnění řídit autobusy i operovat s nástupními mosty. Pokud jsou ale přítomni na dané směně, mají primárně na starosti pouze jednu z těchto výše uvedených činností. Na letišti Praha se nachází 20 odlehlých stání a 34 nástupních mostů, které musí řidiči autobusů a operátoři nástupních mostů obsluhovat.

Z vlastních zkušeností, které jsem nabyl za téměř rok práce nejen na pozici Ramp Control Supervisor, jsem měl možnost poznat celý odbavovací proces a nároky na něj detailněji. Handling i letištní infrastruktura byly vždy mým koníčkem, proto jsem si vybral pro téma závěrečné diplomové práce proces operátorů nástupních mostů.

Hlavním cílem práce je vytvořit model optimálního provozu operátorů nástupních mostů na letišti Václava Havla Praha a ohodnotit návrh. Zpočátku se práce zabývá nejen současným stavem nastavených procesů operátorů nástupních mostů, ale i řidičů autobusů. Důležité je také poznat, s jakým vybavením pracují a jak probíhá komunikace a spolupráce s ostatními složkami letiště i handlingovými a leteckými společnostmi. Dalším kruciólním bodem je identifikace nedostatků, těmi mohou být infrastrukturní prvky jako autobusové zastávky u stání letadel, jejich rozpoložení nebo typy nástupních mostů. Také to ale mohou být procesní nedostatky a v neposlední řadě i lidské zdroje pro výkon profese operátora nástupních mostů a řidiče letištních autobusů zároveň. Právě na lidské zdroje, jejich kvantitativní požadavky a využívání se práce zaměřuje.

Dále se práce zabývá zkoumáním stávajícího nastavení systému a jeho důležitou částí je vytvoření modelu provozu, jak již bylo zmíněno, pro operátory nástupních mostů, ale zároveň



i pro přepravu cestujících letištními autobusy. Model je vytvořen v softwaru AnyLogic, který umožňuje vhodné multiagentní zpracování úlohy a nabízí intuitivní uživatelské prostředí. Simulační model se skládá z grafické a logické části, které po spuštění simulace zajišťují definovaný provoz obou pracovních skupin v prostředí pražského letiště. Simulace je graficky znázorněna a umožňuje tak sledovat denní provoz a udělat si o něm kvalitní představu. Hned vedle se nachází databáze se zapisovanými údaji z průběhu simulace a také například histogramy s dobami pracovních úloh operátorů nebo aktuální počty potřebných řidičů autobusů v průběhu celého dne. S těmito daty lze dále pracovat a vyhodnocovat je. Velmi důležité je správné nastavení modelu. K tomu posloužila některá poskytnutá data z Letiště Praha a také fyzická oměření mnoha částí dopravních nebo pracovních procesů. Model lze upravovat, případně i rozšířit či propojit. Lze tak dále využít a může sloužit i pro jiné účely, což je jeho silnou stránkou.

Na závěr následuje diskuze ohledně dopadu navrženého řešení na provoz letiště a navržení postupu zavedení do praxe. Přínosem je zjištění minimálního počtu operátorů nástupních mostů potřebných pro daný denní provoz. To umožňuje konkrétní plánování směn pracovníkům letiště nebo dále predikci technických i lidských zdrojů potřebných pro budoucí provoz. V diskuzi jsou také zmíněny možné návrhy konfigurace systémovými změnami, těmi mohou být například automatické nástupní mosty, které potřebují minimum obsluhy.



## 1. Analýza současného stavu procesů na LKPR

Mezinárodní letiště Václava Havla Praha odbavilo v rekordním roce 2019 téměř 18 miliónů cestujících. Nejlepším měsícem v historii letiště, co do počtu odbavených cestujících, byl srpen 2019, kdy Letiště Praha odbavilo 1,997 milionu cestujících. S pandemií COVID-19 přišla bezprecedentní krize a počet odbavených cestujících klesl na 3,6 milionu v roce 2020. I přesto je potřeba udržet letiště a jeho odborný i provozní personál plně připraven na další pokračování úspěšného a udržitelného rozvoje největšího vzdušného přístavu České republiky. [1] [2] [3]

### 1.1 Přehled současného stavu procesů operátorů NM a letištních autobusů

Přepravu cestujících autobusy a přistavování nástupních mostů si zajišťuje letiště Václava Havla Praha pomocí svého týmu přepravy cestujících (PCL). Je zde tedy zavedena pracovní skupina zaměstnanců, kteří obsluhují nástupní mosty a zároveň jezdí s letištními autobusy. Všichni pracovníci mají řidičská oprávnění skupiny D a zároveň absolvují požadovaná školení. Nároky na řidiče a operátory NM jsou v letištním prostředí poměrně specifické, proto je nutné pracovníky řádně vyškolit a udržovat jejich potřebné kvalifikace po celou dobu zaměstnání. Pro přijetí na tuto pozici je také nutné mít zkušenosti s řízením motorových vozidel v dané kategorii, v ideálním případě alespoň 2 až 3 roky. Dále osvědčení profesní způsobilosti řidiče a platné EEG testy a ochotu pracovat ve směnném provozu. [4]

V současném stavu jsou zaměstnanci rozděleni do skupin a mají dopředu určené své širší působení a svá výchozí místa. Jedná se o tři skupiny, přičemž první z nich se nachází v autobusovém depu vedle terminálu 1. Tato skupina obsluhuje autobusy odlehlá stání a nesrotované<sup>1</sup> přílety, popřípadě odlety, viz obrázek 1 dále. Přepravuje tedy cestující z/do terminálů do/z letadel. A také může především v provozní špičce vypomáhat s obsluhováním nástupních mostů na kontaktních stání.

---

<sup>1</sup> Přílet letadla ze země v Schengenském prostoru na T1 a jeho následný odlet do zemí mimo Schengenský prostor nebo naopak.





Obrázek 1 - Autobus na OLK čekající na cestující při nesrotovaném přeletu [zdroj: autor]

Druhá skupina se nachází pod prstem B, přičemž tito zaměstnanci mají k dispozici osobní automobily a obsluhují nástupní mosty na prstech A a B. Protože vychází z denní místnosti na úrovni země, mohou se dopravit automobilem, či dle svého uvážení pěšky, k danému nástupnímu mostu (NM).

Třetí skupina na své směně sídlí pod prstem C a obsluhuje nástupní mosty prstů C a D. Protože vychází přes odletové brány na úrovni země, může být jejich pohyb uskutečněn stejně jako u skupiny nacházející se pod prstem B. Zaměstnanci těchto dvou skupin zpravidla neobsluhují na dané směně autobusy, ale dostávají přidělené úkoly jen na přistavování a odstavování NM u kontaktních stání.

Tři skupiny doplňuje jedna osoba, která je určena pro přepravu cestujících z letištního salónku přímo k letadlu.

Přidělování úkolů tomuto týmu má na starosti centrální dispečink (CDP), který mimo to plánuje a přiděluje stání letadlům na plochách Sever a Východ a řídí mnoho dalších úkolů souvisejících s odbavením cestujících v terminálech 1 a 2. Příkladem může být přidělování odletových čekáren s NM, řešení závad na terminálech a vybavení, zastavení používání a stažení NM od letadel při určité síle větru. Výše i dále uvedené záležitosti byly mimo jiné načerpány díky odborné konzultaci s expertem z Letiště Praha, panem Jenčíkem.



Nástup na palubu letadla probíhá v Praze dvěma možnými způsoby ze tří obecně známých. Po příchodu cestujícího do odletové brány a zahájení nástupu mu jsou handlingovým agentem zkontrolovány dokumenty a cestující může postupovat buď nástupním mostem přímo do letadla, nebo nastoupí do autobusu, který ho následně odveze k letadlu, zpravidla na vzdáleném stání. Posledním a ve veřejných terminálech 1 a 2 nevyužívaným způsobem, z důvodů rozpoložení infrastruktury, je nástup cestujících do letadla pěšky. Cestující v takovém případě následují vyznačenou cestu vedoucí od terminálu přímo ke schodům do letadla. Tento způsob je využíván na menších letištích s nižším provozem, ale i na větších letištích nízkonákladovými dopravci tam, kde je to z důvodů infrastruktury možné. [5]

Specifickou metodou nástupu a samozřejmě i výstupu je takzvané „WIWO“ (Walk-In / Walk-Out). I přestože je letadlo odbavováno u kontaktního stání a NM je připojen k letadlu, část cestujících sedících v zadní polovině kabiny schází z NM po schodech na odbavovací plochu, kde je vyznačena cesta k přistaveným schodům k zadním dveřím letadla. Cesta je kromě vodorovného značení doplněna o natažené lano, tak aby cestující nepodcházeli křídlo letounu. To je dáno z bezpečnostních důvodů, neboť se zespondu křidel vyskytují palivové ventily. Celý proces je kontrolován ještě handlingovým agentem. Důvod tohoto způsobu je zrychlení nástupu a výstupu cestujících, a tím zkrácení doby průletu letadla. Výstup a nástup cestujících je jedním z časově nejnáročnějších fází odbavení letu. [20]

## 1.2 Postupy provozu letištních autobusů

Postupy provozu letištních autobusů určují především podmínky odpovědnosti a provozní postupy, které jsou aplikovány na odbavovacích plochách a OLK. Z pohledu této práce jsou důležité informační toky. V systému GS neboli RMS, tedy systému pro alokaci letištních zdrojů jsou obsaženy základní informace o pohybech letadel. Ty jsou s předstihem nahrávány z centrální databáze a dispečink má tak k dispozici přehled úkolů, které přiděluje jednotlivým řidičům autobusu zhruba hodinu před přistáním letu dle aktualizovaného času příletu. Odletové pracovní úlohy jsou také naplánovány v systému RMS, ovšem konkrétní čas zahájení se určí až po telefonickém požadavku ze stran handlingových společností.

Za přidělování pracovních úloh jak řidičům autobusů, tak operátorům NM je tedy odpovědný dispečer CDP. Ten předává informaci o zahájení úkolu pomocí systému GS a mobilního terminálu PDA neboli kapesního počítače dle aktuálního času příletu, viz obrázek 2 dále. Každý pracovník na směně má vždy přidělený svůj PDA a příchozí úkoly je povinen

neprodleně potvrdit. Obecný přehled o přidělených úkolech si mohou pracovníci udělat ze systému GS, který je spuštěn na stolních počítačích v denních místnostech. [29]



Obrázek 2 - Příklad informací na PDA pro operátora autobusu při příletu na odlehlé stání  
[zdroj: autor]

### 1.3 Postupy provozu nástupních mostů

Postupy provozu nástupních mostů určují podmínky k operování s nástupními mosty. Jak již bylo zmíněné některé požadavky na personál, právě k NM je potřeba prokazatelné 3leté praxe s řídičským průkazem skupiny D.

Důležitý je celý proces provedení úkolu přistavení, který je postupně popsán. Po obdržení požadavku na přistavení mostu je operátor NM povinen ihned tuto zprávu přijmout a v požadovaný čas se dostavit na dané místo. Ihned ze země kontroluje, zda je most ve správné poloze a zda se nikde na ploše nenachází žádné překážky, které by mohli bránit v pohybu nebo poškodit letadlo či samotný NM. Po vstoupení do kabiny operátora NM kontroluje celkový stav a pokud usoudí, že je vše v pořádku, NM aktivuje, s ním i VDGS. Samotné přistavení NM může začít až po vypnutí alespoň bližšího motoru, zašpalkování kol klíny a pokynu od oprávněné osoby, což je zpravidla RAC. Zvýšená pozornost se musí



věnovat kabelu elektrického pozemního zdroje, který je zavěšen na NM a v určitých případech se připojuje ještě před přistavením NM k letadlu. Při přistavování věnuje operátor velkou pozornost částem letadla, zvláště sensorům v okolí dveří nebo motoru. Po přistavení NM a přilnutí přístřešku k trupu, zaklepe operátor NM na dveře letadla a ukáže vizuální signál, po kterém může posádka otevřít dveře. Pod dveře se vloží bezpečnostní zarážka. V případě odstavení jsou postupy podobné, zvýšená pozornost se věnuje správnému umístění do parkovací pozice. V případě stojánek s více NM platí stanovené postupy, a to i s ohledem na typy letadel a požadavky přistavení NM k určitým dveřím letounu. [30]

Obecné délky úkolů operátorů NM a další záležitosti byly konzultovány s vedoucím Pracoviště přepravy cestujících, panem Jenčíkem. Nastavené délky úkolů se odvíjejí od zadaných pravidel v systému RMS. Operátor NM obdrží automaticky příletovou úlohu v rozmezí 15 až 10 minut před jeho přistavením. Jestliže není dostatečná kapacita, dispečer pak může přidělit úlohu třeba až po příletu. Typická délka pracovní úlohy pro přistavení nástupního mostu je 15 minut. Tedy čtvrt hodiny před předpokládaným koncem úkolu obdrží operátor NM notifikaci o dané pracovní úloze na PDA. Poté má 8 minut na přemístění do místa vykonání úkolu. 7 minut do konce operátor aktivuje nástupní most, v tu dobu se již letadlo zpravidla nachází na pojízděcí dráze. 3 minuty do konce úkolu přistavuje operátor nástupní most a v nulté minutě operátor ukončuje úlohu.

Pro odlet jsou úkoly nastavené 8 minut před TSAT. Ovšem toto je „pouze“ jakási pojistka, handlingové společnosti si v tomto případě žádají operátora NM telefonicky v okamžiku, kdy se jsou téměř všichni cestující nastoupili do letadla. Po předání telefonického požadavku na CDP obdrží některý operátor NM úkol na odstavení mostu, ten je povinen tuto zprávu ihned přijmout a neprodleně se dostavit na dané místo.

## **1.4 Mobilní prostředky operátorů mostů a autobusů**

V následující podkapitole jsou popsány nedílné prostředky operátorů a řidičů včetně jejich využití, funkcí a procesů.

### **1.4.1 Letištní autobus**

Letiště Praha využívá pro přepravu cestujících autobusy od firmy Cobus. Díky osobní přítomnosti na směně řidiče autobusu, který plnil přepravní úkoly a prohlídce zázemí bylo zjištěno, že tyto rozšířené letištní autobusy používá ve verzi 3000, která má uváděnou maximální kapacitu 110 pasažérů. Tato kapacita se ale téměř nikdy nevyužívá celá z důvodu

komfortu cestujících. I samy letecké společnosti si určují vlastní limity pro maximální naplněnost. Také z důvodu Covidu-19 byla určitou chvíli znatelně snížena kapacita autobusu, a to na 50 cestujících. Kvůli nízké poptávce nebylo problémem toto snížení kapacity na autobus, vykryt jejich navýšením. Letištní autobusy obvykle převážejí cestující od přízemních odletových bran na odlehlá stání letadel a zpět od letadel do galerií terminálů 1 a 2, rozdělených podle neschengenského a schengenského prostoru. Jejich parkovací místa u odletových bran a podoba autobusů je vidět na obrázku 3.



Obrázek 3 - Letištní autobus Cobus 3000 u přízemních odletových bran [zdroj: autor]

Typicky jezdí 2 až 3 autobusy na jeden odlet letadla typu A320, B738. Délka autobusu je 13,8 m, šířka 3 m, a jeho nevýhodou oproti automobilu je pomalejší přesun a zabírání většího místa při parkování. [6]

#### 1.4.2 Osobní automobil

Operátoři využívají pro dopravu k nástupním mostům osobní automobily Škoda Fabia. Jejich délka je 4 m, šířka 1,7 m. Jejich výhodou oproti autobusům je rychlejší pohyb mezi stáními. [7]

#### 1.4.3 Mobilní terminál PDA

Mobilní terminál PDA slouží k předávání informací operátorovi nebo řidiči autobusu. Tyto zařízení jsou propojeny se systémem GS, pokud by došlo k jeho výpadku, jsou v postupech stanoveny přesné způsoby, jak komunikaci nahradit, aby byl dále zajištěn plynulý

odbavovací proces. Na obrázku 4 jsou v horním řádku vidět informace: kód zdroje (pracovníka), kód autobusu, čas, datum, stav baterie, síla signálu. Dále je zde typ úkolu, akceptační ikona a pořadí úlohy, pokud jich je již více. Dále jsou shora konkrétní informace, o který nástupní most se jedná (označení mostu, označení stání), předpokládané časy zahájení a ukončení úkolu. Číslo letu, typ letadla s jeho registrací. Destinace značená ICAO kódem. Čas odletu / čas požadavku a poznámka o jaký úkol se přesně jedná. Výše uvedené informace byly také nabyté díky osobní účasti na směně řidiče letištního autobusu.



Obrázek 4 – Vzhled zařízení, funkce a informace pro odstavení NM v PDA [zdroj: autor]

## 1.5 Dopravní řád Letiště Praha

Směrnice s názvem Dopravní řád Letiště Praha Ruzyně „upravuje pravidla silničního provozu na LKPR v neveřejném prostoru na obslužných letištních komunikacích, na pohybové ploše a manipulačních plochách a účelových komunikacích ve veřejném prostoru letiště. Definuje



pravidla pohybu MMP, značky a značení, bezpečnostní zóny letadel a ruční signály pro pohyb MMP.“ [8]

Pro tuto práci definuje důležité názvy jako obslužná letištní komunikace, ta slouží k přesunu MMP v neveřejném prostoru letiště a je na ní v areálu Sever omezena rychlost na 30 km/h. Na stání letadel se lze pohybovat maximální rychlostí 5 km/h.

Určuje místa, kde je možné za daných podmínek stát jen s určitými typy vozidel, například na vyznačených zastávkách pro autobusy. A určuje označená místa, kde není za daných podmínek možné stát nebo projíždět, například v operační zóně nástupního mostu. Důležitou informací je, že autobusům a vozidlům přepravujícím cestující PRM je dovoleno vjíždět do autobusové zastávky z protisměrného jízdního pruhu. Určuje také potřebnou skupinu řídicího oprávnění k jednotlivým skupinám MMP. [8]

## **1.6 Letištní infrastruktura**

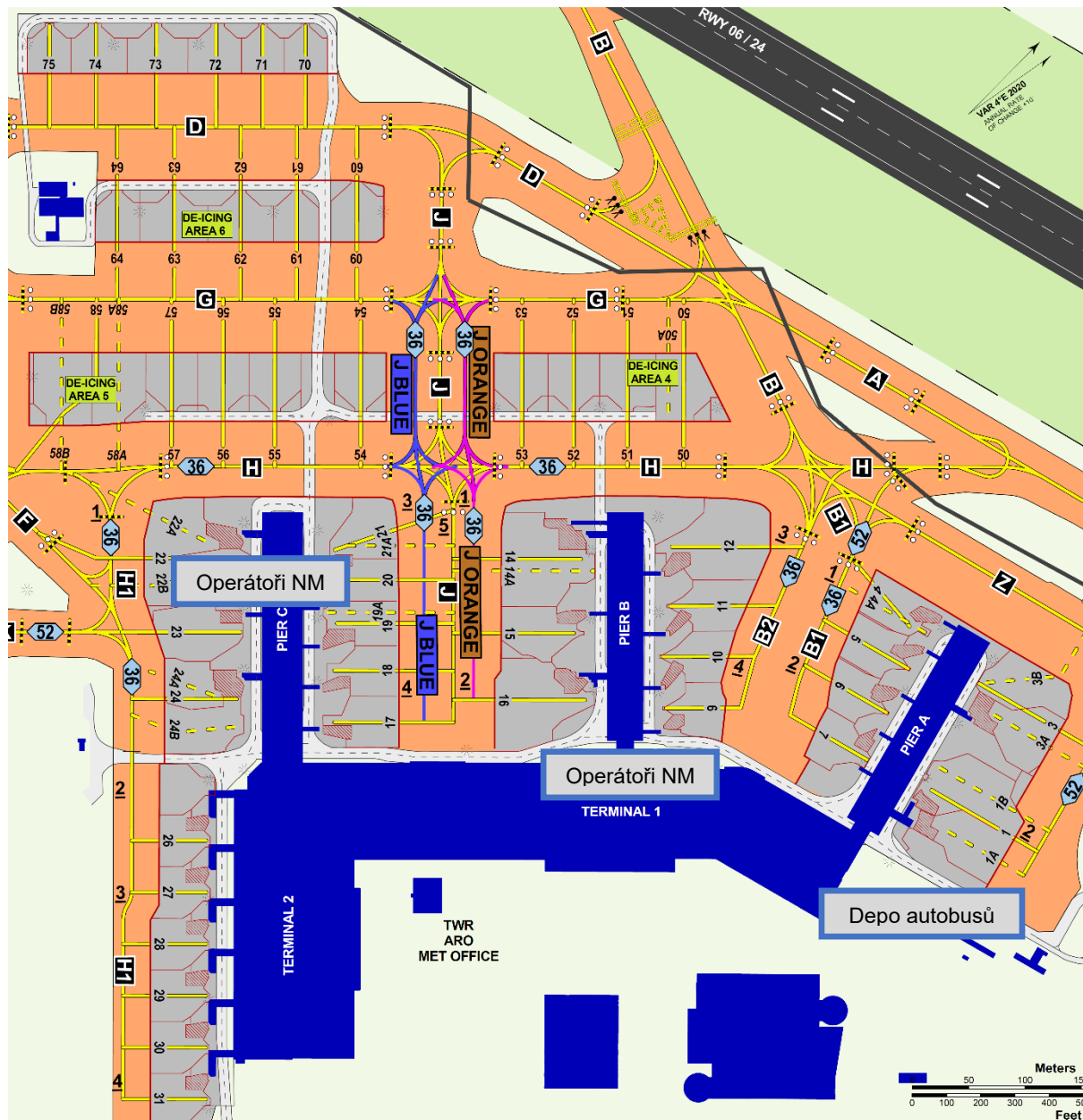
Podoba letišť se neustále dlouhodobě vyvíjí podle aktuálních požadavků na odbavení cestujících, nákladu či typů letadel. Dále je popsána podoba pražského letiště, v jakém rozložení v dnešní době funguje.

### **1.6.1 Letištní infrastruktura komunikací**

Letištní infrastruktura komunikací je označována termínem obslužné letištní komunikace. Ty se nacházejí v neveřejném prostoru Letiště Praha a slouží pro účely dopravní obslužnosti celého airside letiště, především pro pohyb MMP. Důležitost správného návrhu OLK je kritická, aby v provozních špičkách nedocházelo ke kongescím a byl zajištěn plynulý chod odbavovacího procesu. Musí být navržena bezpečně, aby se eliminoval počet nehod ať už MMP mezi sebou, s infrastrukturou nebo s letadly. Na letišti operují různé typy MMP a jsou přepravovány různé náklady. Z hlediska výšky mohou být kritické například odmrazovací vozy s jejich výškou přes 4 m. Zde je tedy důležitá výška pevných částí NM či výška podjezdů pod prsty A, B a C nad OLK. [8]

Z hlediska letištních autobusů jsou důležité poměry zatáček a křižovatek kvůli jejich větším šířkovým i délkovým rozměrům, ale také z hlediska pohodlí cestujících a bezpečnosti silničního provozu. Autobusy si musí nadjíždět a zastavovat u zastávek přesně. Poměry křižovatek a zatáček jsou důležité i pro cisterny vozící letecké pohonné hmoty. Na obrázku 5 je vidět celá infrastruktura areálu Sever včetně popisků přibližných výchozích míst operátorů NM a řidičů autobusů. OLK jsou vyznačeny bíle, většinou obousměrné s přerušovanou čarou

uprostřed, šedivě jsou vyznačeny odbavovací plochy a oranžově pojezdové dráhy a pojezdové pruhy. Pro představu, autobusy se v areálu Sever pohybují po 4,5 km OLK, mimo to ještě po odlehlých stání letadel, při najíždění k odbavovanému letadlu. [19]



Obrázek 5 - Schéma infrastruktury areálu Sever na Letišti Praha [19]

### 1.6.2 Stání a odletové brány

Stání, odletové brány a nástupní mosty spolu úzce souvisí a mají různá logická označení. Stání jsou číslována postupně z pohledu odbavovacích ploch, odletové brány s NM naopak z pohledu cestujících nacházejících se v terminálu. Dále je uvedena tabulka 1 s označením





jednotlivých kontaktních stání s jejich odletovými branami a nástupními mosty. Výše je zároveň obrázek 5, na kterém je možné vidět polohu těchto stání. [39]

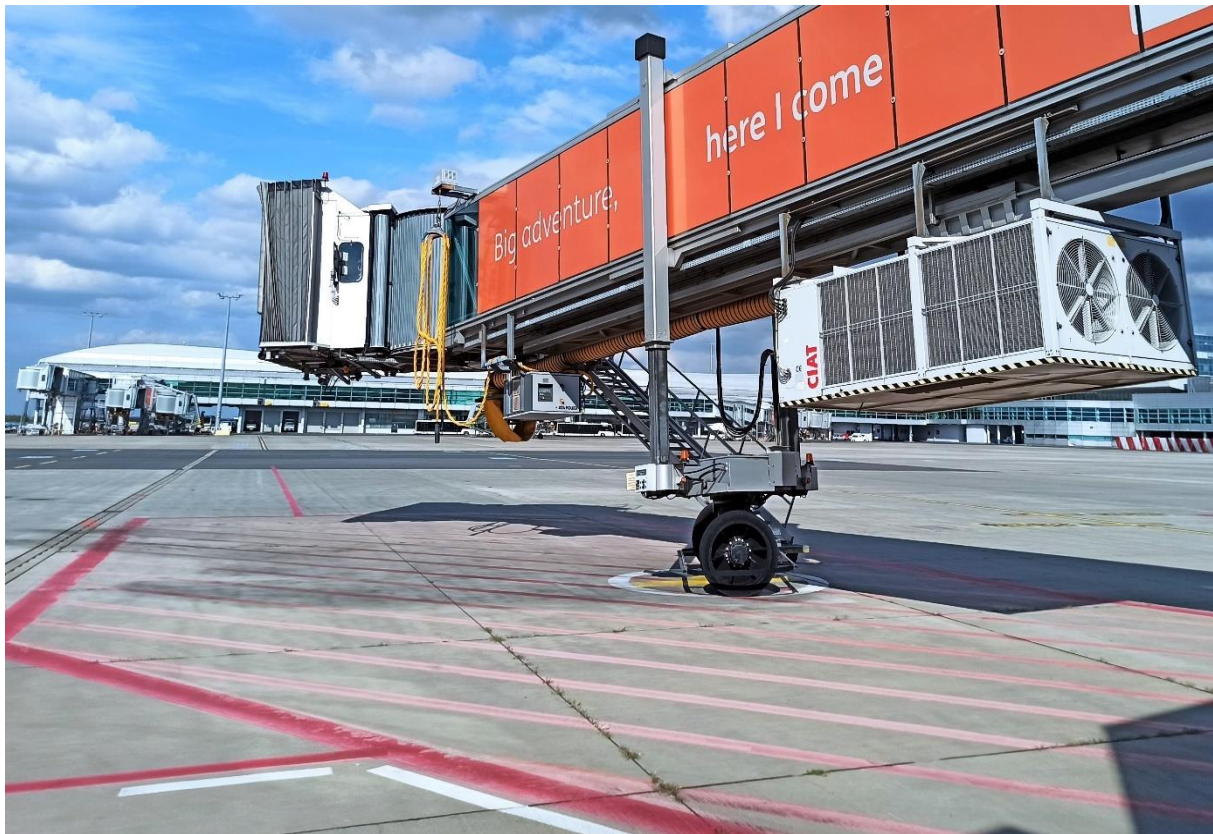
Tabulka 1 - Označení jednotlivých kontaktních stání s jejich odletovými branami (gaty) a mosty [19] [20] [39]

Číslo stání T1	Označení nástupního mostu (gatu)		Číslo stání T2	Označení nástupního mostu (gatu)
1	A3 / A4		17	C2
1A	A3		18	C3
1B	A4		19 / 19A	C6
3	A6 / A7		20	C8
3A	A6		21 / 21A	C9
3B	A7		22	C10 / C11
4 / 4A	A9		22A	C11
5	A8		22B	C10
6	A5		23	C7
7	A2		24	C4
9	B1		24A	C5
10	B2		24B	C4
11	B5		26	D1
12	B7		27	D2
14	B8 / B9		28	D3
14A	B8 / B9 / B99		29	D4
15	B4		30	D5
16	B3 / B33		31	D6

### 1.6.3 Nástupní mosty

Nástupní most slouží k propojení terminálu s letadlem, kde cestující mohou pohodlně bez vlivu vnějších povětrnostních podmínek nastupovat do letadla. Skládá se obvykle z dvou částí, pohyblivé a nepohyblivé. Nepohyblivá část mostu přiléhá k terminálu, může oddělovat toky příletových a odletových cestujících a obvykle překlenuje i OLK, které zpravidla vedou mezi terminálem a stánými letadel. Oddělení toků cestujících je velmi důležité v případě, že pevná část nástupního mostu slouží k rozdělení toků cestujících do terminálů dedikovaných například pro lety do a ze zemí Schengenského prostoru či mimo něj, případně na vnitrostátní a mezinárodní lety. Pohyblivá část nástupního mostu slouží k připojení se k letadlu po jeho zajetí a bezpečném zastavení na stání. Existují různé způsoby a typy pohyblivých částí, jejichž možné parametry jsou uvedeny dále. V Praze se užívají NM značek ThyssenKrup a FMT. Na obrázku 6 je zachycen NM na stání číslo 21 i s jeho operační zónou, která slouží k ochraně pohyblivé části NM před okolními MMP. [9]

Nástupní most také často nese další důležité vybavení. Zpravidla je na něm zavěšena klimatizační a vyhřívací jednotka PCA a svinovací přípojné hadice k letadlu. Výjimku na pražském letišti v současné době tvoří prst D, kde PCA jednotky nejsou instalovány. Typickými výrobci PCA jednotek jsou AXA Power nebo Ciat. Dalším důležitým vybavením všech nástupních mostů jsou pozemní elektrické zdroje (GPU). Tyto kabely jsou obvykle zavěšeny na navijácích u konce nástupního mostu, po připojení a zapnutí dodávají letadlu obvykle 115V střídavého proudu o 400Hz. [10]



Obrázek 6 - Nástupní most a jeho typické vybavení na LKPR [zdroj: autor]

Na Letišti Praha se nachází 34 nástupních mostů s otočným podvozkem. Liší se hlavně svou možností pohybu a vybavením. Parametry a vybavení nástupních mostů mohou být následující.

- Výška rotundy a maximální sklon
- Maximální levé a pravé vytočení rotundy a kabiny
- Maximální a minimální výška prahu NM
- Pohyblivý tubus NM jednodílný, vícedílný
- Stěny pohyblivé části prosklené / plné



- Vybavení servisním, únikovým schodištěm
- Skluz na zavazadla
- Pneu podvozku plnopryžové / vzdušnicové
- Výtah
- Klimatizace NM
- PCA jednotka a její umístění (klimatizace / vyhřívání letadla)
- Počet a typ uložení PCA hadic
- Minimální šířky tubusů
- Počet GPU, délka kabelu a způsob zavěšení
- Automatické parkování
- Automatické přistavování mostu (částečné)
- Možnost „non-touch policy“
- Proti nárazová čidla (vůči motoru / druhému NM)
- Ochrana podvozku (nárazníkem, klecí)
- Kontaktní čidla NM vůči letadlu (laserová, ultrazvuková, mechanická)

NM mají také limity na vítr, obecně platí, že se most smí provozovat do rychlosti větru 100 km/h. Pokud přesáhne vítr tuto rychlost, nesmí být k letadlu přistaven z důvodů možného poškození jak letadla, tak nástupního mostu. Pokud je odstaven, zasunut a snížen, má menší plochu a větší stabilitu.

Vyrovňování vyvážení letadla probíhá pomocí instalovaného kolečka, které je opřené o trup letadla, obvykle vpravo od přístřešku. Například pokud při výstupu cestujících před letadla stoupne, instalované kolečko opřené o letadlo zaznamená pohyb a most také stoupne. Dalším bezpečnostním prvkem je tzv. „botička“, která je dána pod otevřenými dveřmi a slouží při poklesu přední části letadla, tím zatlačí dveře na botičku a NM se sníží. Zabraňuje tak poškození otevřených dveří na pantech. [30]

I nástupní mosty procházejí vývojem a využívají s postupem času nové technologie. Tím, že jejich životnost se může pohybovat okolo 20 let, prochází na většině letišť nutnou obnovou bez ohledu na výstavbu nových terminálů. Na některých letištích jsou již instalovány nástupní mosty vybavené novějšími technologiemi umožňující určitý stupeň automatizace přistavování. [15]

Dále jsou uvedené existující druhy NM s jejich specifikacemi a vhodnými způsoby využití.

## NM s otočným podvozkem

Základním typem je nástupní most s otočným podvozkem, který je vysoce flexibilní a dokáže uspořít místo na stání letadla. Takový NM obvykle přistavuje přítomná osoba. Tyto mosty mají zpravidla buď mechanické, ultrazvukové či laserové čidlo pro detekci, jak daleko se nachází práh nástupního mostu od letadla. Samozřejmostí jsou měkké části prahu a přístřešku. Na obrázku 7 je vidět ovládací panel NM, který je umístěn v hrdle NM. Ten slouží k řízení pohybů a ovládání všech prvků operátorem stojícím na jeho stanovišti. [11]

Tento druh mostů se také často vyskytuje jako duální sloužící pro širokotrupá letadla s více nástupními dveřmi. Nebo na stáních typu MARS, která obslouží buď jedno širokotrupé nebo dvě úzkotrupá letadla. V takovém případě je pak ke každému letadlu přistaven jeden NM. Tyto NM jsou většinou vybaveny antikolizními čidly, které zabraňují srážce 2 nástupních mostů navzájem. [11]



Obrázek 7 - Ovládací panel nástupního mostu [zdroj: autor]



## **Automatické NM**

Prvním stupněm je částečná automatizace spočívající v přistavení do určité vzdálenosti od letadla, obvykle se jedná o jednotky metrů. Poté si operátor NM převezme řízení a NM dopřistaví do správné polohy. Takový NM bývá zpravidla vybaven i funkcí automatického parkování na svoji základní pozici.

Dále jsou již v provozu autonomní nástupní mosty, ty se liší podle technologií přistavování. Mohou být plně autonomní nebo jsou přistavovány operátorem na dálku. Ten se pak nachází ve vzdáleném řídicím centru a na dálku přistavuje všechny mosty pomocí kamer s vysokým rozlišením a polohových čidel. Tím se rapidně snižuje počet operátorů mostů na letišti, protože netráví čas pohybem v infrastruktuře a čekáním na daném místě, ale pouze přistavují a odstavují mosty v moment žádosti od RAC nebo check-in agenta. Pořád zde ale zůstává potřeba zkušených operátorů NM, tím i lidský činitel. Ovšem i v tomto systému mohou operátoři zpravila využívat automatické přistavování NM do určité vzdálenosti od letadla a automatické parkování na výchozí pozici. [12]

Ve světě je již také plně funkční autonomní přistavování nástupních mostů, a to pomocí systémů umělé inteligence. Systém si pomocí kamer skenuje dveře letadla, hledá referenční body a k nim se přistavuje. Systém funguje i za zhoršených viditelnostních podmínek. Výhodou takových NM jsou eliminace lidské chyby a u některých systémů i nezávislost na VDGS. [13]

Nespornou výhodou obou technologií je snížení dopravní zátěže po infrastruktuře letiště a na samotném stání, možnost odstranění řídicího místa pro operátora, a tím více místa v hrdle NM například pro službu PRM či kočárky. Dále autonomní kontrola technické způsobilosti mostu, a především zkrácení časů přistavování, což vede ke zvýšení komfortu cestujících a ke zkrácení průletového času letadla. [14]

Výhodou obou zmíněných systémů je také deklarovaná možnost instalace těchto technologií na všechny druhy stávajících NM a uvedení do provozu nejen na nových NM. [16]

## **Nose-loader**

Používaným druhem nástupních mostů jsou také NM pohyblivé pouze ve směru kolmém na osu stání, tzv. „nose - loader“, viz obrázek 8. Možnost použití mostů, které se pohybují pouze od / k letadlu, může zkrátit dobu přistavování a eliminovat možnosti nebezpečí kolize s motory nebo MMP či osobami, jako se může stát při manévrech s NM na otočném

podvozku. Záleží zde jen na výšce prahu dveří a šířce trupu daného letounu či správného postavení na stojánce. Každý typ letadla musí zastavit v přesně určené vzdálenosti, aby bylo zaručeno, že hrdlo nástupního mostu bude ve správné úrovni a po připojení se budou moci bezpečně otevřít dveře. Hrdla jsou konstruována širší než u mostů na otočném podvozku, aby zde byla zajištěná určitá tolerance přejetí letadla stop příčky. Širší nástupní ústí tedy počítá s rezervou pro zastavení letadla pilotem v trochu jiné než přesné vzdálenosti. Akceptovatelná míra přejetí stop čáry se může pohybovat od 0 do 1 metru. V případě přejetí nastaveného limitu napíše systém VDGS „Too Far“ a je nutné tahačem zatlačit letadlo zpět na požadovanou pozici. Proces přístavení takového NM se také dá jednodušeji automatizovat, například podle výšky typu letadla (je potřeba brát v úvahu aktuální naložení a vyvážení letadla).

Nevýhodou naopak může být menší rozmanitost typů letadel na stojánce, protože umístění předních dveří stále ve stejné pozici vede k větší prostorové náročnosti stání. U delších typů, kde jsou kladeny větší nároky na délku stojánky a zároveň je za stáním nedostatek šířky pro pojezdovou dráhu nebo pruh, mohou být některé prodloužené typy letadel vyloučeny. Toto je například klíčové u prstu D na Letišti Praha, kde je nutné, aby Boeingy 737 a delší typy letadel zajížděly hlouběji do stojánky a nepřesahovaly ocasionální částmi letounu mimo stání, za kterým se nachází pojezdový pruh. [17]



Obrázek 8 - Nástupní most pohyblivý jen kolmo k ose stání na letišti v Oslu [zdroj: autor]



## Další typy

Další typy nástupních mostů mohou být, NM pro horní palubu, který obvykle doplňuje dvojici mostů s otočnými podvozky. NM typu „T“ jsou s tzv. „nose - loaderem“ vhodným řešením na letištích s nepříznivými povětrnostními podmínkami, protože mají větší stabilitu. Jsou tak odolnější a mohou být provozovány s většími limity větru. Posledními, nepříliš používanými NM, mohou být NM na zadní dveře, které mají konstrukci tubusu vedenou přes křídlo. Nebo pozemní tubusy, které jsou vhodné jen pro menší letiště s přízemními odletovými branami. [17]

## 1.7 Identifikace nedostatků současného stavu

Identifikace a popsání současných nedostatků je důležitou částí pro výběr oblasti řešení. V podkapitolách jsou uvedeny nedostatky, které se staly i motivací této práce.

### 1.7.1 Personální nedostatky

V současné době je největším problémem problém personální. Najít kvalifikované lidi, kteří mají řidičský průkaz skupiny D a hlavně dostatečné profesní zkušenosti, je těžké. Zejména proto je potřeba uvažovat o optimalizaci provozu letištních autobusů a operátorů mostů. Jak již bylo zmíněno, v dnešní době jsou tyto skupiny odděleny, ale pouze na dané směně, jinak mají všichni oprávnění pro přistavování NM i řízení letištních autobusů. To zvyšuje potřebný počet řidičů / operátorů do celkového stavu zaměstnanců se všemi potřebnými kvalifikacemi. Cílem je zjistit, zda nějaké nastavení procesů může být výhodnější než současné. Je také zapotřebí se zabývat otázkou vytíženosti zaměstnanců na směně, rozdělení či spojení daných skupin a načasováním odstavení a přistavení mostu.

### 1.7.2 Blokace OLK

Další problém je blokace OLK autobusem, který čeká či odvezl cestující na nesrotovaný přílet či odlet u kontaktního stání. Toto je spíše problém infrastruktury, ve které nejsou u většiny kontaktních stání autobusové zastávky. Proto musí autobus čekat tak, jako na obrázku 9. Problém může nastat v provozních špičkách, kdy se nesrotované přílety mohou sejít například na dvou stáních vedle sebe a u přízemních odletových bran bude také probíhat nástup cestujících. Tím vznikne pouze jeden jednosměrný pruh, který má tedy omezenou propustnost. Sníží se tím i bezpečnost provozu při dávání přednosti protijedoucím vozidlům nebo omezeným prostorem pro průjezd tahačů s nákladem, který ne vždy drží přesnou stopu za tahačem. Zde je řešením přebudování infrastruktury, v současné době mají

autobusovou zastávku stání číslo 1, 10, 17, 22. U některých vznikla při modernizacích, u dalších může být v současnosti prostorový problém neřešitelný, aby stání mohlo dále obsloužit veškeré typy letadel i zachovat průjezdy pro odbavovací techniku. Při plánované výstavbě jsou již autobusové zastávky uvažovány u všech kontaktních stání letadel a je s nimi v prostorové konfiguraci stojánky počítáno.

Blokace autobusem vznikají i při úkolech, kdy pracovník, který je na směně jako řidič autobusu, vypomáhá s přistavováním nástupních mostů a dopravuje se na místo přiděleným autobusem. Toto lze eliminovat buď přidělením osobního automobilu pro daný úkol nebo přenecháním přistavení nebo odstavení mostů jen skupinám, které jsou pro to určeny. Ty pak musí být dostatečně naplánovány, aby zvládly pokrýt i špičkový provoz. Nevýhodou může být menší využití zaměstnanců v průběhu směny.



Obrázek 9 - Letištní autobus čekající na OLK na pasažéry z nesrotovaného příletu

[zdroj: autor]

Problematika prostoru odbavovacího stání je tedy zásadní pro plynulý proces odbavení, avšak je silně limitována již danými prostorovými možnostmi letiště. Autobusová zastávka je často omezena a určena pevnou částí nástupního mostu. Pokud by se vybuodovala vedle schodiště v pohotovostním stání, bude velmi omezovat prostor pro průjezd techniky potřebné





k odbavení letu. V souvislosti s tímto je také potřeba myslet na zachování volného průjezdu cisterny LPH, který je vždy nutný z hlediska bezpečnosti.

Řešením, jak zlepšit dopravní propustnost na komunikacích kolem stání letadel, je zákaz příjezdu autobusem v případě, že nebudou přepravováni cestující nebo posádka do jiného terminálu. Takové omezení by se dalo stanovit ve směrnici dopravního řádu.

## **1.8 Shrnutí kapitoly**

V úvodní kapitole bylo popsáno rozdělení týmu zajišťující provoz autobusů a NM. Byly uvedeny jejich postupy a popsáno vybavení, s kterým pracují. Zmíněn byl dopravní řád Letiště Praha a podrobněji popsány NM a jejich typy, které se používají v Praze i jinde ve světě. Na konci kapitoly jsou popsány nedostatky současného přístupu. Jako hlavním cílem, kterým se bude tato práce zabývat, byla vybrána optimalizace počtu personálu pro operace s NM.



## 2. Specifikace problému a postup řešení

Zásadní otázkou je, co optimalizovat. V rámci této práce je úkolem získat co nejmenší počet operátorů NM pro potřeby daného letového řádu. Vzhledem k zadání práce a poměrům na Letišti Praha byla vybrána možnost vytvoření modelu určeného k simulacím na stávajícím systému fungování týmu PCL.

Obecně lze říci, že cílem vytvořeného modelu je získat co nejmenší potřebný počet zaměstnanců bez zpoždění provedení úkolů. To při vytváření modelu znamená, že se nechá jakási bezedná kapacita zdrojů a při dané zátěži, je pak podle výstupních dat ze simulace zřejmé, kolik zdrojů je potřeba. Zdrojem kapacit může být například operátor + auto nebo řidič + autobus. Požadavky na provoz takových dvojic vyplývají z dat, ať již uskutečněného nebo budoucího letového řádu. V tomto případě také víme, že při vykonání úkolu je buď auto nebo autobus obsazen vždy jedním agentem. Operování s NM a přeprava cestujících spadá pod Letiště Praha. Je jeho vybaveností a fungující infrastrukturou. Proto je obecně vnímáno, že jakékoliv zpoždění by nemělo vzniknout z nedostatku kapacit na straně letiště. Toto je zřejmě dáno nastavením vysoké úrovně firemní kultury a snaze poskytovat kvalitní služby. V opačném případě se nedostatky snaží adekvátně odstranit, protože i letiště samotné bojuje o své zákazníky, kteří jsou potřeba pro zdravé ekonomické výsledky.

Cílem je tedy z hotového modelu dále vyzískat optimum zaměstnanců na směně, aut a autobusů pro aktivní provoz. Neznamená to ale potřebný celkový počet techniky na letišti, protože je potřeba vzít v úvahu i údržbu strojů a nenadálé záležitosti, jako mohou být nehody či poruchy.

Výše jsou zmíněni zaměstnanci či konkrétně dvojice, operátor s automobilem a řidič s autobusem, ale po řádném upravení modelu se by se v budoucnu dal analyzovat například počet ramp control supervisorů nebo dalších pracovníků technického odbavení handlingu či provoz různých MMP.

Model se dá tvořit pomocí dvou způsobů, analytického nebo simulačního. Analytické modely jsou vhodné pro řešení problému s nižší úrovní detailů, tedy pro modely makroskopické s menším počtem vstupních hodnot. Umožňují vytvořit skutečné systémy nebo procesy, které lze zapsat formou matematických rovnic a formulací. Většinou jsou to modely deterministické. Simulační modely se používají pro komplexnější úlohy a odráží strukturu namodelovaného systému. [21] [40]



Výhodou simulace je cena, rychlost a bezpečnost oproti možnosti vybudovat skutečný systém ihned. Vůči analytickým modelům má výhodu srozumitelnosti, upravitelnosti a menšího zjednodušení. Celkově je tedy bezpečnější a jednodušší pro pochopení a případné další zpracování. Samotný pojem simulace znamená spuštění konkrétního vytvořeného modelu a sledování jeho chování. [24] [27] [28]

Na trhu existují různí dodavatelé letištních simulací. Někteří umožňují simulovat provoz veškeré odbavovací techniky včetně provozu autobusů. Takovým poskytovatelem může být například globální společnost ARC (Airport Research Center) se sídlem v Německu, která poskytuje simulační software CAST i ohledně pozemního odbavení. Zakázky na simulace nebo nákup licence programu jsou velice nákladné. [37] [38] [21]

Díky spolupráci s LAMBDA, Laboratoří Aplikované Matematiky v Dopravě a Logistice, bylo rozhodnuto, že model vznikne v programu AnyLogic. Tento program byl vybrán z důvodu jeho srozumitelného uživatelského prostředí a dostupnosti daného softwaru pro studijní a výzkumné účely. K výběru také přispěla možnost vizuální prezentace simulovaného provozu na odbavovacích plochách. Další jeho přednosti jsou popsány v podkapitole 3.1, kde jsou již řešeny konkrétní důvody v souvislosti s provozem operátorů NM. [41] [42]



### 3. Simulační model operátorů NM a řidičů autobusů

Tato kapitola obsahuje představení programu AnyLogic a následnou tvorbu celého modelu včetně jeho grafické a logické části. Je zde uveden proces nastavení jednotlivých parametrů a vysvětleno fungování modelu. Na konci kapitoly jsou uvedena výstupní data.

#### 3.1 Program AnyLogic

Za účelem simulace procesů operátorů NM byl tak vytvořen model jejich provozu na stávající infrastrukturu komunikací. Jak již bylo uvedeno, celý model byl vytvořen pomocí programu AnyLogic od společnosti The AnyLogic Company. Tento program má možnost simulovat nejen veškeré dopravní a logistické procesy, ale také i různé chování zákazníků a další měkké problémy. Jednotlivé modely mohou být tvořeny 3 různými metodami, které AnyLogic nabízí. A to systémovou dynamikou, modelováním diskretních událostí nebo multiagentním modelováním, což je moderní a pružný způsob simulace od nižšího do vyššího stupně abstrakce. Tato poslední varianta je vhodná právě pro tuto práci, kde je nutné v modelu simulovat více událostí najednou, přičemž tyto události mají na sebe vliv. [23] [43] [44]

AnyLogic nabízí knihovny, pomocí kterých lze vytvářet logické a grafické modely různých zaměření. Pro účely tohoto modelu byla využita knihovna silničního provozu „Road Traffic Library“, agentů a analýz společně s procesní knihovnou „Process Modeling Library“, která je důležitá především pro doplnění logického modelu. [25]

#### 3.2 Zahrnutí části provozu autobusů

Práce se zaměřuje především na operátory nástupních mostů, ale jelikož je stávající systém týmu PCL na Letišti Praha komplexní, bylo rozhodnuto, že se vytvoří model provozu jak operátorů NM, tak letištních autobusů. Aby bylo možné tyto procesy dále simulovat buď odděleně nebo společně.

Kvůli provozu autobusů bylo nutné do dopravní sítě operátorů NM doplnit další body. Prvním jsou nástupní místa cestujících do autobusů z terminálů 1 a 2. Kvůli limitacím softwaru bylo rozhodnuto, že není nutné určovat přesnou odletovou bránu, v daném terminálu jsou totiž poblíž sebe, autobus i tak ujede velmi podobnou vzdálenost a čas nástupu cestujících je tak nestálý, že malá nepřesnost dopravní cesty od jednotlivých odletových bran je oproti délce nástupu minoritní záležitost. Navíc data o konkrétních odletových branách nebyla k dispozici, proto se tedy v modelu rozlišují odletové brány pouze na terminál 1 a 2. Každý z nich má dostatečnou kapacitu pro zastavení autobusů k nástupu cestujících.



Dalším bodem byl výstup cestujících do terminálů 1 a 2, které se nachází pod prsty B a C. Nedílnou součástí je také depo, kde parkují autobusy v bodě, kdy nejsou využity, ale zároveň jsou připraveny k použití. Posledními body v rozšířené infrastruktuře jsou všechna odlehlá stání letadel v areálu sever.

### 3.3 Data a základy pro tvorbu modelu

Jak již bylo uvedeno, nejlepším měsícem v historii letiště, co do počtu odbavených cestujících, byl srpen 2019 s 1,997 milionu cestujícími. Z tohoto měsíce byl vybrán modelový den 30. 8. 2019, ze kterého na základě smlouvy o poskytnutí údajů pro studijní účely byla Letištěm Praha poskytnuta data potřebná k vytvoření a validaci simulačního modelu provozu operátorů nástupních mostů a letištních autobusů. [3]

Proces vytváření modelu byl postupný. Počáteční podmínky jako rychlost pohybu a doby úkolů byly nastaveny jednoduše a dále se zpřesňovaly na základě získaných dat od Letiště Praha i měření přímo v provozu.

Základními pravidly modelu jsou, že kontaktní stání s NM, které jsou označeny některými čísly od 1 do 31, se zpravidla přistavují operátorem NM a jezdí k nim v automobilu. Odlehlá stání jsou označena čísly 50 až 75 a vždy k nim jezdí autobus. Přičemž některá čísla jsou opět z posloupnosti vynechána. [19]

Použité parametry:

- dopravní síť a stání letadel,
- přízemní odletové brány terminálů,
- místa pro výstup cestujících do terminálů,
- umístění aut a autobusů,
- vzdálenosti mezi jednotlivými body,
- rychlosti pohybu automobilů a autobusů,
- doby úkolů a
- letový řád.

Autobus i auto si vždy po přidělení pracovní úlohy samo volí optimální trasu a po posledním úkolu se vrací do depa. Na této cestě jsou však považovány za volné a smí jim být přidělen nový úkol.



Reálný provoz je stochastický. Bylo konzultováno, že data by se dala získat i z deterministického modelu, ale tím, že multiagentní modelování umožňuje vzájemnou interakci mezi agenty je model stochastický. Interakcí mezi agenty je již jejich pohyb po OLK, při kterém se vzájemně ovlivňují například rychlostmi a přednostmi, tak jako v reálném provozu. Dále je zde zavedena proměnná doba trvání úkolů či čekání před pojezdovou drahou na základě naměřených či získaných dat.

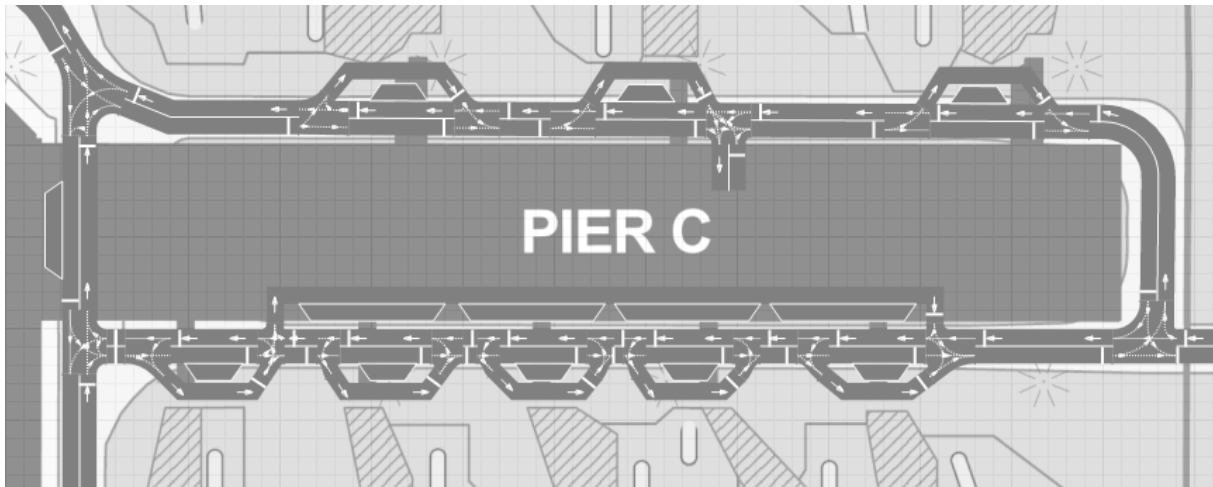
### **3.4 Grafický a logický model**

V dalších podkapitolách jsou podrobně popsány dvě důležité části, grafický a logický model. Následně jsou vysvětleny funkce a účel jednotlivých agentů, kteří jsou pro fungování modelu velice důležití.

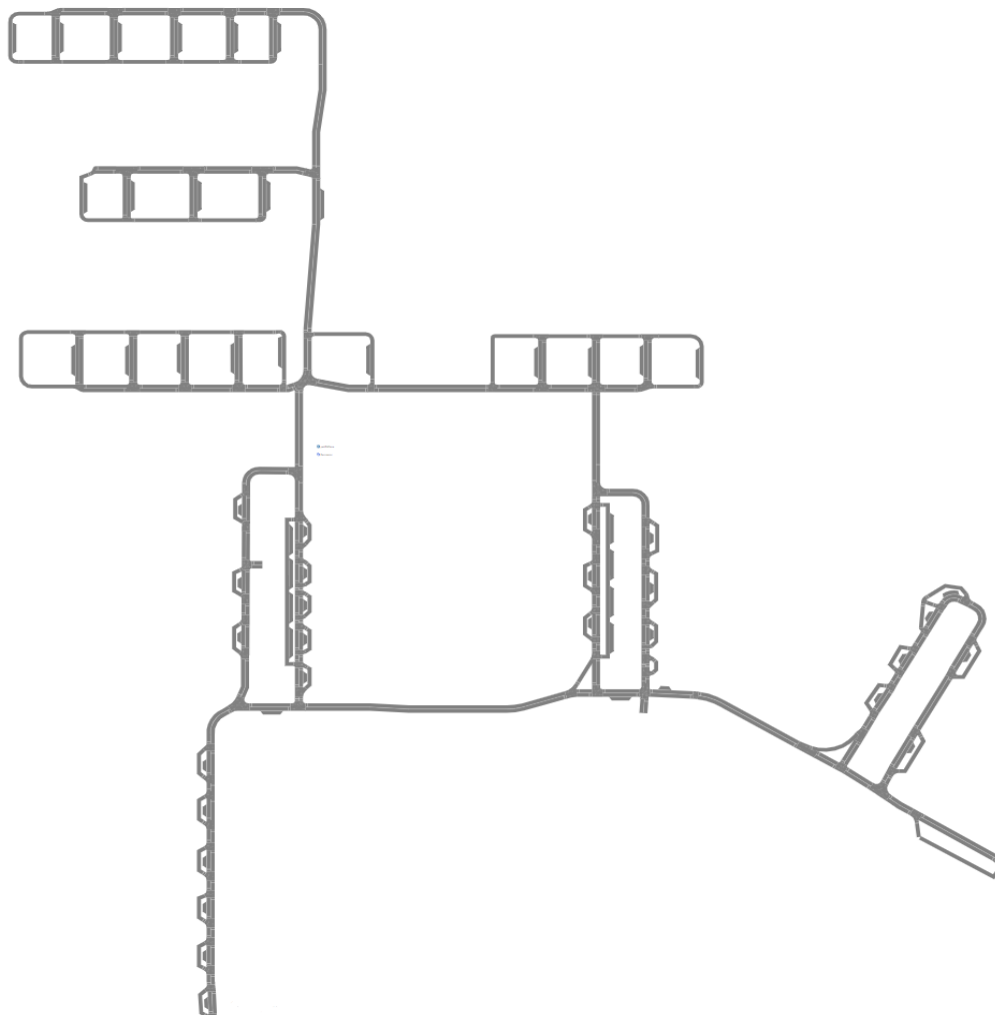
#### **3.4.1 Grafický model**

Grafický model byl vytvořen hned ze začátku tvorby modelu. Vymezuje oblast infrastruktury, na které se celý provoz odehrává. Lze z něj získat dobré povědomí o rozsahu provozu. Slouží pro představu rozpoložení infrastruktury a při simulaci lze pozorovat pohyb a činnosti všech agentů jezdících po infrastruktuře s jejich vzájemným vlivem.

Infrastruktura byla vytvořena na podkladu ICAO Aerodrome Chart Letiště Praha, který je dostupný v měřítku na stránkách Řízení letového provozu. Program je tak po grafickém sesouhlasení měřítek velmi přesný a odpovídá realitě v jednotkách metrů, což je při silniční infrastruktuře dostačující. Na obrazovém podkladu byly pomocí knihovny silničního provozu vytvořeny cesty, křižovatky, zastávky a stání se stop čarami, které přesně kopírují daný podklad, viz obrázek 10. Obrazový podklad přímo v modelu také slouží pro velmi dobré zorientování v podobě Letiště Praha a pochopení nutných dopravních procesů. Dále je na obrázku 11 zobrazena celá infrastruktura OLK areálu Sever včetně doplněných komunikací v okolí všech stání, které slouží pro účely modelu, zajíždění autobusů na stání a čekání automobilů u NM.



Obrázek 10 - Detail grafické části a obrazového podkladu infrastruktury kolem prstu C



Obrázek 11 - Síť obslužných letištních komunikací areálu Sever v grafické části modelu



Další objevující se obrázky nebo výstřižky přímo z programu AnyLogic zároveň slouží jako prvotní seznámení s uživatelským rozhraním tohoto programu a mají pomoci k následnému lepšímu pochopení a snadnějším začátkům úprav s daným modelem při jeho dalším rozvoji.

### **Místa v síti**

Jak je zřejmé z přechozích i následujících obrázků, práce a vytvořený model se zabývá pouze provozem v areálu Sever.

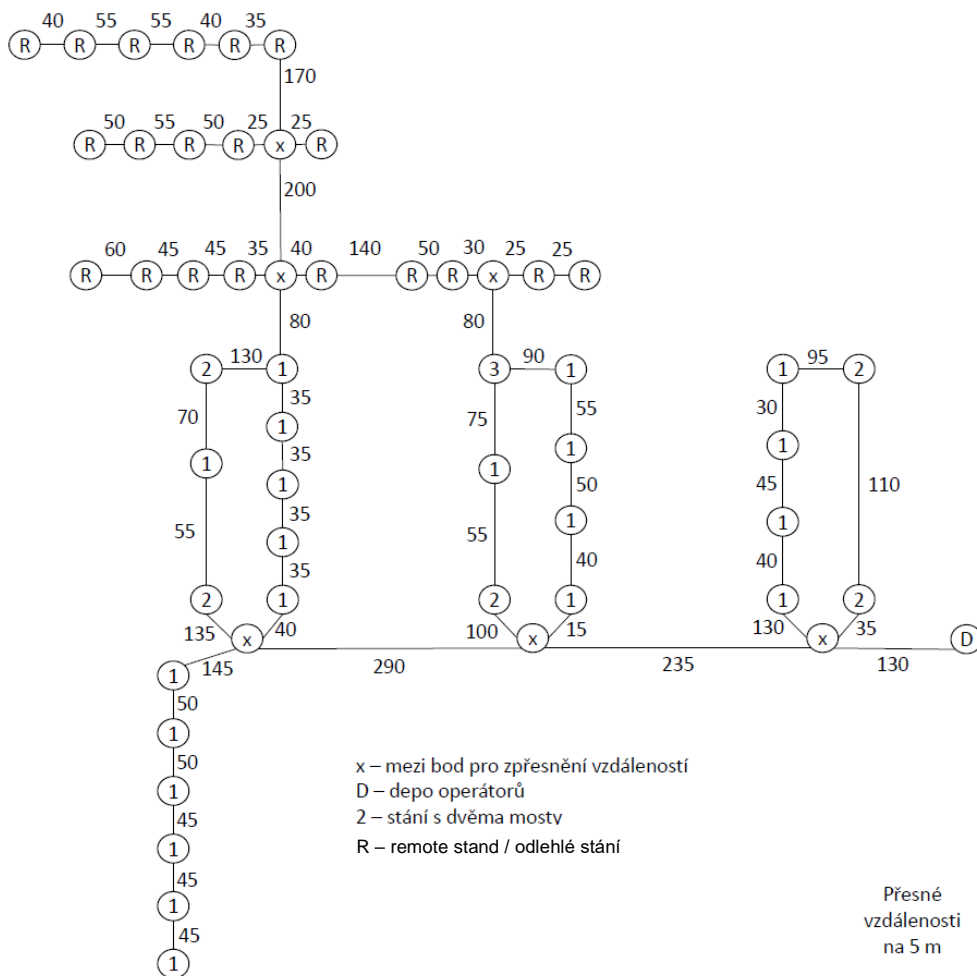
Na Letišti Praha se sice ještě nachází areál Východ a Jih, avšak v těchto částech kontaktní stání s NM nejsou a řidiči autobusů do těchto částí letiště zajíždějí zcela výjimečně. Na terminálu 3, který se nachází v areálu Jih, se výjimečně může objevit objednaný let, na který je potřeba dopravit cestující z veřejných terminálů. A v areálu Východ je taková situace ještě vzácnější a to například při zpoždění letu širokotrupého letadla a nemožnosti jeho umístění u kontaktních stání z kapacitních důvodů. Proto tyto areály letiště nebudou modelovány.

V infrastruktuře areálu Sever se nachází následující důležitá místa pro přepravu cestujících a provoz nástupních mostů.

- Autobusové depo (1 centrální)
- Odlehlá stání
  - 21 včetně alternativních u T1 a T2
- Nástupní mosty
  - 27 stání s mosty
  - 34 pohyblivých mostů
  - 31 použitelných stání letadly při maximální obsazenosti včetně alternativních stání
  - 28 schodišť pro cestující od nástupních mostů
  - 32 označených odletových bran
  - 19 přízemních odletových bran [19] [20] [39]

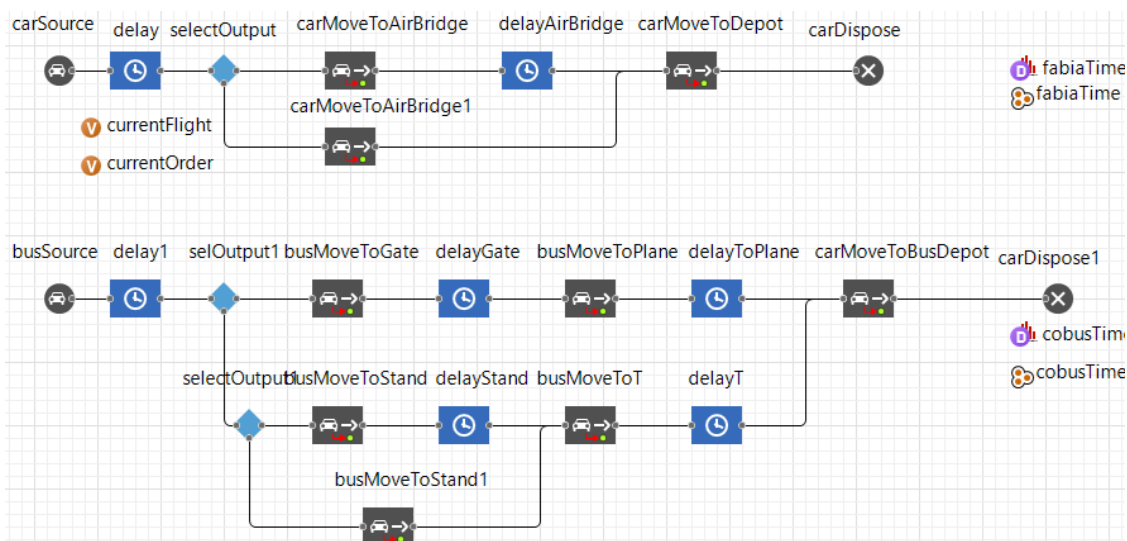
Dále je uveden obrázek 12 s grafem přímých vzdáleností, který sloužil pro prvotní výpočty, tvorbu modelu a také jako schéma letištní infrastruktury s daty o NM a jejich poloze. [39]





Obrázek 12 - Graf přímých vzdáleností

### 3.4.2 Logický model



Obrázek 13 - Ukázka logického modelu z programu AnyLogic



Na obrázku 13 je zobrazen logický model, tak jak je sestaven přímo v modelu AnyLogic.

#### 3.4.2.1 Bloky

Logický model se skládá z navzájem propojených bloků s různými vlastnostmi. Každý blok má několik přednastavených funkcí, ve kterých se nastavují vstupní parametry a chování agentů v systému. Dále jsou popsány jednotlivé bloky, které byly použity v tomto logickém modelu. Do nich lze zadat statická data, pokud jsou po celou dobu simulace stejná nebo se vstupy mohou dynamicky měnit podle zadaných podmínek.

##### **Car Source**

Blok source se nachází většinou na začátku modelu a vstupují skrz něj do procesu v požadovaném čase agenti, kteří jsou reprezentováni buď automobilem nebo autobusem. Ti si nesou v sobě více informací načtených z databáze, podle kterých se pohybují v infrastruktuře. Místo vstupu může být určeno buď staticky nebo dynamicky na základě zapsaných funkcí. V bloku source se nastavují všechny druhy rychlostí a také například délka agenta čili aut, anebo autobusu. [32]

##### **Select Output**

Tento blok rozhoduje o dalším směřování agenta v logickém modelu, podle zadaných podmínek. Příkladem v tomto modelu může být jednoduchá podmínka, zda agent jede plnit úkol na přílet či k odletu letadla. [31]

##### **Delay**

Blok zpoždění je důležitý pro stochastickou vlastnost modelu. Obvykle je blok použit pro zdržení operátora neboli vykonání úkolu na daném místě v infrastruktuře. Zdržení jsou načtena náhodně v určitých mezích a konkrétně zde je využito PERT rozdělení, které lze ovlivnit hodnotou minimální, maximální a nejpravděpodobnější. PERT rozdělení je spojitě a ohraničené na obou stranách právě minimálními a maximálními hodnotami. [26]

##### **Car Move To**

Blok MoveTo zajišťuje a určuje, kam má daný agent pokračovat. Místo, kam se vydá, je automaticky vybráno z kolekce míst, podle načtených dat z databáze daného agenta. Cílová místa tohoto bloku mohou být parkoviště, autobusová zastávka, stop čar, anebo konkrétní úsek komunikace. [33]



## Car Dispose

Je posledním blokem v modelu, pokud je ho dosaženo, agent z modelu okamžitě mizí. Na tomto bloku jsou zapsané další důležité funkce pro vyhodnocování, jako například zápis délky stráveného času agenta v infrastruktuře, tedy doby, kdy byl nedostupný pro jiné pracovní úlohy. [34]

### 3.4.2.2 Agenti

## Flight

Agent Flight je nejdůležitějším agentem v modelu. Tato populace agentů je vytvořena při spuštění simulace a tito agenti si v sobě nesou veškeré informace z letového řádu, které využívají v průběhu jejich působení v simulaci. Každý přílet či odlet má přiděleného svého agenta, který se v simulaci objeví až v požadovaný čas pomocí funkce InjectVehicle. Pokud je pro let z nějakých důvodů více agentů se stejnými vlastnostmi, nastaví se tento požadavek pomocí parametru quantity. Pokud je potřeba například jak auto, tak autobus pro cestující či posádku, vytvoří se k danému letu agent navíc s jinými parametry. Obecně tedy agent Flight zahrnuje parametry, funkce a dynamické události sloužící ke spuštění procesu každého jednotlivého agenta. [35]

Jeho parametry jsou:

- id, vehType, flightNumber, stand, terminal, arrTime, quantity, arrDep – základní údaje z databáze
- standDep, timeBefore – sloužící pro informaci o odletové bráně, ke které má autobus dojet a včasný vstup agenta do modelu před příletem
- parkingIndex – nese si index z kolekce míst odkud má agent vyjet a kam se má po splnění úkolu vrátit

Jeho funkce jsou:

- getParkingIndex – určí index autobusu a autu, odkud mají do simulace vstoupit
- getTimeBefore – určí jak dlouho před příletem či odletem letadla vstoupí agent do modelu, tuto hodnotu získá z vedlejší databáze dojezdových časů podle typu vozidla, terminálu a stání kam se má dostavit

Jeho dynamické události jsou:



- InjectVehicle – vloží agenta Vehicle do simulace na požadované místo v logickém modelu a určí jeho pořadí, pokud je jejich počet větší než 1
- EnterOperator – vloží imaginárního agenta (operátora) do modelu, který se následně pohybuje s daným vozidlem, slouží pouze pro výpočet časů mimo fyzickou přítomnost vozidla v simulaci

## Vehicle

Agent Vehicle znázorňuje vozidla pohybující se po infrastruktuře grafického modelu i v logickém modelu. Pro přehlednost byla zvolena jedna populace agentů Vehicle, která představuje veškeré dopravní prostředky. Tento agent se dělí na další dva typy.

Agent Fabia je rozšířením agenta Vehicle se specifickými vlastnostmi a vstupuje do modelu na základě dynamické události agenta Flight.

Agent Cobus je také rozšířením agenta Vehicle se specifickými vlastnostmi a vstupuje do modelu na základě dynamické události agenta Flight. Specifické vlastnosti jsou například typ vozidla a jeho barva. [35]

Všichni agenti v sobě nesou proměnné důležité buď pro chod simulace nebo její výpočty, a to:

- myFlight – předá informace do proměnné currentFlight
- order – nese informaci o jeho pořadí, předá ji do currentOrder
- timeInInfrastructure – zapisuje do sebe, jak dlouho je již v simulaci
- timeAux – uchová čas, jak dlouho jel autobus k odletové bráně

## Main

Agent Main slouží jako prostředí pro vytvoření grafického i logického modelu. Navíc jsou v něm vloženy funkce s dynamickou událostí pro dávání přednosti letadlům jedoucích po pojezdové dráze. Zastavení vozidla a dání přednosti je nastaveno na 20procentní pravděpodobnost s časem čekání od 10 do 60 vteřin. Tyto hodnoty byly nastaveny podle změřených událostí přímo na LKPR v době dopoledního špičkového provozu. Dynamická událost umožní vozidlu po náhodně vygenerovaném čase dále jet. Dále mnoho prvků sbírajících a ukládajících data z průběhu modelu, která jsou pak využita pro tvorbu histogramů přímo v tomto prostředí nebo pro další práci s těmito daty například v Excelu. Příkladem jsou Data Set, Histogram Data nebo Plot. [35]



Také se zde nacházejí všechny kolekce. Ty představují skupiny objektů, prvků. Některé kolekce mohou mít duplicitní prvky, jiné ne, některé jsou v pořadí nebo mohou být neuspořádané. Kolekce se používají k definování datových objektů, které seskupují více prvků do jedné skupiny. Dále se používají k ukládání, načítání a manipulaci s daty. Obvykle představují datové položky, které tvoří přirozenou skupinu, jakou může být fronta nebo telefonní seznam. [36]

V tomto modelu jsou za účelem výběru správného místa vytvořené různé kolekce míst, jakési malé databáze, z kterých na základě různých podmínek vybírají agenti své správné místo. Několik vytvořených kolekcí obsahuje například místa vyložení cestujících z přiletu do terminálu 1 nebo terminálu 2. Obsahuje místa vstupů automobilů a autobusů do simulace, které jsou vybírány dle indexů uložených v parametru `parkingIndex` nebo celé databáze kontaktních a odlehlých stání na Letišti Praha, které jsou číselně seřazené a přiřazené na konkrétní místo v infrastruktuře. Jedná se tedy o autobusové zastávky nebo stop line, vyznačené na kontaktních stáních. Pokud v číselné posloupnosti chybí dané stání je tato mereza označena výrazem „null“, aby nenarušila posloupnost a číselný název stání.

### **3.5 Vstupní parametry**

Vstupními parametry je letový řád ze dne 30. 8. 2019, který obsahuje řadu údajů o daném odbavení letadla. Parametry jsou detailněji popsány v databázi modelu.

#### **3.5.1 Databáze modelu**

Hlavním prvkem pro simulaci je databáze letů, které jsou přejaty z uskutečněného letového řádu. Na obrázku 14 je v prvním sloupci pouze číselné označení `id`, které slouží pro vnitřní účely programu. V druhém sloupci je uvedeno, zda byl využit autobus nebo automobil. Dále je uvedeno číslo letu a stání, na kterém byl let odbavován. V dalších sloupcích je uveden terminál, ve kterém byly cestující odbavováni, reálný čas zjetí na stojánku nebo čas vytlačení letadla a množství autobusů nebo automobilů, které bylo potřeba pro odbavení daného letu a zda se jednalo o přilet či odlet.

	id	car_bus	flight_number	stand	terminal	arr_time	quantity	arr_dep
1	0	1	QS1185	22	1	00:11:00	3	<input checked="" type="checkbox"/>
2	1	0	QS1286	10	1	00:11:00	1	<input type="checkbox"/>
3	2	0	300153	12	1	00:17:00	1	<input type="checkbox"/>
4	3	0	QS2631	11	1	00:17:01	1	<input checked="" type="checkbox"/>
5	4	0	QS1240	14	1	00:19:00	1	<input type="checkbox"/>
6	5	1	QS2833	3	1	00:30:00	2	<input checked="" type="checkbox"/>
7	6	0	QS2514	1	1	00:32:00	1	<input type="checkbox"/>
8	7	0	QS1117	29	2	00:34:00	1	<input checked="" type="checkbox"/>
9	8	0	QS1055	31	2	00:37:00	1	<input checked="" type="checkbox"/>
10	9	0	SU2017	15	1	00:38:00	1	<input type="checkbox"/>
11	10	1	QS1159	9	2	00:47:00	2	<input checked="" type="checkbox"/>
12	11	1	QS2875	27	1	00:49:00	2	<input checked="" type="checkbox"/>
13	12	0	QS1165	17	2	00:54:00	1	<input checked="" type="checkbox"/>
14	13	0	QS1137	16	1	01:00:00	1	<input checked="" type="checkbox"/>
15	14	0	QS1222	11	1	01:15:00	1	<input type="checkbox"/>
16	15	1	QS1258	22	1	01:34:00	2	<input type="checkbox"/>
17	16	0	QS1258	22	1	01:34:00	1	<input type="checkbox"/>
18	17	0	EZY9007	10	1	02:04:00	1	<input checked="" type="checkbox"/>
19	18	1	QS1113	1	2	02:16:00	3	<input checked="" type="checkbox"/>
20	19	1	QS1153	1	2	02:20:00	2	<input checked="" type="checkbox"/>
21	20	0	QS1193	11	1	02:22:00	1	<input checked="" type="checkbox"/>
22	21	0	EZY3068	10	1	03:08:00	1	<input type="checkbox"/>
23	22	1	QS4162	26	1	03:47:00	2	<input checked="" type="checkbox"/>
24	23	0	QS1100	18	2	04:10:00	1	<input type="checkbox"/>
25	24	1	QS1107	12	2	04:16:00	3	<input checked="" type="checkbox"/>

Obrázek 14 - Příklad databáze letů z programu AnyLogic

Vždy se simuluje jeden celý den, proto není potřeba k času uvádět datum, nemá na výsledky simulace vliv. Dále jsou časy příjezdu na stání a vytlačení letadla uvedeny v celých minutách tak, jak byla data předána. Pro účely modelu jsou v případě identických časů pozměněny časy maximálně o několik vteřin, to však nemá na výsledky simulací vliv.

### 3.6 Popis fungování modelu

V dalších podkapitolách je popsán a vysvětlen proces operátora v modelu, který se skládá z následujících částí.

#### 3.6.1 Načtení modelu a výjezd agenta

Při spuštění modelu jsou z databáze načteny všechny parametry zároveň a s nimi vytvořena populace agentů. Všichni agenti tedy vznikají již v počátku simulace, ovšem do provozu zasáhnou až podle daného času z databáze. Zároveň jsou načteny i parametry z databáze dojezdových časů, které přesně předsunou vyjetí agenta, anebo se toto vyjetí určí paušálně v několika daných případech.



### 3.6.2 Trasa vozidla

Po vzniku agenta, v tomto případě jednoho ze dvou typů vozidel, se agent Vehicle vydává na cestu za úkolem. Agent si vždy automaticky vybírá nejkratší cestu do cíle. Mimo to je trasa definována vstupním bodem, to je vždy konkrétní úsek / odbočka silnice, a místem vykonání pracovní úlohy. Více o nastavených rychlostech jízdy je v následující kapitole 2.7 Nastavení rychlostí vozidel.

### 3.6.3 Úkol agenta

Po příjezdu na místo úkolu vozidlo zastaví buď před stop čarou v případě automobilu u kontaktního stání nebo na autobusové zastávce v případě autobusu. Ty se vyskytují na odlehlých, ale i na kontaktních stáních z důvodu nesrotovaných letů a případné výpomoci řidičů autobusů s přistavováním NM. Na těchto místech vozidlo stojí a čeká až uplyne doba provedení úkolu. Více o nastavených dobách úkolů je v následující kapitole 2.8 Nastavení dob úkolů.

### 3.6.4 Návrat agenta

Po dokončení úkolu je agent volný pro další úkol nebo se vrací na místo vzniku. Vozidlo se vrací na konkrétní silnici (parkoviště) a operátor poté na denní místnost, kde mu může být paušálně připočtena doba, po jakou dobu na místnost docházel. V tomto modelu ale není důležitá cesta návratu, neboť se čas úkolu agenta odečítá po dokončení přistavení či odstavení NM z důvodu zjištění času, který byl nutně využit pro splnění úkolu. Čas po návratu je zbytečný, neboť má operátor již úkol hotov a je volný pro další, ten se však počítá od znovu. Model je ovšem vytvořen k tomu, aby se data mohla snadno získat i po úplném návratu z úkolu, případně ještě přičtením dodatečného času nutného pro různé činnosti. Těmi může být třeba návrat RAC na denní místnost a zaslání dokumentu o naložení letadla z počítače, neboť tato činnost musí být provedena ihned po odletu.














## 3.7 Nastavení rychlostí vozidel

V simulačním programu jsou již přednastavené druhy rychlostí a zrychlení. Například hodnota zrychlení je pro všechna vozidla nastavena na  $1,8 \text{ m/s}^2$ . Tato hodnota byla shledána jako nižší pro automobil a vysoká pro autobus. Proto se po několika iteracích akcelerace aut nastavily na  $2,2 \text{ m/s}^2$  a u autobusu byly poníženy o  $1 \text{ m/s}^2$ . U autobusů tak bylo docíleno, i díky dále popsaným úpravám, menší průměrné rychlosti jízdy a zároveň větší plynulosti a komfortu pro cestující, což je žádané. V programu jsou také přednastaveny hodnoty



zpomalení, které byly ponechány. Dále je nastavena maximální neboli preferovaná rychlost vozidel, a to na dopravním řádem určenou hodnotu 30 km/h. Preferovaná rychlost znamená, že na ni vozidla zrychlují a udržují ji na přímých úsecích. Poslední nastavenou hodnotou je počáteční rychlost. Ta je nastavena na 0 km/h a používá se při objevení vozidla v modelu po zastavení na stop příčce či autobusové zastávce. Výhodou simulačních modelů je, že se tyto rychlosti dají snadno měnit a pozorovat, jak takové změny ovlivní výsledky, a tím potřeby na zdroje. [32]

Nastavení rychlostí vozidel je klíčovou záležitostí a z důvodů absence zaznamenaných dat z reálného provozu poskytnutých Letištěm Praha, byly v reálném provozu změřeny úseky, za jak dlouhou dobu stihne ujet vozidlo vzdálenost mezi různými body. Těmito body byly zpravidla depo a některá odletová brána, odletová brána a stání letadla, anebo stání letadla a výstup cestujících do terminálu. Po zjištění ujetých vzdáleností byly z těchto údajů vypočteny rychlosti jízd autobusů. Následně byla vypočítána průměrná rychlost všech dvou desítek změřených jízd, která má hodnotu 17,28 km/h. Pokud jsou takové úseky v simulaci změřené pomocí funkce zjištění ujeté vzdálenosti a času pohybu po daném úseku, jsou získány hodnoty okolo 17 km/h. Toho bylo dosaženo zpětnou úpravou maximální rychlosti autobusu na 25 km/h a snížení zrychlení na 0,8 m/s. Pokud by zůstaly v platnosti původní hodnoty simulačního modelu, průměrná rychlost byla lehce nad 23 km/h. Na obrázku 15 jsou vidět nastavené rychlosti autobusu v simulačním modelu.

Vozidlo:		 Cobus 
Délka:		<input type="text" value="12"/>  meters
Počáteční rychlost:		<input type="text" value="0"/>  kilometers per hour
Cílová rychlost:		<input type="text" value="25"/>  kilometers per hour
Maximální zrychlení:		<input type="text" value="0.8"/>  meters per second <sup>2</sup>
Maximální		<input type="text" value="4.2"/>  meters per second <sup>2</sup>

Obrázek 15 - Nastavené rychlosti Cobusu 3000 v modelu





Stejná úprava byla provedena i u automobilů. Změřené časy vůči vzdálenosti jsou rychlejší než u autobusů. Řidič automobilu nemusí dbát na plynulost a komfort jízdy cestujících a snadněji se vyhne nenadálým omezením na OLK. Maximální rychlost byla ponechána na 30 km/h z důvodu omezení rychlosti na OLK určené ve směrnici dopravního řádu LKPR. Byla ale zvýšena hodnota zrychlení na 2,2 m/s. Z dvou desítek měření vyšla průměrná rychlost 27,34 km/h. Pokud jsou takové úseky změřené v simulaci pomocí funkce zjištění ujeté vzdálenosti a času pohybu po daném úseku, jsou získány hodnoty okolo 27 km/h.

### 3.8 Model dojezdových časů

Pro databázi dojezdových časů byl vytvořen separátní model, který zjišťuje časy dojezdů autobusů i automobilů z jejich výchozích míst k jednotlivým stáním. Tyto informace jsou stěžejní kvůli správnému načasování výjezdu vozidla před příletem či odletem letadla. Konkrétně tyto zjištěné časy slouží pro dojezdy automobilů k nástupním mostům při příletu i odletu letadla a pro autobusy jedoucí k příletu letadla. Jelikož autobusy, které jezdí k odletovým branám jsou volány handlingovou společností ve větším předstihu a odletové brány jsou umístěny poblíž sebe, je počítáno s paušálním časem dojezdu. Průměrný čas pro dojezd automobilu ze dvou výchozích dep je 52 vteřin. Dále je uvedena tabulka 2 se všemi dojezdovými časy na jednotlivá stání z výchozích míst jednotlivých skupin. V dolní části tabulky jsou uvedeny průměrné časy dojezdu zvlášť pro automobily, autobusy jedoucí na kontaktní stání a autobusy jedoucí na odlehlá stání.

Konkrétně pak funguje správné načasování výjezdu vozidla před příletem či odletem letadla podle AIBT, od kterého se odečte skutečný čas dojezdu na místo úkolu a dalších 120 vteřin. Tento čas navíc zajistí čas docházky z automobilu do NM a aktivaci systému před zajištěním letadla na stání. 2 minuty před AIBT jsou také zpravidla skutečným časem zahájení pracovní úlohy operátorem dle dat z PDA.

Tabulka 2 - Dojezdové časy na jednotlivá stání automobilů a autobusů

Stání	dojezdový čas auta [s]	Stání	dojezdový čas autobusu [s]		
1	58	1	36		
3	74	3	50		
4	72	4	62		
5	76	5	73		
6	63	6	63	Odlehlá stání	dojezdový čas autobusu [s]
7	58	7	57		
9	25	9	61	50	157
10	33	10	76	51	142
11	35	11	83	52	156
12	41	12	90	53	162
14	49	14	109	54	172
15	45	15	93	55	186
16	41	16	88	56	189
17	49	17	111	57	200
18	56	18	117	58	204
19	60	19	122	59	189
20	56	20	132	60	178
21	51	21	134	61	192
22	31	22	149	62	200
23	34	23	138	63	211
24	38	24	129	64	214
26	48	26	125	70	219
27	53	27	130	71	213
28	59	28	138	72	220
29	65	29	145	73	215
30	70	30	150	74	220
31	74	31	177	75	240
Průměr	52	Průměr	105	Průměr	194

### 3.9 Nastavení dob úkolů

Klíčovým prvkem správné simulace jsou nastavené doby úkolů operátorů NM, kdy se nepohybují po infrastruktuře automobilem. Z důvodů nedostatku a necelistvosti dostupných dat z reálného provozu poskytnutých Letištěm Praha, byly toho dne použity dále uvedené vstupní hodnoty poskytnuté Letištěm Praha a doplněny změřená data v reálném provozu.

#### 3.9.1 Průměrné doby úkolů

Nastavení správných dob úkolů bylo dosaženo podle změřených určitých dob úkolů. K tomu posloužily dále dva uvedené způsoby. Mimo samotný úkol nebo činnost, se také nastavil



docházkový čas z denní místnosti. To je čas, který zabere příprava a příchod k vozidlu a jeho kontrola, než se dá do pohybu automobilem po infrastruktuře ke svému výkonu práce. Totéž platí i u řidičů autobusů.

### **Oměřené doby úkolů**

Průměrné doby úkolů byly v modelu nastaveny tak, aby odpovídaly reálně oměřeným časům z terénu. Tyto úkoly byly rozděleny do jednotlivých kategorií:

- Nástup PAX z gatu do autobusu, průměr 13 minuty 28 vteřin
- Výstup PAX z autobusu do letadla, průměr 1 minuty 26 vteřin
- Nástup PAX z letadla do autobusu, průměr 3 minuty 47 vteřin
- Výstup PAX z autobusu do terminálu, průměr 46 vteřin
- Operace s NM, průměr 3 minuty 28 vteřin

Každá kategorie má alespoň 5 měření, přičemž byl kladen důraz na operaci s NM. Časy ohledně nástupu a výstupu z autobusu se týkají vždy jednoho autobusu a jsou limitovány jeho kapacitou.

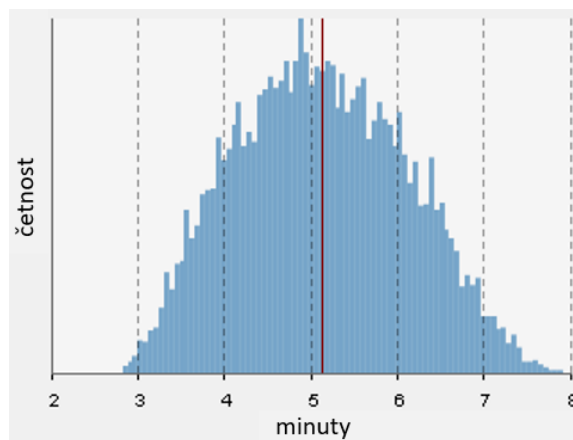
K operaci s NM je také nutné přičíst čas cesty do / odchodu z NM, který byl stanoven na 50 vteřin v jednom směru od zastavení auta. Pokud je k hodnotě operace s NM přičtena ještě průměrná doba jízdy automobilu, je získána výsledná průměrná doba celého úkolu 432 vteřin. Což je ve srovnání s výsledkem 442 vteřin ze simulačního modelu považováno za ideální s přihlédnutím nepřesnosti odmačkávání úkolů v PDA a především hustotou provozu.

Operace přistavení NM se skládá z času cesty do / odchodu z NM, aktivování systému a zajíždění letadla, po vypnutí červeného výstražného světla „beaconu“ následuje samotná část přistavení zakončená sklopením přístřešku, povolení k otevření dveří posádkou a položení bezpečnostní zarážky pod dveře.

Operace odstavení se skládá z času cesty do / odchodu z NM, vyčkání na zavření dveří do letadla a obdržení signálu pro odstavení od RAC. Následuje samotné odstavení NM do parkovací pozice včetně jeho zabezpečení. [30]

Pokud jsou tyto činnosti sečteny a zprůměrovány, jsou získány výše uvedené referenční hodnoty. Ty jsou nastaveny do modelu pomocí PERT rozdělení jako nejčastější hodnota (mode) a určeny minimální a maximální hranice, aby se zamezilo nechtěným extrémním hodnotám. Bylo doporučováno trojúhelníkové rozdělení, ale PERT je jeho vhodnou

alternativou. Má menší množství krajních hodnot, což je vhodné s ohledem na naměřená data v okolí nejčastější hodnoty, viz obrázek 16.



Obrázek 16 - PERT rozdělení časů přistavení NM

### Získané doby úkolů

Od Letiště Praha byly získány časy přistavování a odstavování NM zaznamenaných v PDA na základě zahájení a ukončení úkolu. Těmito dvěma mezním údaji předchází ještě přijetí úkolu operátorem, to se ale děje v předstihu, a tak tento údaj není relevantní.

Tyto data jsou velice důležitou složkou nastavení dob úkolů operátora NM. Letištěm Praha byl poskytnut vzorek dat několika desítek úkolů, které se odehrávaly v pátky letní sezóny, tak aby to nejvíce odpovídalo vytíženému dni 30. 8. 2019. Vzorky dat byly obdrženy jak pro přistavování, tak odstavení NM.

Ze vzorků dat bylo zjištěno, že minimální časy pro přistavování NM se ohybují okolo 3 minut, pro odstavení 2 minut. Maximální časy pro přistavování NM se ohybují okolo 8 minut, pro odstavení 15 minut. Z dat lze vyčíst, že odstavení mostů je lehce časově náročnější a také má větší rozptyl hodnot. Toto může být důsledek, že pro odstavení NM volají handlingoví pracovníci v čas, kdy uváží za vhodné. Kdežto přistavení NM zajišťuje CDP, který pracuje s aktuálními časy. Průměrné hodnoty z těchto vzorkových dat jsou 5,17 minut, tedy 310 vteřin pro přistavování NM a 7,83 minut, tedy 470 vteřin pro odstavení NM. Tato hodnota neobsahuje jízdy automobilem, které jsou součástí výkonu úkolu. Včetně nich jsou hodnoty následující, 362 vteřin s přistavením a 522 s odstavením NM. Tento rozdíl je 160 vteřin, tedy přes 2,5 minuty.



Protože byla zjištěna jiná časová zátěž a rozložení délky úkolů přistavení a odstavení NM, jsou pro přesnost modelu vytvořena dvě rozdělení zohledňující získaná data. Rozdělení průměrných zdržných časů přistavení NM používají agenti, kteří obsluhují přílet letadla, viz tabulka 3. Naopak rozdělení průměrných zdržných časů odstavení NM používají agenti obsluhující odlet letadla, viz tabulka 4. V obou pravých částech tabulek jsou také uvedeny minimální časy přistavení nebo odstavení NM, které byly rovněž získány z dat PDA. Samotné časy vložené do PERT rozdělení jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 3 - Průměrné zdržné časy přistavení NM

Průměrné časy zdržení úkolem v NM			Minimum z PDA	
Činnost	vteřiny	minuty	minimum	minuty
Příchod	50		30	
Zajiždění A/C	90		60	
Přistavení	120		45	
Odchod	50		30	
<b>Celkem</b>	310	<b>5,17</b>	165	<b>2,75</b>
Průměrná doba cest	52	0,87	52	0,87
<b>Celý úkol</b>	362	<b>6,03</b>	217	<b>3,62</b>

Tabulka 4 - Průměrné zdržné časy odstavení NM

Průměrné časy zdržení úkolem v NM			Minimum z PDA	
Činnost	vteřiny	minuty	minimum	minuty
Příchod	50		30	
Čekání	250		15	
Odstavení	120		45	
Odchod	50		30	
<b>Celkem</b>	470	<b>7,83</b>	120	<b>2</b>
Průměrná doba cest	52	0,87	52	0,87
<b>Celý úkol</b>	522	<b>8,70</b>	172	<b>2,87</b>



Tabulka 5 - Hodnoty vložené do PERT rozdělení v minutách

	min	max	nejčastější hodnota
<b>přistavení</b>	2,75	8	5
<b>odstavení</b>	2	15	7

Jak je zobrazeno v tabulkách 3 a 4, když je k hodnotě operace s NM přičtena průměrná doba jízdy automobilu ke kontaktním stáním, je získána výsledná průměrná doba úkolu ze simulačního modelu 362 a 522 vteřin. Průměrem všech odpracovaných úkolů v daný den je pak hodnota 442 vteřin.

Bylo zjištěno, že doba úkolů změřených v terénu v období zimní sezóny 2022, odpovídá časům zaznamenaných z reálného provozu pátečních dnů letní sezóny s přihlédnutím k nepřesnostem odmačkávání zahájení a ukončení úkolů.

### 3.10 Výstupní hodnoty

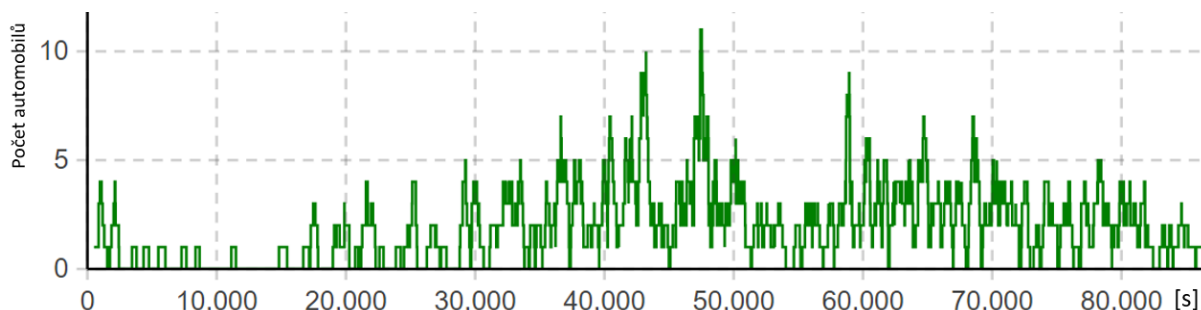
Protože byla do modelu vložena změřená data z reálného provozu, data obdržena od Letiště Praha a výstupní hodnoty odpovídají hodnotám vstupním je model považován za validní. Výstupní průměrná doba úkolu operátora NM ze simulace je 442 vteřin, což přesně odpovídá průměrné hodnotě úkolů z PDA včetně dojezdového času.

Po proběhnutí modelu jsou získány výstupní hodnoty jednotlivých i průměrných dob úkolů a aktuální i celkové počty operátorů vykonávající úkol. Tyto údaje jsou zvláště zaznamenané v tak zvaných „data setech“. Ty se dají použít pro další zpracování nebo jsou rovnou zobrazeny v histogramech dob úkolů a histogramech počtu operátorů v průběhu dne.

Konkrétními parametry jsou (všechny parametry jsou udány pro operátory NM a řidiče BUS zvláště, následně i dohromady):

- Jednotlivé časy všech úkolů
- Průměrný čas všech úkolů
- Celkový počet operátorů
- Počet operátorů v každou danou chvíli
- Minimální doba úkolu
- Maximální doba úkolu
- Směrodatná odchylka

- Suma času úkolů
- Počet provedených úkolů



Obrázek 17 - Graf vývoje potřebného počtu automobilů v průběhu dne 30. 8. 2019

Na obrázku 17 je pro názornost výstupních hodnot uveden a dále okomentován graf s denním vývojem počtu automobilů i operátorů NM. Nejvyšší počty operátorů byly dosaženy před 12 hod., v půl 2 a v půl 5 odpoledne. 10 operátorů bylo potřeba ke konci dopolední špičky. Odpolední špička si vyžádala 7 až 9 operátorů. Následné silné období, převážně příletů, před 22 h večer 5 zaměstnanců. Okolo 13 h velmi navyšuje počet operátorů přílet linky EK s typem letadla A380, kdy jsou potřeba 4 operátoři najednou. To je z důvodu přistavování 2 NM k dolní palubě letadla a jednoho k horní palubě. Další zaměstnanec musí z důvodů postupů a bezpečné vzdálenosti sledovat situace ze země. Naopak potřeba operátorů mezi 1 h a 5 h ranní je maximálně 1 zaměstnanec.



## 4. Simulační analýza provozu operátorů nástupních mostů

Ve chvíli, kdy je model vytvořený a generuje správné výstupní hodnoty, je možné ho využívat pro simulace různých nastavení provozu. Ty budou vycházet z níže uvedených otázek nebo cílů a podle nich nastavených scénářů provozu. Z hlediska zachování validity modelu je potřeba ponechat správně nastavené rychlosti vozidel a doby pracovních úloh.

První otázkou je, jaké existuje vhodné nastavení rozpoložení dep či denních místností, odkud vyjíždějí pracovníci plnit úkoly. V tomto případě budou uvažována pouze proveditelná řešení bez rozsáhlejších změn, neboť je zkoumáno nastavení na současném stavu systému.

Cílem práce je zjistit, zda se simulovaný provoz počtu operátorů, shoduje s realitou nebo je zde prostor ke zlepšení. Po proběhnutí simulace provozu, lze porovnat, zda a o kolik se liší počty potřebných zaměstnanců v průběhu dne. Dále je cílem zjistit minimální počet operátorů NM, a to i zavedením plně účelné výpomoci s přistavováním NM řidiči autobusu.

Poslední otázkou je, kolik operátorů NM je možné dedikovat pouze pro přistavování NM, aniž by to ovlivnilo celkovou flexibilitu a schopnost systému kvalitně plnit všechny požadavky.

### 4.1 Scénáře provozu

První část se věnuje rozmístění dep po infrastruktuře. Dle výše uvedené první otázky proběhl výběr a nastavení scénářů provozu.

Lze tedy nasimulovat provoz operátorů ze dvou základen, pod prstem C terminálu 2 a prstem B terminálu 1 tak, jak je tomu nyní a porovnat toto nastavení se simulacemi, ve které budou všichni jezdit od současného depa autobusů, kde mají operátoři kvalitní zázemí. Nebo od prstu B, které je položeno více do středu infrastruktury. Tím by zároveň obsluhovali všechny mosty dohromady. Také se současné nastavení porovná se scénářem striktně odděleného provozu. Dále byl zavrhnut ještě jeden scénář, který by pod každým prstem měl svou jednotku. Tedy pod prsty A, B, C i D, a tím by měl čtyři výchozí místa. Ačkoliv by mohli operátoři z důvodu krátké vzdálenosti docházet pěšky či opět dojíždět autem, byla tato možnost zavržena kvůli malému rozdílu ušetření času menším pohybem po OLK. Tento rozdíl se pohybuje do 25 vteřin na základě rozdílu dojezdu mezi výchozími místy. Dále by bylo nutné najít prostory, vybudovat denní místnosti a přilehlá parkovací stání. Volných prostorů není mnoho a ne vždy by byly ideálně umístitelné. A v neposlední řadě by toto neznamenovalo ušetření 25 vteřin na každý úkol, protože pokud by byli pracovníci v menším

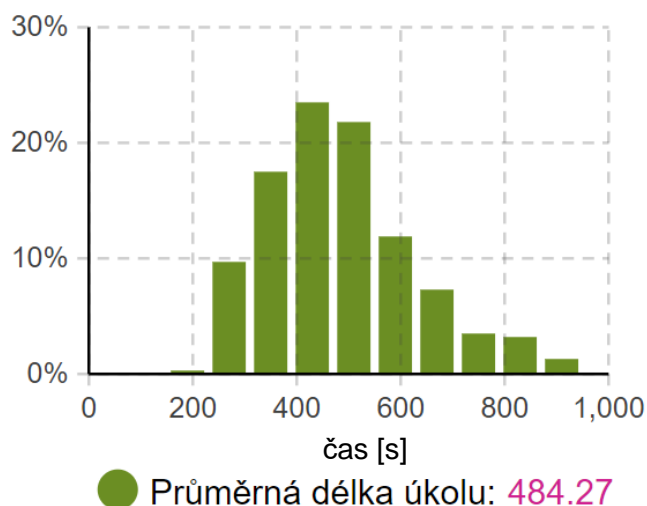


počtu pod každým prstem terminálu, o to více by museli dojíždět vypomáhat na sousední sektory z důvodu jejich vytíženosti.

#### 4.1.1 Scénář společného provozu

Scénář společného provozu je založen na myšlence jednoho kvalitního zázemí, snadné spolupráce mezi skupinami, ale hlavně kvůli ověření, jak moc by se centralizovaný provoz lišil od současného nastavení. Je tedy určené jedno depo dohromady, a to současné, které se nachází u terminálu 1, vedle stání 1. Model je zaměřen jen na provoz nástupních mostů z tohoto pracoviště, ale hlavním benefitem by v případě proveditelného výsledku bylo propojení s řidiči autobusů a sdílení obou funkcí v rámci jejich směn. V případě dostatku automobilů by to přineslo i eliminaci dojezdů k NM autobusy.

Výsledky simulace jsou následující. Průměrná doba úkolu je 484 vteřin, jak je vidět na obrázku 18. To je o 42 vteřin pomalejší čas na jediný úkol. Nutné je vzít v potaz, že větší část operátorů se po dokončení úkolu vrací do depa, a v tom případě by se čas rozdílu v jízdě zdvojnásobil na 84 vteřin. Zde by již byl opravdu značný rozdíl cesty ze současného autobusového depa a lze vidět, jak časově náročné jsou cesty po infrastruktuře z jednoho kraje areálu Sever na druhý.

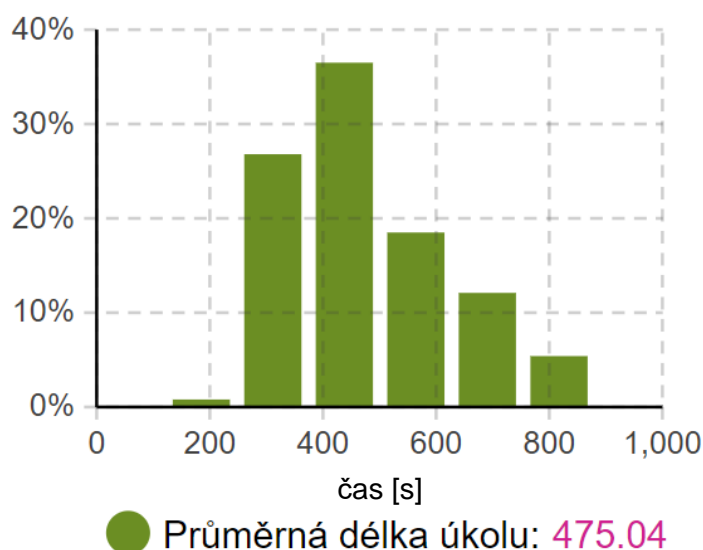


Obrázek 18 - Distribuce dob úkolů v procentech s depem u T1 s jejich průměrnou dobou

Čas strávený v infrastruktuře OLK má vliv na počet potřebných operátorů. Pokud bychom přičetli půl minuty odchodu k autu z denní místnosti, byly by operátoři při umístění v současném depu Cobusů plně vytíženi. Maximální počet operátorů se ve špičkovém provozu

rovná 12, což je zároveň maximální počet využívaných aut v určitou chvíli 30. 8. 2019. Takové nastavení by tím bylo bez jakékoli provozní rezervy.

Mírné zlepšení oproti předchozí simulaci nastane, pokud by operátoři sídlili stále dohromady, ale měli by umístěné výchozí místo pod prstem B. Takové nastavení snižuje dobu úkolu o téměř 10 vteřin. Na obrázku 19 je vidět histogram rozložení dob úkolů s průměrným časem 475 vteřin, také se zde již nevyskytují úkoly nad 850 vteřin, což při minulém nastavení ano. Zároveň je maximální potřebný počet operátorů 11.



Obrázek 19 - Distribuce dob úkolů v procentech s depem pod prstem B s jejich průměrnou dobou

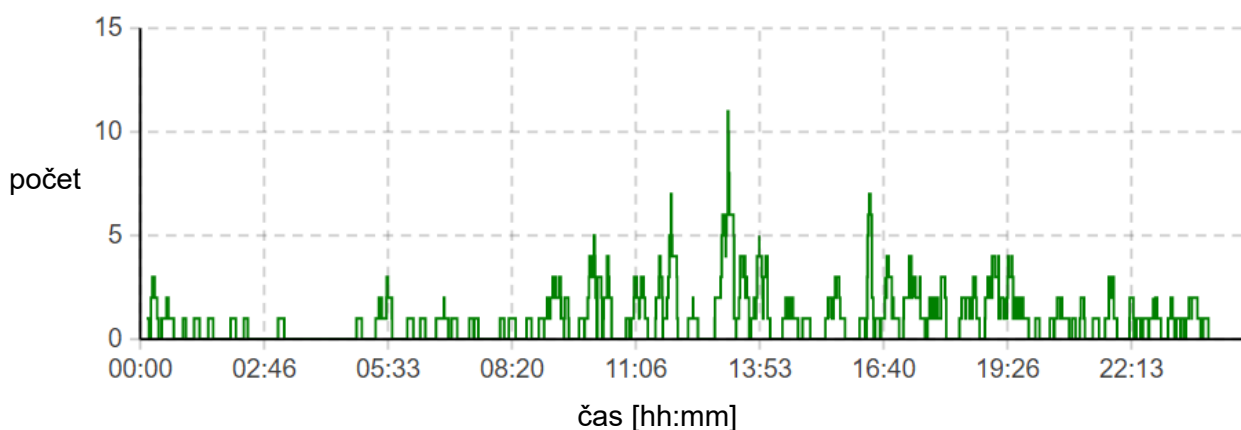
#### 4.1.2 Scénář odděleného provozu

Tento scénář je založen na umístění výchozích míst na současných místech, ovšem jedna skupina obsluhuje NM pouze neschengenského prostoru a druhá NM pouze schengenského prostoru. V případě tohoto rozdělení jsou průměrné doby úkolů obou skupin shodné. Pro skupinu terminálu 1 platí průměrná doba úkolu 440 vteřin s nutnou kapacitou až 11 operátorů. Pro skupinu terminálu 2 platí 444 vteřin s kapacitou až 5 operátorů.

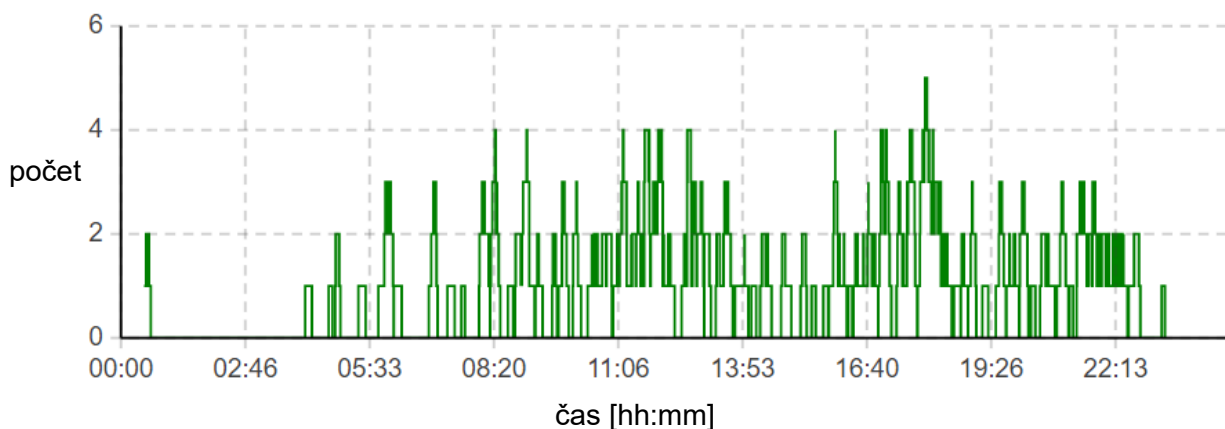
Při datech tohoto uskutečněného letového řádu vychází, že každá skupina má podobný počet úkolů během dne, a to 188 pro skupinu terminálu 1 a 185 pro skupinu terminálu 2. Zajímavostí ale je, že naopak počet příletů či odletů je z terminálu 1 méně, a to o 18. Jedná se zde o dálkové linky a na terminálu 1 je tak 21 operátorů určeno jako druhých, třetích nebo i čtvrtých v pořadí, a to jako pomoc při přistavení NM k jednomu letadlu. Jedná se buď o

přistavení více NM, zpravidla na první i druhé dveře širokotrupých letadel, nebo nutný bezpečnostní dohled ze země kvůli blízkosti NM od motoru nebo blízkosti NM navzájem. Oproti tomu na terminálu 2 žádné speciální případy v rámci tohoto dne nejsou a každý operátor přistavuje NM k danému letadlu sám.

Tyto znásobené potřeby k jednomu letu zároveň ovlivňují počty nutných operátorů v jednu chvíli. Jak je vidět níže na obrázku 20, v časech odletů či příletů širokotrupých letadel dosahuje potřeba 5, 7 nebo až 11 operátorů při příletu A380. Provoz na terminálu jedna je rozprostřen po celý den, včetně noci.



Obrázek 20 - Histogram s průběhem dne 30. 8. 2019 na T1 s odděleným provozem



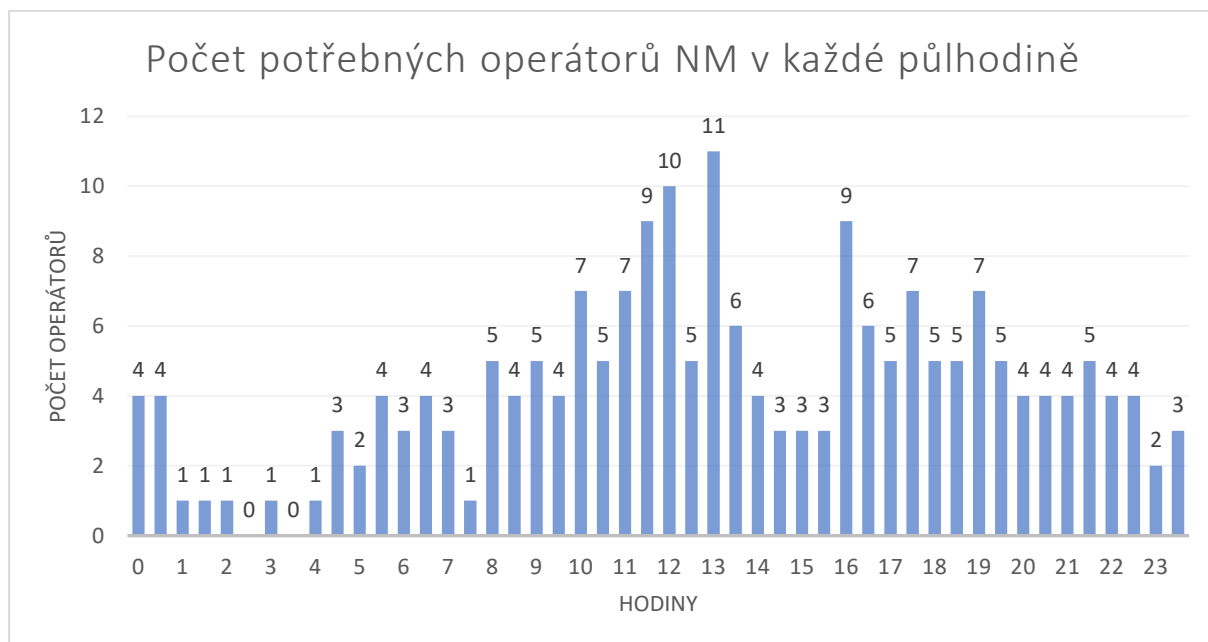
Obrázek 21 - Histogram s průběhem dne 30. 8. 2019 na T2 s odděleným provozem

Výše na obrázku 21 je zobrazen průběh dne na terminálu 2, je zde slabý noční provoz s úplnou pauzou mezi 1 a 4 hodinou ránní. Dále je provoz přes den rovnoměrněji rozprostřen s menšími nároky nárazových potřeb na přistavení či odstavení NM.

Kdyby byla tato data dána dohromady, bylo by potřeba až 16 operátorů na pokrytí provozu obou terminálů odděleně. To je podstatně více než v případě spolupráce těchto skupin. I přestože z hlediska dopravy a dob úkolů je toto řešení dobré, není takové striktní rozdělení vhodné.

### 4.1.3 Scénář současného provozu

Jak již ze svého názvu vyplývá, scénář současného provozu simuluje stávající variantu rozložení týmů. Průměrná doba úkolu je 442 vteřin s maximální potřebou okolo 11 operátorů. Níže je uveden obrázek 22, na kterém je graf znázorňující průběh množství operátorů skrz celý den, tyto potřeby jsou rozděleny po půl hodinách z důvodu využitelnosti při plánování směn. V každém sloupci je uveden maximální počet zaměstnanců, kteří v jednu chvíli vykonávají úkol.



Obrázek 22 - Graf průběhu množství operátorů NM

Oproti dříve uvedeným modelům, kde je tým pospolu, jsou tyto výsledky o 42 a v druhém případě o 33 vteřin lepší. V případě návratu agenta na základnu se tyto časy dokonce zdvojnásobí, a proto nejsou předchozí řešení výhodná. A to i třeba s ohledem na zvýšenou spotřebu pohonných hmot automobilů.

Pokud jsou skupiny umístěny zvlášť u T1 a T2 jsou časy úkolů velice podobné, ale jde o to, že tyto skupiny musí být propojeny a v provozních špičkách, které jsou na každém terminálu



v jinou chvíli, si vypomáhat. Protože v případě výpomoci klesne počet operátorů z maximálních 16 na 11, tedy téměř o třetinu.

Z porovnání s ostatními možnostmi vyplývá, že současné rozložení a částečné propojení skupin je nejlepší variantou a pomocí tohoto modelu je možné dále zjišťovat minimální počet operátorů NM při současném stavu provozu.

Protože je simulační model stochastický, byla tato nejlepší varianta vybrána k detailnějšímu prozkoumání. V nastavení simulace lze vybrat náhodnost opakování. Mohou být vybrány reprodukovatelné simulace, jedna znamená pořád stejné výsledky. To může být výhodné v případě porovnávání modelů mezi sebou, aby se hodnoty nelišily při každém dalším spuštění simulace. Dále lze nastavit například opakování 10 náhodností stále dokola. Protože je ale letecký provoz velice proměnlivý, byla vybrána absolutní náhodnost, tedy každá simulace je unikátní a model 15krát spuštěn. V následující tabulce 6 jsou uvedeny průměrné doby procesů a ve sloupcích maximální počty operátorů, které byly ve dne dosaženy. V prvním sloupci je uveden potřebný počet automobilů (tedy bez docházky operátora do automobilu, v tomto smyslu jsou všude uvedeny i časy) a v posledním sloupci je uveden počet operátorů, pokud bychom jim přičetli 30 vteřin na přípravu, docházku a kontrolu automobilu.

Tabulka 6 – Průměrná doba procesu a počtu operátorů NM

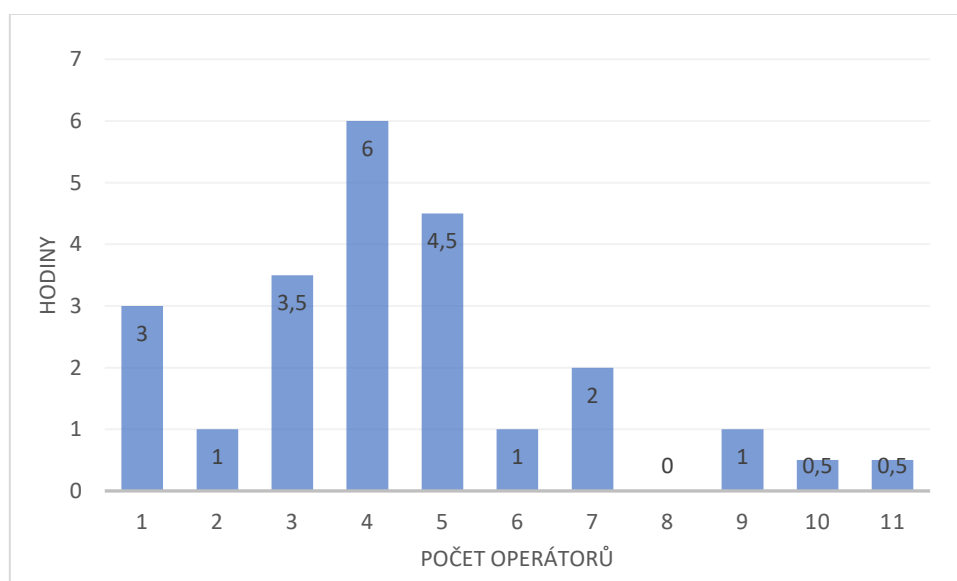
Pořadí simulace	Max. počet operátorů (jízda + úkol)	Průměrná doba procesu v simulaci	Max. počet operátorů (příprava + jízda + úkol)
1.	10	436,92	11
2.	9	445,52	10
3.	9	437,80	10
4.	9	440,93	9
5.	9	446,59	12
6.	9	438,58	10
7.	11	451,78	11
8.	10	442,81	11
9.	10	438,79	11
10.	11	448,72	11
11.	10	447,85	11
12.	9	428,53	10
13.	10	427,51	13
14.	10	434,63	11
15.	10	447,84	11
průměr		440,987	



Z výše uvedené tabulky 6 lze pozorovat rozdílnost simulací, v některých případech stačí pro pokrytí provozu 9 zaměstnanců, v některých jich je potřeba až 11 nebo 13, a to bez ohledu na průměrnou dobu úkolu.

Samozřejmě je zajímavé porovnávat celé průběhy dne, nejen maximální počet. To je velice důležité pro plánování směn a přijetí rizika, že naplánovaný počet operátorů nedokáže chvilkově pokrýt požadavky na provoz. Je nutné zmínit, že v tomto modelu se mění hodnoty dob úkolů, nikoliv časy letového řádu, ten je pevně dán podle uskutečněného dne. V reálném provozu se samozřejmě mění i aktuální časy přistání a odletů, ovšem z kapacitních důvodů jedné přistávací a vzletové dráhy by neměl být provoz více nárazový, než jak je nastaven použitý letový řád, protože ten byl vybrán jakožto jeden vzorový vytížený den.

Na níže uvedeném obrázku 23 je uveden graf, který ukazuje, kolik hodin denně je potřeba daný počet operátorů. Nejčastěji jsou zapotřebí 4 operátoři, a to po dobu 6 hodin. Většinu dne, konkrétně 18 hodin, zvládne pokrýt 5 a méně zaměstnanců. V neposlední řadě je vidět, že 10 a 11 operátorů je potřeba vždy jen půl hodiny, a taková situace nastane během půl hodiny pouze jednou. Za tento modelový den je tedy potřeba odpracovat 101,5 osobo hodin, teoreticky jsou potřební 4,23 operátora skrz celý den.



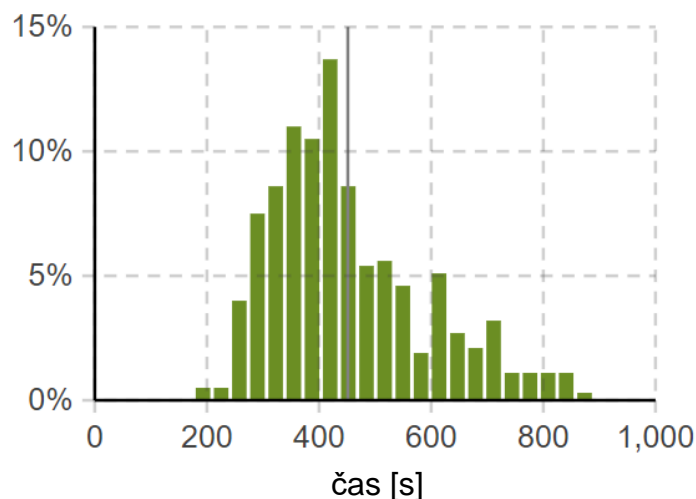
Obrázek 23 - Graf počtu hodin s potřebným počtem operátorů NM

V tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty týkající se jedné ze simulací s průměrným časem. Počet úkolů je v tomto letovém řádu vždy stejný a to 373 za 24 hodin. Lichý počet může být způsoben například večerním přiletem a nocováním letadla na letišti v Praze. Největší počet

úkolů má trvání v rozmezí 6 až 8 minut, rozdíl mezi minimální a maximální délkou úlohy je téměř 11 minut. Na obrázku 24 je zobrazen histogram s rozdělením dob úkolů a jejich procentuálním zastoupením. Histogram dobře vystihuje naměřená data z PDA, s velkým počtem kratších úkolů a menší zastoupení delších úkolů. Svislá šedivá čára vyznačuje průměrnou hodnotu 451,78 vteřin. Pro názornost, jak se liší jednotlivé simulace, jsou záměrně vybrány hodnoty v tabulce 7 a hodnoty do rozdělení na obrázku 23 z jiné simulace.

Tabulka 7 - Hodnoty simulace

Počet úkolů	373	
Průměr	443,19 s	7,4 min
Min	210,13 s	3,5 min
Max	863,11 s	14,4 min
Odchylka	144,68 s	2,4 min
Suma	165310 s	45,9 hod.



Obrázek 24 - Distribuce dob úkolů v procentech a jejich průměrná hodnota (vyznačena svislou čarou)

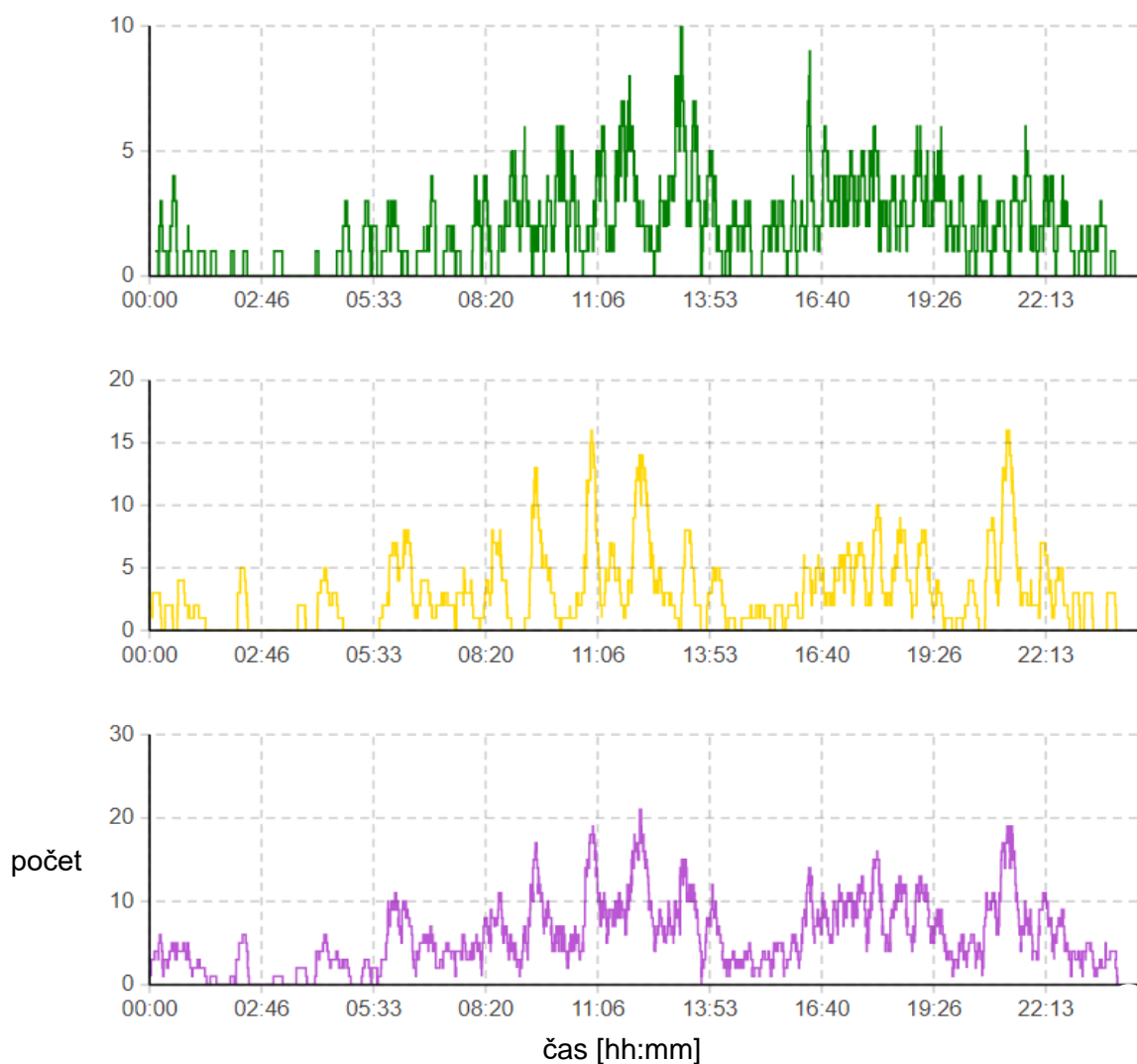
#### 4.2 Model provozu propojení skupin a minima operátorů NM

Propojení skupin operátorů NM a řidičů letištních autobusů je nezbytné pro optimalizaci personálních zdrojů. V dnešní době již systém takto funguje a například při nesrotovaných letech je NM vždy přistaven řidičem autobusu, který pak zároveň i odváží první část cestujících vystupujících z NM po schodišti na plochu.



Jak bylo již uvedeno, provozní špičky přistavování a odstavování NM jsou krátké a ostré. Například 10 nebo 11 operátorů je potřeba vždy jen půl hodiny, a taková situace nastane během půl hodiny pouze jednou. To znamená, že je potřeba velký počet zaměstnanců po kratší dobu. A to je hlavní důvod, proč hledat volné kapacity mezi řidiči autobusu a nepřepínat směny pro přistavování a odstavování NM.

Pokud je opomenut nežádoucí prvek dojíždění autobusy na kontaktní stání, lze ze stávajících výstupů z modelu určit nejnižší počet operátorů NM. Je dáno, že počet řidičů autobusů na denní 12hodinové směně je 16. A jsou hledány mezery v provozu autobusů, ve kterých mohou řidiči operátorům NM vypomoci, a tím snížit jejich počet na minimum. Níže na obrázku 25 je zeleně uveden vývoj potřebného počtu automobilů, žlutě autobusů a fialově zaměstnanců obou skupin dohromady.

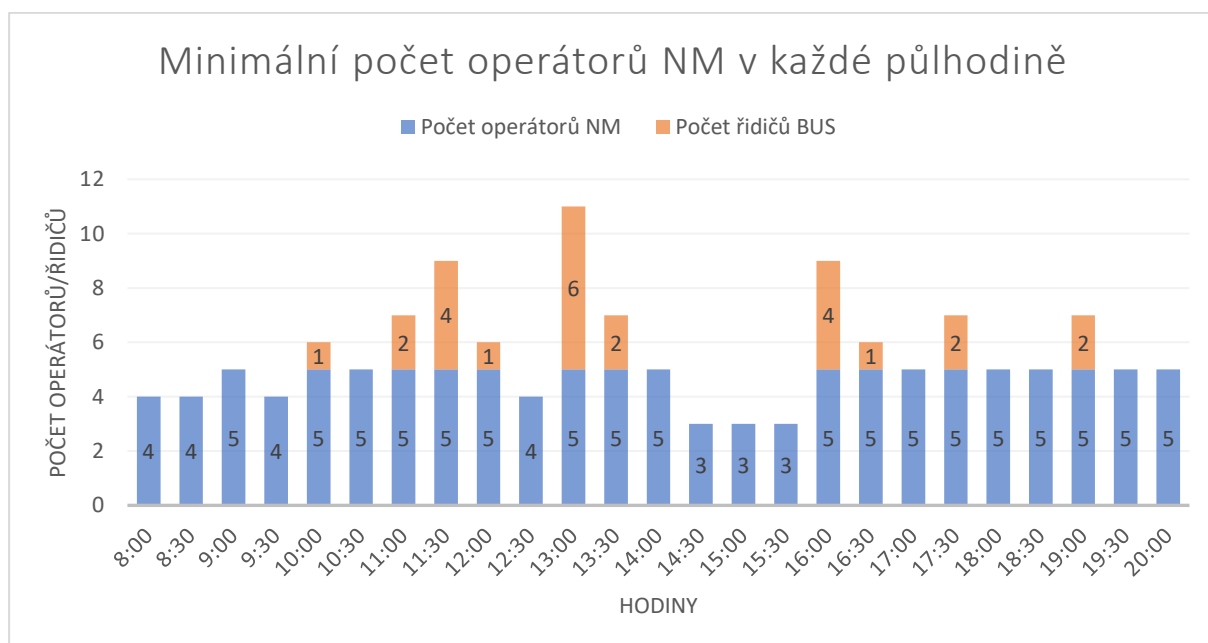


Obrázek 25 - Histogramy počtu automobilů, autobusů a celkového počtu zaměstnanců



Protože je potřeba řešit nalezení minimálního počtu operátorů NM při každém určitém počtu zaměstnanců v konkrétní chvíli zvláště, byla vybrána teoretická denní 12hodinová směna, při které jsou stavy obou skupin neměnné.

Na níže uvedeném obrázku 26 je graf, který zobrazuje minimální potřebné počty operátorů NM při účelné výpomoci řidičů autobusu. Slovem účelné je myšleno, že operátoři NM využívají všechny své kapacity k přistavování a odstavování NM a řidiči autobusů jim vypomáhají pouze v případě, pokud již žádný operátor NM není k dispozici a sami řidiči mají volné kapacity. Konkrétní postup, jak se k výsledku došlo, je porovnání volných zdrojů obou skupin v každé jednotlivé chvíli. Pro přehlednost jsou výsledky zobrazeny po půl hodinách, které obsahují vždy maximální počty využitých zaměstnanců pro operování s NM v každé půlhodině.

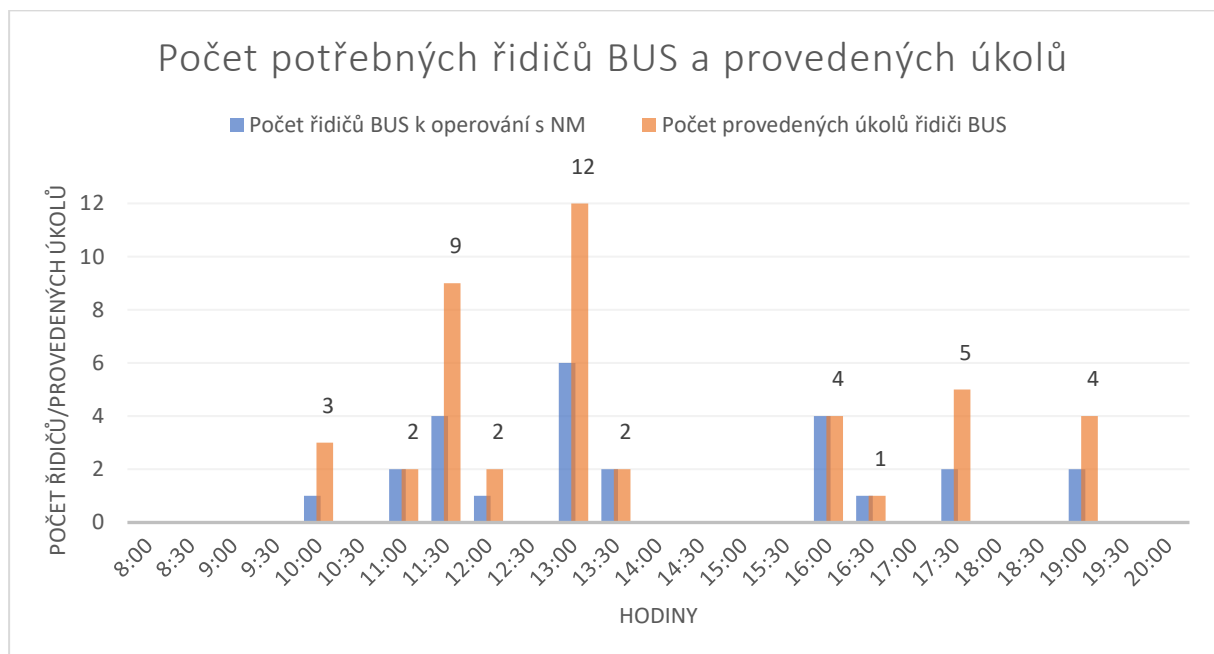


Obrázek 26 - Graf minimálního počtu operátorů NM a jejich doplněk řidiči autobusů na denní směně od 8 do 20 hodin

Nutný počet na denní směně je 5 operátorů NM. Těchto 5 operátorů je potřebných právě v poledne, kde se provozní špičky obou týmu prolínají. V tomto nasimulovaném dni došlo k navýšení operátorů NM ze 4 na 5 přesně dvěma lety, a to letem QS2036 ze stání 18 a příletem LO0527 na stání 24, které již nedokázali kapacitně pokrýt řidiči autobusů. Jedná se lety ze schengenského prostoru na prstu C terminálu 2. Jsou sice uvedeny dva lety chvíli po sobě, ale navýšení jen o jednoho operátora. Tato situace vznikla tím, že v mezidobí zahájení těchto dvou úkolů se jeden operátor stal opět volným a mohl vykonat další úkol.

Téměř na limit se kapacity dostávají i po 13. hodině, kdy je nutné obsloužit přílet letadla A380. V tuto chvíli ale stále zbývají volní dva řidiči autobusu, v případě 5 operátorů NM na směně. Z důvodu potřeby pátého operátora právě na T2 a větší vzdálenosti z autobusového depa na prsty C a D terminálu 2, je možné rozdělení operátorů NM 2 pro T1 a 3 pro T2.

Během dané směny proběhlo 44 výpomocí řidiči autobusu. Přičemž v jednu chvíli jich muselo vypomáhat až 6 najednou. Dále je uveden obrázek 27 s grafem, který názorně ukazuje, v jaké hodině a jaký počet řidičů vypomáhal i s daty, kolik úkolů provedli.



Obrázek 27 - Graf počtu pomáhajících řidičů BUS a počty provedených úkolů

Zavedení postupu plně účelné výpomoci řidiči autobusů operátorům NM do praxe by mělo velký pozitivní vliv na snížení počtu potřebných operátorů NM. Požadavky na dotčené subjekty by byly následující.

Zprvu by musel být znám predikovaný provoz všech letů odbavovaných na veřejných terminálech 1 a 2, a to minimálně na měsíc a půl dopředu, aby bylo možné se směnami zaměstnanců pracovat. Data o predikovaném provozu by musela zahrnovat údaje o času příletu a odletu daného letu konkrétní aerolinky a typ letadla s deklarovanou maximální kapacitou, aby mohl být nastaven potřebný počet letištních autobusů. Samozřejmostí jsou informace o tom, zda je aerolinka (či linka) odbavována u kontaktního nebo na odlehlém stání. Tyto data by byla vložena do modelu, spustila by se simulace, ze které by se po



proběhnutí vyzískala data o potřebných počtech zaměstnanců obou skupin na průběh každého dne.

S těmito počty by se dále pracovalo podle výše uvedeného postupu. Proběhlo by naplánování směn řidičům autobusů podle výstupů z modelu a dále by byly určeny jejich volné kapacity v čase, v kterém by mohli vypomáhat s přistavováním NM. A tím zjistila by se minimální možná úroveň operátorů NM na dané směně, podle které by jim byly naplánovány směny.

Takové nastavení by vyžadovalo součinnost CDP a dále by bylo z jeho strany i proveditelné. CDP by pak musel přidělovat více operací s NM řidičům autobusů. Pokud by bylo nechtěné zajíždění autobusy ke kontaktním stáním z důvodu jejich stání v OLK, bylo by také nutné zajistit dostatek osobních vozidel ze strany Letiště Praha. Stinnou stránkou takového nastavení může být lehce napjatější pracovní plán obou skupin nebo občasné změny autobusu za automobil a zpět v průběhu směny.

#### **4.3 Počet dedikovaných zaměstnanců**

Pro výpočet dedikovaných zaměstnanců jen pro přistavování mostů je použit model provozu operátorů NM s modelem provozu letištních autobusů. Jsou zohledněny jejich rozdíly v průběhu dne. Tedy, kolik operátorů nemá v průběhu směny čas na jinou činnost, která by pokryla provozní špičky skupiny řidičů autobusů. Dedikovaní zaměstnanci jsou vhodní pro účel snížení nároků na personální zdroje řidičů autobusů, kterých je dlouhodobý nedostatek. Smysl je nyní opačný než v předchozí podkapitole.

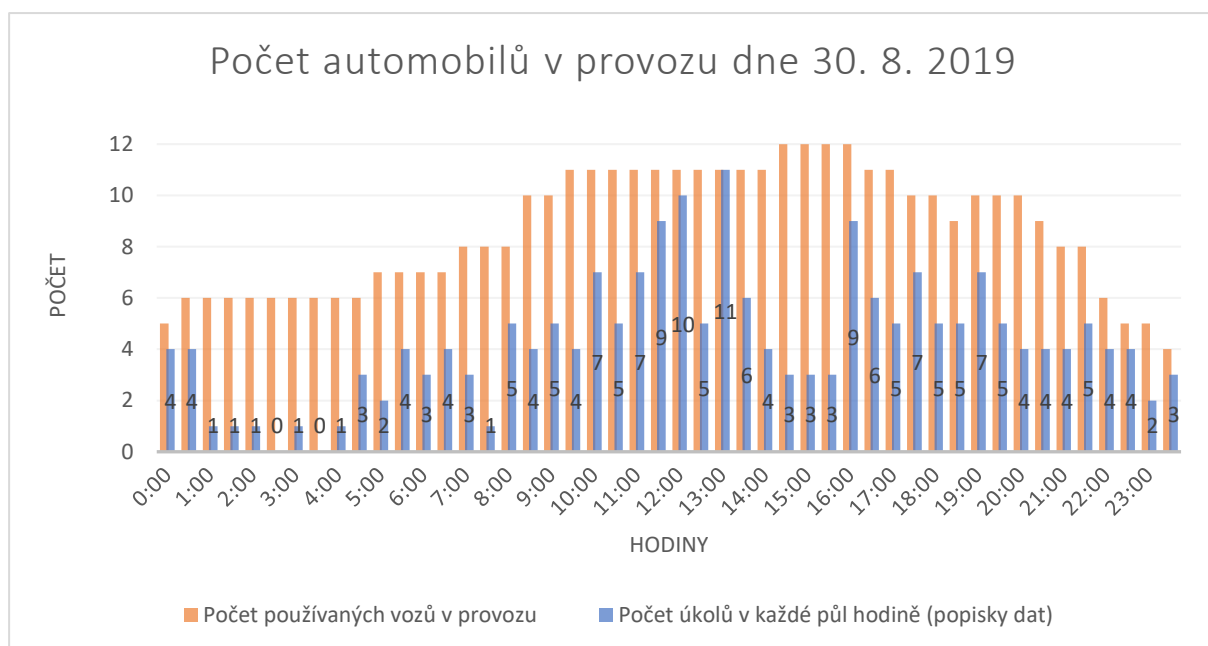
Ve dne je vhodné, jak bylo v předchozí kapitole uvedeno, použít 5 zaměstnanců jen pro NM. Pokud by se dedikovalo všem 5 zaměstnanců, znamenalo by to, že naopak oni nikdy nebudou moci vypomáhat řidičům autobusů. To může být z hlediska flexibility nežádoucí. Také v noci nelze takový počet operátorů NM rozumně využít. Ovšem přes den, i v provozních špičkách autobusů, jsou potřeba pro přistavování NM minimálně 2 zaměstnanci. Ti pak mohou být určeni jen pro tuto činnost. Tím, že se jedná jen o denní směnu, je celkový ušetřený počet nízký, může se tak jednat jen asi o 4 operátory z celkového stavu zaměstnanců.

#### **4.4 Data o využití vozidel**

Od Letiště Praha byla obdržena databáze o dostupnosti vozového parku týmu PCL ze dne 30. 8. 2019. Z těchto dat lze vyčíst, kolik aut bylo v používání. Porovnáním výsledků

simulačního modelu a počtu využitých aut, u kterých je znám jejich počet a časový úsek, od kdy do kdy byly využívány, jsou získány hodnoty, o kolik více zdrojů bylo k dispozici. Mimo to je známa jejich doba jízdy, doba stání a ujetá vzdálenost. Jelikož jsou tyto informace založeny na datech z GPS, sloužící pro elektronickou evidenci knihy jízd, nejsou doby stání a jízdy dostatečně přesné. Doba jízdy totiž pravděpodobně zahrnuje i stání vozu, pokud je nastartován. Z toho by bylo možné vypočítat pouze průměrnou „cestovní“ rychlost úkolů operátora. Důležitý je tedy pouze počet automobilů, které byly využívány v rámci dne.

Počet automobilů v provozu, tudíž operátorů, byl dne 30. 8. 2019 maximálně 12 v danou chvíli. Začátkem a koncem dne byl počet provozovaných automobilů o jednotky nižší. Průběh dostupných automobilů je uveden na obrázku 28. Jak již bylo uvedeno v tabulce 6, maximální počty potřebných operátorů NM se pohybují mezi 9 a 11. I když podle simulačního modelu byly nejčastější počty 10 a 9, v tomto simulovaném případě dosáhl počet potřebných operátorů 11, avšak na to byl systém připraven a zvládl úkoly splnit.



Obrázek 28 - Graf počtu dostupných zdrojů vůči provedeným úkolům dne 30. 8. 2019

Z grafu na obrázku 28 lze vyčíst o kolik byl provoz v průběhu dne přepřelán. Počet nevyužitých kapacit se pohyboval od 0 do 9 v dané půl hodině. V průměru celého dne bylo nevyužito přesně 4,4 operátora NM každou půlhodinu. Takové vytížení je poměrně nízké a v tomto případě spočívá postup zavedení do praxe na upravení plánování směn zaměstnancům.



V případě zachování vyššího počtu operátorů NM na směně, aby zvládly vykonat svoje úkoly bez pomoci řidičů autobusů i ve špičkových časech, by mělo významný pozitivní vliv přesnější plánování směn. To by obnášelo celý sousled úkonů.

Zprvu by musel být opět znám predikovaný provoz u kontaktních stání minimálně na měsíc a půl dopředu, aby bylo možné se směnami zaměstnanců pracovat. Tato data by se vložila do modelu, nechala by proběhnout simulace a z výstupních dat by byl zjištěn minimální potřebný počet operátorů NM v průběhu každého dne. Podle míry tolerance rizika by byl počet navýšen o určitý počet zaměstnanců na směně pro případ kumulace úkolů v letovém řádu, zařazení neplánovaných letů nebo nemoci či zranění zaměstnance.

Dalším bodem by bylo zapracování takového návrhu do rozplánování směn. Není akceptovatelné, aby kvalifikovaní zaměstnanci docházeli do práce pouze na krátké časové úseky pro pokrytí špiček provozu. Tudíž by se rozplánování směn mohlo skládat z osmi, deseti nebo dvanácti hodinových směn, které by byly v čase dne posunuty tak, aby jejich pokrytí co nejlépe odpovídalo provozním potřebám.



## 5. Shrnutí výsledků a diskuze

Cílem práce bylo získat minimum operátorů NM na směně. Řešení počtu lidských zdrojů bylo zvoleno na základě nedostatku kvalifikovaných zaměstnanců v případě nárůstu provozu a obtížnosti náboru nových. K dosažení cíle byl použit simulační model. Základem pro simulaci byla databáze všech letů odbavených na veřejných terminálech 1 a 2 ve dne 30. 8. 2019 a také změření časů a rychlostí v reálném provozu. Tento den byl vybrán jako modelový z důvodu jeho vytíženosti.

Minimálního počtu operátorů NM lze dosáhnout s využitím simulačního modelu a kombinací jejich práce s řidiči autobusu. Nejprve byly prověřeny scénáře společného, odděleného a současného provozu. Přičemž jako nejlepší vyšlo současné nastavení systému, a to umístění operátorů NM pod prsty B a C a ponechání letištních autobusů v jejich depu vedle terminálu 1 z důvodu vybudovaného zázemí. Dále bylo možné simulovat provoz operátorů NM. Při ponechání přistavování a odstavení nástupních mostů jen operátorům NM je jejich potřebný počet dán výstupy ze simulačního modelu. Ten generuje potřebné počty operátorů v průběhu celého dne, v nejvyšší provozní špičce se počet pohybuje mezi 9 a 11 zaměstnanci. To je z důvodu, že úkoly s NM jsou časově různé, mohou se pohybovat od 2 do 15 minut podle určitých zákonitostí.

Dále lze snížit počty pomocí propojení skupin s řidiči autobusu. Model simuluje i provoz letištních autobusů, a proto je možné zjistit a využít jejich volné kapacity pro operování s NM. V případě uvedené příkladné směny může v konkrétním čase vypomoci až 6 řidičů autobusu najednou, přičemž zvládnou obstarat 44 úkolů přistavení či odstavení NM z celkových 373, to je téměř 1/8 úkolů. Taková výpomoc má za výsledek optimální nastavení počtu operátorů NM na 5 v průběhu denní směny. To je veliký rozdíl oproti dostupnosti operátorů dne 30. 8. 2019, kdy jich bylo k dispozici až 12. Zároveň těchto dvanáct operátorů není plně vytíženo i kdyby vykonávali práci bez pomoci řidičů autobusů. Tato data o dostupnosti byla získána z databáze o využití automobilů pro operátory NM.

Výsledky jsou dle mého názoru pozitivní, podle předpokládaných cílů. Propojení skupin zaměstnanců, aby mohli vykonávat střídavě obě funkce, je výhodné s ohledem na výše uvedené výsledky. Další motivací může být nemonotónost výkonu práce a flexibilita v případě provozních potřeb nebo z dlouhodobého hlediska nahrazování odcházejících zaměstnanců. Celkový dopad řešení na provoz letiště může být značně pozitivní, a to



snížením počtu zaměstnanců na směnách, tím i menší náborové potřeby a snížení nedostatku stavu zaměstnanců.

Dále bylo možné určit počet operátorů NM, kteří mohou být vyčleněni pouze pro tuto práci, protože v době, kdy by skupina řidičů autobusů potřebovala pomoci s výkonem úkolů, mají tito operátoři úkoly svoje. Počet, který je smysluplný a motivovaný úsporou personálu s požadovanými licencemi pro řízení autobusů, jsou 2 zaměstnanci na denní směně. V noci přímo dedikovaní zaměstnanci nemusí být dostatečně využiti. V letní sezóně je možné oddělit operátory ve výše uvedeném počtu, v zimní sezóně by to bylo pravděpodobně obdobné, jen by stavy obou skupin možná byly poníženy. V rámci zimního letového řádu je pokles provozu citelný jak na odlehlých stáních, z důvodu sezónních linek nízkonákladových dopravců. Tak na kontaktních snížením rotací klasických i dovolenkových společností. Takové zavedení řešení by mělo jen dílčí pozitivní vliv na stav zaměstnanců. Pozitivní vliv by mělo jen v případě převodu více stávajících operátorů NM jen na pozici řidiče autobusu a náboru nových zaměstnanců jen na pozici operátora NM.

Zajímavostí k rozvedení diskuze je rozdíl časové náročnosti přistavení a odstavení NM. Pokud by probíhalo pouze přistavování, podle simulačních modelů byla potřeba maximálně 8 až 9 operátorů NM. Tímto vzniká otázka k diskusi, kde nastává rozdíl v dobách přistavování a odstavování NM. Tento rozdíl pravděpodobně vzniká při požadavku od check-in agentů v odletové bráně, kteří volají na CDP s požadavkem odstavení mostu raději s předstihem. Pak se ale může stát, že operátor NM mostů čeká, než všichni cestující nastoupí nebo se vyřídí a předají potřebné dokumenty mezi pilotní kabinou a RAC.

V závěru práce bych rád uvedl možné konfigurace systému zavedením nových technologií nebo procesů operátorů NM z důvodu prodiskutování některých možností reorganizace nebo inovací, které by mohly mít vliv na výsledný počet operátorů NM. Takové změny by představovaly razantní zásah do stávajícího systému a tyto změny by bylo nutné řešit zvlášť a pravděpodobně koncepčními studiiemi.

Druhy automatických NM již byly popsány v 1. kapitole. Tak jako jsou již například v provozu na letišti Changi v Singapuru, ve Wellingtonu, Amsterdamu či japonské Naritě, je možné uvažovat o jejich zavedení i na Letišti Praha. Tyto NM jsou založeny na technologiích umělé inteligence nebo kamer s vysokým rozlišením a dat ze senzorů. Obě metody mohou být přistavovány centrálně z dispečerského stanoviště. Vyznačují se kratším časem přistavení a k tomu operací provedenou bez fyzického čekání na operátora NM. Jsou výhodné z hlediska



snížení provozní zátěže kolem stojánky a v pozici Letiště Praha by nejvíce pomohlo snížit potřeby lidských zdrojů, kterých je dlouhodobý nedostatek. A to zpomalením nábory nových zaměstnanců a převodu stávajících operátorů NM jen na pozici řidiče autobusu. Tím by vzniklo krátkodobé řešení pro nedostatek personálu v době ožívování provozu. [13] [18]

Nový dvoudílný prosklený nástupní most s klimatizací stojí zhruba 15 milionů Kč. Přičemž automatický most (vybavení standardního NM automatickou technologií přistavování) je dražší o zhruba 1,1 milionu Kč. Z prvního pohledu je zřejmé, že by se ekonomické hledisko po prvních letech provozu autonomních NM mohlo vyplatit. [22]

Takové možnosti se tedy jeví jako velice zajímavé jak z procesního odbavení, tak z ekonomického hlediska například při obměně NM po konci jejich životnosti nebo především s výstavbou dalších částí terminálu 2. V případě zavedení automatických nástupních mostů by se problém bloky OLK autobusy omezil zpravidla jen na odvoz cestujících z nesrotovaných příletu pomocí autobusů.

Zlepšení procesů by se také dalo ověřit změnou koncepce dopravy samotných operátorů na místo vykonání úkolu. Jednou z možností je zřídit denní místnost v terminálu na úrovni odletových bran u kontaktních stání s tím, že se operátoři budou dopravovat na místo úkolu pěšky. Problémem může být vzdálenost. Pokud by se zachovaly stávající týmy pro operování NM v terminálu 1 a terminálu 2, je cesta mezi krajními NM vzdálena 500 až 700 metrů, což je poměrně velká vzdálenost. Další zpomalení času přemístění by mohly způsobit větší výškové rozdíly k překonání než v případě příchodu operátora z odbavovací plochy po servisním schodišti. A také průchod vícero dveřmi, které jsou kódované. Zde by bylo nutné dále posoudit bezpečnostní riziko častého průchodu a otevírání dveří z terminálu do NM. Na T1 je takové řešení téměř nemožné z důvodu oblasti SRA. Terminál 1 má totiž bezpečnostní kontroly až u otevřených odletových bran, a tak by ani nebylo možné zajistit bezpečnostní prohlídky operátorů NM na přílety letadel. [39]

Ke zrychlení pohybu po terminálu by se nedaly využít ani samovyvažovací nebo jednostopé dopravní prostředky, protože jejich užití v zóně SRA je zakázáno. Také se prst D nachází v jiné úrovni než prst C a mezi nimi jsou schody, eskalátory a výtah. [8]

Zajímavá reorganizace, která by mohla nastat předáním funkce a odpovědnosti RAC nemusí být vhodným řešením, protože ten v danou chvíli jak při přistavování, tak odstavování NM, nemá volný čas, aby se věnoval této činnosti. Zpravidla probíhá komunikace s posádkou nebo vnější kontrola letadla. Delegování této funkce handlingové společnosti také není





dobrým koncepčním řešením. Již v dnešní době mají odbavovací společnosti problém s nedostatkem personálu. Osoba operující s NM by musela být vyškolená a mít platné kvalifikace, tudíž by operování NM nemohli dělat všichni zaměstnanci handlingu a vedlo by to k vyčlenění a vzniku týmu lidí, který by zajišťoval jen odstavování a přistavování NM. Tím, že na Letišti Praha podniká více handlingových společností, vznikala by nadbytečná duplicita personálu. Navíc tato činnost úzce souvisí s přepravou cestujících mezi terminálem a letadlem, kterou zajišťuje Letiště Praha a má za ni nastavené určité poplatky. Problém by tedy spočíval ve využívání technologií letiště, která by byla operována jinými společnostmi, z čehož mohou plynout rizika. Na některých letištích takový model může fungovat, ale například na terminálu jen pro jednoho dopravce, který využívá svoji nebo dceřinou handlingovou společnost. [5]



## 6. Závěr

Tato práce zprvu zanalyzovala současný stav procesů týmu přepravy cestujících na letišti Václava Havla Praha. Postupně byl čtenář seznámen s postupy provozu letištních autobusů i nástupních mostů, mobilním vybavením, které zaměstnanci využívají ke svému výkonu práce a důležitým obsahem dopravního řádu Letiště Praha, který má vliv na provoz tohoto týmu. Dále byly popsány nástupní mosty včetně jejich druhů a technologií v kontextu s pražským i světovými letišti. Na jednotkách letišť ve světě jsou již zavedeny nebo se zavádí moderní technologie automatického přistavování mostů. Tyto technologie jsou velice zajímavé v souvislosti s cílem této práce, který je minimalizovat počet operátorů NM. Proto byla těmto technologiím věnována pozornost a uvedena do souvislosti s touto prací, kdy byly popsány i myšlenky a technické možnosti zavedení některých automatických nástupních mostů. Pro dosažení cíle práce byla zvolena metoda vytvoření modelu na stávajícím nastavení systému provozu a následných simulací. Proto bylo nutné dále popsat letištní infrastrukturu jak komunikací, tak stání a odletových bran. Dále byly uvedeny nedostatky současného stavu, které určily již k zmíněný cíl práce.

Jak již bylo zmíněno, optimalizace procesu operátorů NM byla vytvořena pomocí simulačního programu na stávajícím způsobu nastavení systému. Jako nástroj byl zvolen osvědčený simulační program AnyLogic, a to z důvodu možného multiagentního modelování, což je moderní a pružný způsob simulace od nižšího do vyššího stupně abstrakce. Takový způsob dobře vyhovoval požadavkům tohoto modelu, především ohledně vytváření agentů pro jednotlivé lety a komunikace s dalšími prvky v systému. Nejdříve byl vytvořen grafický model infrastruktury využívané týmem přepravy cestujících. Ihned poté byl vytvořen logický model, který svojí strukturou a podmínkami udává správné nastavení fungování modelu. Byly vloženi agenti, kteří simulovali pohyb automobilů a autobusů nebo je s informacemi pouštějí do procesu. Neméně cennou složkou bylo nahrání databáze se všemi komerčními lety dne 30. 8. 2019, na kterém byl provoz simulován. Po úspěšné validaci modelu byly nastaveny různé scénáře provozu, kde byl jako nejvhodnější potvrzen ten současný s umístěním výchozích bodů operátorů nástupních mostů pod prsty B a C. Výstupními daty tohoto nastavení simulace jsou potřebné počty operátorů NM v časovém průběhu celého dne. S těmito daty bylo dále pracováno a byly zjištěny počty operátorů NM, které je možné při pečlivém plánování směn ušetřit. Ačkoliv se práce věnovala především operátorům nástupních mostů, model simuluje i provoz letištních autobusů. Při propojení s tímto provozem bylo docíleno pozitivních výsledků ohledně výrazného snížení potřebných počtů operátorů NM na základě výpomoci řidičů letištních autobusů. Letišti Praha by se tak



podařilo snížit potřeby lidských zdrojů, kterých je dlouhodobý nedostatek. V tomto případě aktuálním zpomalením nábory nových zaměstnanců. Tím by vzniklo krátkodobé řešení pro nedostatek personálu v době ožívání provozu nebo před silnou letní sezónou. Z mého pohledu by bylo také velice kvalitním řešením pořizovat automatické NM, a tím pravděpodobně šetřit lidské zdroje. Aby se zachovala určitá kontinuita zaměstnanosti a ekonomická únosnost, bylo by vhodné pořizovat NM postupně s jejich obnovou kvůli koncem životností a také nasazovat tyto moderní technologie vždy při rekonfiguraci stání a při rozšiřování terminálu. Tím by se postupně snižovalo procento konvenčně ovládaných NM a zároveň s novou výstavbou opět nezvyšovalo.

Cílem práce bylo zároveň vytvoření tohoto simulačního modelu pro provoz obou skupin týmu přepravy cestujících. Ačkoli se práce nezabývá více simulacemi ani široce neinterpretuje a nevyhodnocuje výsledky provozu letištních autobusů a jejich řidičů, je na to připravena. Již nyní dokáže simulovat jejich provoz v průběhu celého dne dle nastaveného letového řádu. Proto bude model moci sloužit k dalšímu rozvinutí této práce i při řešení problémů a otázek ohledně provozu autobusů. Letový řád lze nastavit jakýmkoli způsobem a v návaznosti s tím i hledat ideální řešení provozu autobusů. Výhodou simulačních modelů je, že se všechny parametry dají snadno měnit a pozorovat, jak takové změny ovlivní výsledky, a tím potřeby na zdroje. Také činnosti lze různě nastavovat a analyzovat data plynoucí ze simulací provozu autobusů obsluhujících odlehlá stání, nesrotované přílety či odlety a případně i odvozy posádek. Zajímavé by mohlo být zjistit například časové potřeby autobusů při odbavení nízkonákladových a klasických dopravců. Nalézt rozdíly, určit kde vznikají a prodiskutovat důvody. V současné době je možný, kromě nedostatku pracovníků, také nedostatek provozuschopných autobusů Cobus 3000, pokud by se letecký provoz vrátil na úroveň před pandemií. Zde se nabízí například důležitá hypotéza, kolik letů či jaký počet cestujících je schopno letiště obsloužit pomocí současné flotily autobusů nebo například 40 autobusy.



## Seznam použité literatury

1. Letiště Václava Havla Praha odbavilo za rok 2019 rekordních 17,8 milionů cestujících [Letiště Praha]. 2020. Dostupné z: <https://www.prg.aero/letiste-vaclava-havla-praha-odbavilo-za-rok-2019-rekordnich-178-milionu-cestujicich>.
2. Letiště Praha loni odbavilo bezmála 4,4 milionu cestujících [Letiště Praha]. 2022. Dostupné z: <https://www.prg.aero/letiste-praha-loni-odbavilo-bezmala-44-milionu-cestujicich>.
3. TRAFFIC REPORT - AUGUST 2019 [Letiště Praha]. Dostupné z: [https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/B2B/Files/Statistics%20and%20reports/Praque%20Airport%20Traffic%20Reports/Traffic\\_report\\_1908\\_public.pdf](https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/B2B/Files/Statistics%20and%20reports/Praque%20Airport%20Traffic%20Reports/Traffic_report_1908_public.pdf).
4. Řidič autobusu – DOHODA [Práce na letišti]. Dostupné z: [https://pracenaletisti.jobs.cz/detail-pozice-letiste/?id=G2-1585671895-aden\\_brand0](https://pracenaletisti.jobs.cz/detail-pozice-letiste/?id=G2-1585671895-aden_brand0).
5. Jiří Pruša a kolektiv. Svět letecké dopravy. Galileo CEE Service ČR s. r. o., 2007, 648. ISBN 978-80-239-9206-9.
6. Parametry Cobus 3000, Dostupné z: <https://www.cobus-industries.de/produkte/cobus-3000/>.
7. Parametry Škoda Fabia, Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/fabia/fabia/fabia-rozmary>.
8. Dopravní řád Letiště Praha Ruzyně, LP-SM-004H/2008, Směrnice, str. 1 [cit. 2022-04-22] Dostupné z: [https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/staticke-stranky/5224/soubory/dopravni-rad-letiste-praha-ruzyne\\_0.pdf](https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/staticke-stranky/5224/soubory/dopravni-rad-letiste-praha-ruzyne_0.pdf).
9. Ing. KERNER, Libor, Prof. Ing. Ludvík KULČÁK, CSc. a Ing. Viktor SÝKORA. Provozní aspekty letišť. Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02841-0.
10. ELFIS spol. s.r.o, Pozemní zdroje pro letadla GPU a PCA. Dostupné z: <http://www.elfis.cz/shop/products/gpu/>.
11. Telescopic Bridge, FMT, Dostupné z: <https://www.fmt.se/airport/passenger-boarding-bridge/mobile-telescopic-bridge/>.
12. Remote Control Passenger Boarding Bridge, Airport Technology, Dostupné z: <https://www.airport-technology.com/products/remote-control-passenger-boarding-bridges/>.
13. The World First Fully Automated Aerobridge, Wellington Airport, Dostupné z: <https://www.wellingtonairport.co.nz/news/airport-updates/the-worlds-first-fully-automated-aerobridge-launches-at-wellington-airport/>.



14. AUTOMATIC AEROBRIDGE DOCKING, intellidock, Dostupné z: <https://www.airport-equipment.com/intellidock>.
15. Development of "Passenger boarding bridge" automated docking systém, ShinMaywa, Dostupné z: <https://www.shinmaywa.co.jp/english/interview/challenge/challenge01.html>.
16. AI-based boarding bridge inches closer to full automation, NIKKEIAsia, Dostupné z: <https://asia.nikkei.com/Business/Companies/AI-based-boarding-bridge-inches-closer-to-full-automation>.
17. Passenger boarding bridge, FMT, Dostupné z: <https://www.fmt.se/airport/passenger-boarding-bridge/>.
18. KLM Automatic Jet Bridge, Simpleflying, Dostupné z: <https://simpleflying.com/klm-automatic-jet-bridge/>.
19. AIRCRAFT PARKING / DOCKING CHART ICAO. Řízení letového provozu České republiky, 2021. Dostupné z: [https://aim.rlp.cz/ais\\_data/www\\_main\\_control/frm\\_cz\\_aip.htm](https://aim.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm).
20. Technical Information [Letiště Praha]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/node/5167>.
21. ODONI, Amedeo R.; BOWMAN, Jeremy; DELAHAYE, Daniel; DEYST, John; FERON, Eric; HANSMAN, John R.; KHAN, Kashif; KUCHAR, James K.; PUJET, Nicolas; SIMPSON, Robert W. Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2015. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/1721.1/96073>.
22. Passanger boarding bridge, Airport Suppliers, Dostupné z: <https://www.airport-suppliers.com/product/passenger-boarding-bridge/>.
23. AnyLogic 8 University 8.7.10. AnyLogic North America, [n.d.]. Ver. 8.7.10. Dostupné z: <https://www.anylogic.com>.
24. ASHFORD, Norman; MUMAYIZ, Saleh A.; WRIGHT, Paul H. Airport engineering: planning, design, and development of 21st century airports. 4th ed. Hoboken, N.J: Wiley, 2011. isbn 978-0-470-39855-5. OCLC: ocn670479660.
25. GRIGORYEV, Ilya. AnyLogic in Three Days - A quick course in simulation modeling. 5. vydání. AnyLogic, 2021. Dostupné z: <https://www.anylogic.com/upload/al-in-3-days/anylogic-in-3-days.pdf>.
26. Delay [AnyLogic Help]. Dostupné z: <https://anylogic.help/library-reference-guides/process-modeling-library/delay.html#delay>.
27. DORDA, Michal. Úvod do modelování a simulace systémů. Technická univerzita Ostrava - Fakulta elektrotechniky a informatiky, [n.d.]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace\\_2.pdf](http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace_2.pdf).



28. ARSHAM, Hossein. Modeling and Simulation [Systems Simulation: The Shortest Route to Applications] 2015. Dostupné z: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/simulation/sim.htm>.
29. Provoz letištních autobusů, LP-PP-022F/2010, Postupy, interní dokument Letiště Praha a. s.
30. Postupy, Provoz nástupních mostů, LP-PP-015X/2009, interní dokument Letiště Praha a. s.
31. SelectOutput [AnyLogic Help]. Dostupné z: <https://anylogic.help/library-reference-guides/process-modeling-library/selectoutput.html>.
32. CarSource [AnyLogic Help]. Dostupné z: <https://anylogic.help/library-reference-guides/road-traffic-library/carsource.html>.
33. CarMoveTo [AnyLogic Help]. Dostupné z: <https://anylogic.help/library-reference-guides/road-traffic-library/carmoveto.html>.
34. CarDispose [AnyLogic Help]. Dostupné z: <https://anylogic.help/library-reference-guides/road-traffic-library/cardispose.html>.
35. Agent [AnyLogic Help]. Dostupné z: <https://anylogic.help/anylogic/agentbased/agent.html>.
36. Collection [AnyLogic Help]. Dostupné z: <https://anylogic.help/anylogic/data/collection-variables.html>.
37. CAST Vehicle Ground Handling, simulation software, Dostupné z: <https://arc.de/cast-simulation-software/cast-vehicle-ground-handling/>.
38. Apron Infrastructure and GSE Resource Planning with Cast Vehicle Ground Handling Simulation, webinář 12. 5. 2022, Dostupné z: <https://arc.de/webinars/>.
39. Mapy.cz, Dostupné z: <https://mapy.cz/>.
40. (FIRM), LeighFisher; LANDRUM; BROWN; (U.S.), National Research Council; PROGRAM, Airport Cooperative Research; STATES, United (ed.). Evaluating airfield capacity. Washington D.C: Transportation Research Board, 2012. ACRP report, č. 79. isbn 978-0-309-25873-9. Dostupné z: <https://www.nap.edu/catalog/22674/evaluating-airfield-capacity>. OCLC: ocn824954308.
41. MOTA, Miguel Mujica; BOOSTEN, Geert; DE BOCK, Nico; JIMENEZ, Edgar; SOUSA, Jorge Pinho de. Simulation - based turnaround evaluation for Lelystad Airport. Journal of Air Transport Management [online]. 2017, vol. 64, s. 21-32, issn 0969-6997. Dostupné z DOI: [10.1016/j.jairtraman.2017.06.021](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.06.021).
42. MULTIMETHOD SIMULATION MODELING FOR BUSINESS APPLICATIONS, White paper. Anylogic. [online]. 2018 Dostupné z: <https://www.anylogic.com/resources/white-papers/multimethod-simulation-modeling-for-business-applications/>.



43. BONABEAU, E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. Proceedings of the National Academy of Sciences [online]. 2002, vol. 99, s. 7280-7287 issn 0027-8424, issn 1091-6490. Dostupné z DOI: [10.1073/pnas.082080899](https://doi.org/10.1073/pnas.082080899).
44. LAUBENBACHER, Reinhard; HINKELMANN, Franziska; OREMLAND, Matt. Agent-Based Models and Optimal Control in Biology: A Discrete Approach. In: Mathematical Concepts and Methods in Modern Biology [online]. Elsevier, 2013, s. 143-178, isbn 978-0-12-415780-4. Dostupné z DOI: [10.1016/B978-0-12-415780-4.00005-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415780-4.00005-3).