



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy

**Model toků cestujících ve veřejné části Terminálu 2 na LKPR**  
**Passengers Flows Model at the Prague Airport Terminal 2 Landside**

**Bakalářská práce**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích 3

Studijní obor: Technologické a údržba letadel

Vedoucí práce: Ing. Jiří Volt

Ing. Petr Had

**Alessandro Sartori**

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621.....Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Alessandro Sartori**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský – TUL – Technologie údržby letadel**

Název tématu (česky): **Model toků cestujících ve veřejné části Terminálu 2 na LKPR**

Název tématu (anglicky): **Passengers' Flows Model at the Prague Airport Terminal 2 Landside**

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vytvořit model toků cestujících ve veřejné části Terminálu 2 na Letišti Václava Havla Praha.
- Proved'te analýzu současné konfigurace veřejné části Terminálu 2.
- Definujte prvky systému a relevantní procesy.
- Vytvořte model pohybu cestujících v definovaném prostoru.
- Proved'te simulaci provozu na základě definovaných provozních scénářů.
- Proved'te ověření správnosti nastavení modelu a výsledky diskutujte.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Wolfgang Kuhn, Handbook of digital enterprise systems: digital twins, simulation and AI, 2019  
Sinclair Dale, The Lead Designer's Handbook: Managing Design and the Design Team in the Digital Age, 2019  
IATA, Airport Handling Manual

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jiří Volt**

**Ing. Petr Had**

Datum zadání bakalářské práce:

**7. října 2022**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**30. listopadu 2023**

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

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Alessandro Sartori  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 8. srpna 2023



## **Abstrakt**

Cieľom bakalárskej práce je štúdium toku cestujúcich v rámci verejnej časti Terminálu 2 Letiska Václava Havla v Prahe. Za týmto účelom bol vytvorený počítačový model uvažovaného priestoru Terminálu 2. V práci je využitá metóda multiagentného modelovania, ktorá je vďaka svojej flexibilitě a ďalším výhodám pre podobné účely často používaná. Pred tvorbou samotného modelu boli zostrojené vývojové diagramy, jeden príletový a jeden odletový, ktoré boli potrebné pri tvorbe modelu. Vytvorený model slúži k tvorbe simulácií prevádzkových scenárov. Dôležité bolo vykonať validáciu modelu s použitím údajov z prevádzky. Následne boli stanovené jednotlivé miesta, v ktorých po spustení simulácie, dochádzalo k sledovaniu definovanej premennej. Sledovanou premennou boli časy, ktoré cestujúci strávili v odletovej a príletovej hale, v rade na odbavovaciu prepážku a pri preberaní odbavenej batožiny z karuselov. Táto premenná bola sledovaná a porovnávaná v rámci definovaného priestoru. Na validáciu správne nastaveného modelu slúžili tzv. „optimum queing time“ hodnoty vydávané medzinárodnou organizáciou IATA.

**Kľúčová slova:** letisko, tok cestujúcich, Letisko Václava Havla v Prahe, multiagentné modelovanie



## **Abstract**

The bachelor thesis studies the passenger flow at defined areas of the landside at Vaclav Havel Airport's Terminal 2 in Prague. For the study of the selected areas, a computer model has been created using the multiagent modeling method. The method has been selected for its flexibility and other advantages. Before designing the computer model, flow diagrams representing steps and processes of the selected areas have been created. The model then simulates various scenarios at the selected terminal areas. Real operational data has been used for the representation of different events throughout a pre-defined time period. The study monitors variables, including time spent by passengers in the departure and arrival halls, at the check-in counter and during the collection of checked baggage from carousels. The variables have been monitored and compared with the selected terminal areas. In order to validate the correct setup of the model, the optimum queuing time values issued by IATA have been used.

**Keywords:** airport, passenger flow, Vaclav Havel Airport in Prague, multi-agent modelling



## **Poděkování**

Rád by som poďakoval svojim vedúcim práce, Ing. Petrovi Hadovi a Ing. Jiřímu Voltovi, za cenné rady, odborne vedenie počas tvorby práce. Taktiež by som chcel poďakovať Letiště Praha za poskytnutie údajov potrebných k tvorbe práce. Ďalej by som chcel poďakovať svojej rodine a priateľke za veľkú podporu počas celej doby štúdia.



### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Model toků cestujících ve veřejné části Terminálu 2 na LKPR vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Praze dne 30. listopadu 2023

*Alessandro Sartori*

Podpis



## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU TERMINÁLU 2 NA LKPR</b> .....	<b>14</b>
2.1	ROZLOŽENIE LKPR.....	14
<b>3</b>	<b>TERMINÁL 2</b> .....	<b>16</b>
3.1	VSTUPNÉ BODY DO TERMINÁLU 2 .....	16
3.1.1	<i>Odlety</i> .....	16
3.1.2	<i>Prílety</i> .....	16
3.2	ODBAVENIE CESTUJÚCICH.....	17
3.2.1	<i>Štandardný check-in</i> .....	18
3.2.2	<i>Online check-in</i> .....	19
3.2.3	<i>Self-service check-in</i> .....	19
3.3	ODBAVENIE BATOŽINY .....	20
3.3.1	<i>Štandardné odbavenie batožiny</i> .....	21
3.3.2	<i>Self-service bag drop</i> .....	21
3.4	VALIDÁTORY PALUBNÝCH VSTUPENIEK.....	22
3.5	NEVEREJNÝ PRIESTOR PRÍLETOV TERMINÁLU 2.....	23
3.5.1	<i>Karusely – preberanie odbavenej podpalubnej batožiny</i> .....	23
3.5.2	<i>Colná kontrola</i> .....	24
3.6	DOPLNKOVÉ SLUŽBY V T2.....	24
<b>4</b>	<b>TEORETICKÝ ZÁKLAD A ZVOLENÁ METODOLÓGIA</b> .....	<b>25</b>
4.1	MULTIAGENTNÉ MODELOVANIE.....	25
4.2	APLIKÁCIE MULTIAGENTNÉHO MODELOVANIA.....	26
4.3	VYUŽITIE SIMULÁCIE V PROSTREDÍ LETISKOVÉHO TERMINÁLU – ANYLOGIC.....	29
<b>5</b>	<b>NÁVRH MODELU</b> .....	<b>30</b>
5.1	DEFINÍCIA PROSTREDIA A PRVKOV .....	30
5.2	VYVOJOVÉ DIAGRAMY - FLOWCHARTY .....	31
5.2.1	<i>Odletový diagram</i> .....	32
5.2.2	<i>Príletový diagram</i> .....	32
<b>6</b>	<b>TVORBA MODELU A VSTUPNÉ ÚDAJE</b> .....	<b>35</b>
6.1	VSTUPNÉ PARAMETRE.....	35
6.2	IMPLEMENTÁCIA VSTUPNÝCH PARAMETROV DO TVORBY MODELU.....	39
6.2.1	<i>Model odletov</i> .....	40



6.2.2	Model priletov .....	43
<b>7</b>	<b>VALIDÁCIA MODELU .....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>PREZENTÁCIA VÝSLEDKOV A DISKUSIA .....</b>	<b>46</b>
8.1	VÝSLEDKY SIMULÁCIE.....	48
<b>9</b>	<b>ZÁVER .....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>55</b>



## Seznam obrázků

Obr. 1 - plán jednotlivých terminálů Letiska Praha <sup>33</sup> .....	15
Obr. 2 – vstupné dvere do priletovej haly .....	17
Obr. 3 – pohľad na informačné tabule v odletovej hale Terminálu 2 .....	18
Obr. 4 – pohľad na ostrov so štandardnými check-in prepážkami.....	18
Obr. 5 – kiosk na samoobslužné odbavenie .....	20
Obr. 6 – prepážky slúžiace na samoobslužné odbavenie podpalubnej batožiny .....	21
Obr. 7 – validátory palubných vstupeniiek .....	22
Obr. 8 – priestor karuselov priletovej haly Terminálu 2 .....	23
Obr. 9 – vstup do priestorov Colného úradu pri východe z karuselovej časti .....	24
Obr. 10 – mapa priletovej haly – Apple maps – 2.6.2023 .....	30
Obr. 11 – mapa odletovej haly – Apple maps – 2.6.2023.....	31
Obr. 12 – odletový diagram .....	33
Obr. 13 – priletový diagram .....	34
Obr. 14 – Flowchart pedBlocks v rozhraní AnyLogic pre odlety .....	42
Obr. 15 – pohľad na odletovú časť modelu v programe AnyLogic .....	42
Obr. 16 - Flowchart pedBlocks v rozhraní AnyLogic pre prílety.....	44
Obr. 17 – pohľad na priletovú časť modelu v programe AnyLogic .....	44
Obr. 18 – snímka z programu AnyLogic – vstupy odletovej haly .....	46
Obr. 19 – snímka z programu Anylogic – check-in prepážky .....	47
Obr. 20 – snímka z programu AnyLogic – validátory palubných vstupeniiek.....	47
Obr. 21 – snímka z programu Anylogic – priletová hala a priestor karuselov .....	48



## Seznam symbolů a zkratk

IATA	Medzinárodné združenie leteckých dopravcov - International Air Transport Association
ICAO	Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo - International Civil Aviation Organization
LKPR	Letisko Praha Ruzyně
SRA	Vyhradený bezpečnostný priestor - Security Restricted Area
PAX	Passengers – cestujúci
LCC	Low-Cost Carrier – nízko nákladová spoločnosť
LEG	Legacy Carrier – štandardná spoločnosť
LP	Letiště Praha
OQT	Optimum Queuing Times – optimálny čas čakania v rade podľa IATA



## 1 Úvod

Táto bakalárska práca má ako hlavný účel vytvorenie počítačového modelu verejnej časti Terminálu 2 letiska Václava Havla v Prahe. Ten je zároveň podpornou súčasťou modelu, ktorý je tvorený na Fakulte dopravnej ČVUT. Jeho hlavné využitie má byť hlavne tvorba a simulácia rôznych prevádzkových scenárov, ktoré následne bude možné sledovať a využívať pre prípadný ďalší výskum.

Letecká doprava a s ním spojená prevádzka sú oblasti, v ktorých dochádza k masívnemu využitiu moderných technológií, ako je napr. využívanie nových bezpečnostných skenerov. Moderné technológie sú využívané zo strany leteckého dopravcu, ale aj prevádzkovateľa letiskových služieb, kde je snahou zefektívniť prevádzkové postupy a procesy. V neposlednom rade sú tieto služby využívané k znižovaniu nákladov, respektíve k lepšiemu využívaniu finančných prostriedkov.

Počítačové simulácie majú zásadnú výhodu a to, že k ich zhotoveniu a vyhodnoteniu nie je potrebné priamo ovplyvniť, pozastaviť či pozmeniť prevádzku. Postačuje získať dostatočné množstvo dát, ktoré budú slúžiť k zreplikovaniu a následnej kontrole samotnej prevádzky pomocou rôznych počítačových programov.

Práca ma za úlohu taktiež priblížiť všeobecnú štruktúru letiska, zahrnuté procesy a prvky a v neposlednom rade vysvetliť princíp použitej metodiky. Prvá kapitola sa zaoberá aktuálnou konfiguráciou Terminálu 2 na LKPR. Popisuje všeobecné informácie o Termináli 2, jeho celkové rozloženie a opis priestoru, prvkov a procesov. Tieto informácie sú ďalej potrebné pre zadefinovanie vstupných údajov pre tvorbu modelu.

Ďalšia kapitola zahŕňa všeobecné teoretické informácie o metodike tvorby modelu. Popisuje metódu použitú v tejto práci, konkrétne metódu s použitím agentov. Spomínané sú takisto aj výhody, vďaka ktorým je táto metóda v praxi široko využívaná. V tejto kapitole sú takisto popísané práce, ktoré túto metódu využívajú, a teda jednotlivé aplikácie tejto metódy. Na záver kapitoly je teoreticky popísaný použitý software AnyLogic. Opäť sú spomenuté jeho základné charakteristiky a hlavne výhody, kvôli ktorým je používaný.

Ďalšia kapitola predstavuje návrh modelu. Sú v nej definované jednotlivé prvky, ale aj prostredie, v ktorom je model zasadený. Keďže prostredím je priestor verejnej časti



Terminálu 2 Letiska Praha, jednotlivé časti sú v tejto časti detailnejšie popísané. Na záver kapitoly sú popísané stavové diagramy, základné charakteristiky a cieľ ich využitia v tejto práci, ale aj všeobecne. V práci boli vytvorené dva vývojové diagramy, príletový a odletový, a oba sú v tejto kapitole detailnejšie popísané a zobrazené. Práve stavové diagramy boli vstupným bodom pre tvorbu simulácii popísaných v ďalšej kapitole.

Nasledujúca kapitola popisuje tvorbu modelu a údaje, ktoré boli použité, spracované a následne implementované do vytváraného modelu. Práve poskytnuté údaje slúžili ako počítačové podmienky, vďaka ktorým bolo možné úspešne spustiť simuláciu modelu a získať z nej ďalšie potrebné informácie.

V ďalšej kapitole sú znázornené samotné simulácie modelu. Bol uvažovaný tzv. validačný scenár, ktorý je v danej kapitole bližšie popísaný a slúžil na určenie správnosti nastavenia predpokladov modelu. Validačný scenár predpokladá štandardnú prevádzku letiska v ľubovoľný deň a vychádza z reálnych dát poskytnutých LP. Skúmaným parametrom bol čas na troch miestach vo verejnej časti Terminálu 2. Prvým z nich bol čas strávený na odbavovacej prepážke, ďalej bol sledovaný celkový čas strávený cestujúcim v odletovej hale a posledný bol sledovaný celkový čas v príletovej hale. Zo získaných údajov boli vyhodnotené príslušné výsledky a diskutované v poslednej kapitole.



## 2 Analýza súčasného stavu Terminálu 2 na LKPR

Letisko Václava Havla v Prahe, ďalej len Letisko Praha, bolo otvorené v roku 1937. Kódové označenie je LKPR podľa ICAO, resp. PRG podľa IATA.<sup>1</sup> Letisko Praha pohotovými riešeniami rýchlo reagovalo na následky obdobia pandémie COVID-19 a z nej vychádzajúcich opatrení a už v roku 2021 sa podarilo odbaviť takmer 4,4 mil. cestujúcich.<sup>2</sup> Na základe narastajúceho trendu počtu cestujúcich za rok sa predpokladá dosiahnutie pred-pandemických hodnôt.

V priebehu posledného roku boli znovu zavedené nové priame spojenia, napr. spoločnosť Delta Airlines v roku 2022 zaviedla linku do New Yorku (JFK).<sup>3</sup> Spoločnosť Korean Air v roku 2023 uskutočnila prvý let do kórejského Soulu (ICN)<sup>4</sup> a najmladšie spojenie Prahy s ďalekým východom zaisťuje spoločnosť China Airlines, ktorá priviedla späť pravidelnú linku do Taipei (TPE).<sup>5</sup>

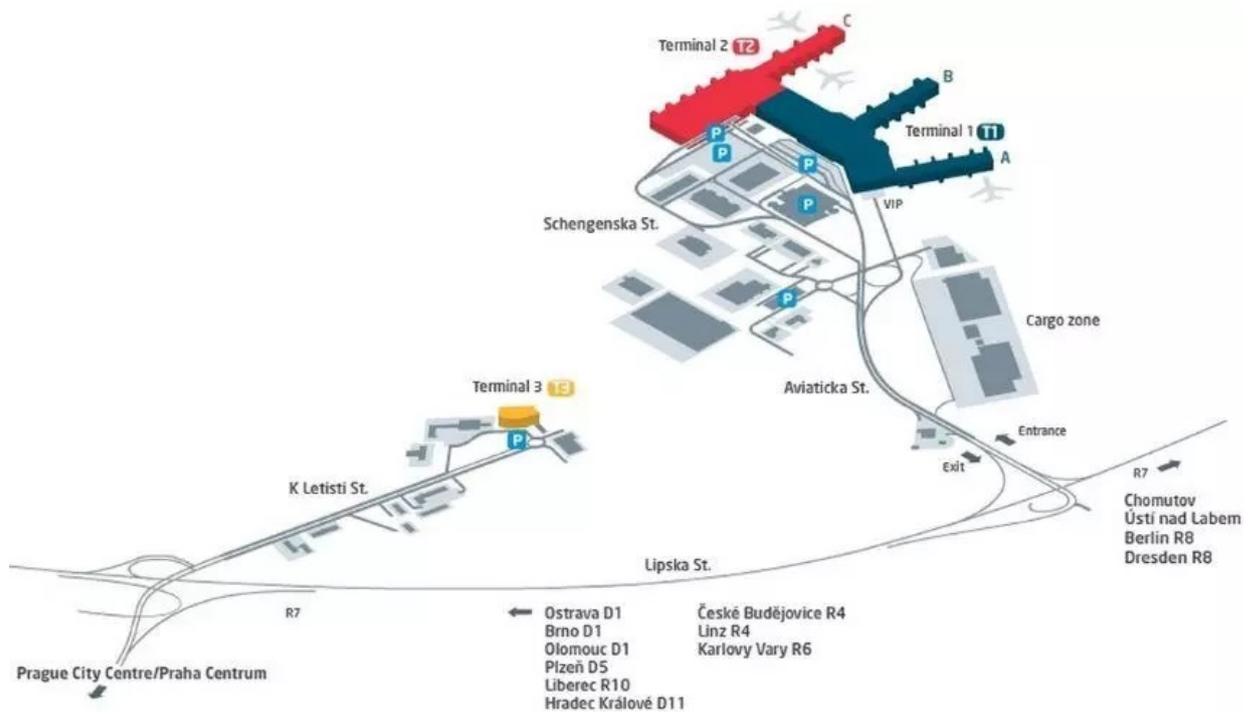
Aktuálne Letisko Praha ponúka možnosť cestovať do 152 destinácií po celom svete a lety sprostredkuje 65 leteckých spoločností. V roku 2022 Letisko Praha odbavilo 10 734 880 cestujúcich, čo predstavuje 145 % nárast oproti roku 2021.<sup>6</sup> Množstvo odbavených cestujúcich dokazuje vyťaženosť a významnosť Letiska Praha v rámci regiónu Strednej Európy.

### 2.1 Rozloženie LKPR

Letisko Praha je rozdelené do dvoch samostatných areálov:

1. Areál Juh, kde sa nachádza Terminál 3 a Terminál 4, ktoré slúžia na odbavovanie súkromných letov či medzinárodných delegácií štátnych návštev.
2. Areál Sever pozostáva z Terminálu 1, kde sú odbavované lety do krajín mimo schengenský priestor, Terminálu 2, v ktorom sú odbavované lety do krajín Schengenského priestoru a Cargo terminálu, kde sú odbavované lety spoločnosti prepravujúcich tovar.

Rozloženie jednotlivých terminálov je zobrazené na Obr. 1.



Obr. 1 - plán jednotlivých terminálů Letiska Praha <sup>33</sup>



### **3 Terminál 2**

Terminál 2 bol dokončený v roku 2005 a má celkovú podlahovú plochu 85 000m<sup>2</sup>, ktorá je rozložená do dvoch podlaží, voľne prístupných cestujúcim.<sup>7</sup> Nachádza sa v juhozápadnej časti Areálu Sever a vedie k nemu ulica Aviatická.

Prízemie je obsluhované taxislužbami, ktorých terminál je priamo pri východe z priletovej haly a autobusovými spojmi mestskej hromadnej dopravy, ktoré prepájajú celý areál letiska a zároveň zabezpečujú prepojenie s mestom.

Spojenie s Terminálom 1 je zabezpečené pomocou krytej chodby, ktorá umožňuje jednoduchý presun cestujúcich v rámci terminálového priestoru, bez nutnosti opustiť vnútorné priestory letiska.

Terminál 2 je vybavený 96 štandardnými check-in prepážkami a 21 samoobslužnými kioskami.<sup>8</sup> Check-in prepážky sú rozdelené do štyroch častí, tzv. ostrovov. Celková dĺžka každého z nich je 36 m a ich vzájomná vzdialenosť je 22 m. Prvé tri ostrovy pozostávajú každý z 24 štandardných check-in prepážok.

Posledný ostrov je tvorený dvoma časťami. Prvá pozostáva z 12 štandardných check-in prepážok a druhá časť je vyhradená pre self-service bag drop (samoobslužná prepážka na odbavenie), tvorená 12 prepážkami. Limitná kapacita Terminálu 2 je 2500 pax/h a hlavným limitujúcim faktorom sú validátory palubných vstupeniiek, ktoré sa nachádzajú pred vstupom do bezpečnostnej kontroly.<sup>9</sup>

#### **3.1 Vstupné body do Terminálu 2**

##### **3.1.1 Odlety**

Vstupné body odletovej haly tvorí 6 dverí označených písmenami A až F. Na rozdiel od prízemnej časti sa tu nachádza iba parkovisko s krátkym státím slúžiace na vyloženie batožín a cestujúcich.

##### **3.1.2 Prílety**

V priletovej hale tvorí vstupné body 5 dverí označené písmenami A až E, príklad je zobrazený na Obr. 2. Zároveň je tu umiestnená zastávka mestskej hromadnej dopravy spolu s terminálom pre taxi.



Obr. 2 – vstupné dvere do príletovej haly

### 3.2 Odbavenie cestujúcich

Odbavovanie cestujúcich, angl. check-in, je proces, počas ktorého je cestujúci evidovaný v systéme pre daný let. Výsledkom je vystavenie palubnej vstupenky a určenie sedadla v lietadle. V tomto momente dochádza aj k odbaveniu prípadnej podpalubnej batožiny.

Informačné tabule, ktoré sa nachádzajú vo vstupnej časti odletovej haly obsahujú informácie ako je: aktuálny čas, číslo letu, čas odletu, destinácia, na ktorých prepážkach prebieha odbavenie cestujúcich a prípadne ďalšie komentáre alebo informácie k jednotlivým letom.

Pomocou informačných tabúľ, zobrazené na Obr. 3, je tým pádom možné nasmerovať cestujúcich k správnym prepážkam, kde bude následne prebiehať samotný odbavovací proces, a tak rozdeliť tok vstupujúcich cestujúcich do priestorov odletovej haly terminálu. <sup>10</sup>



Obr. 3 – pohľad na informačné tabule v odletovej hale Terminálu 2

### 3.2.1 Štandardný check-in

Pod pojmom štandardný check-in je definovaný proces odbavenia cestujúceho na check-in prepážke v priestoroch letiska, ako sú napr. tie zobrazené na Obr. 4.<sup>11</sup> Väčšina leteckých spoločností ponúka túto službu zdarma, ale niektorí dopravcovia, najmä nízkonákladové spoločnosti ako Ryanair, EasyJet či WizzAir, ponúkajú službu štandardného odbavenia iba za príplatok. Ich cieľom je, aby sa cestujúci sám odbavil už doma pred príchodom na letisko využitím tzv. online check-in, popísaný v kapitole 3.2.2.



Obr. 4 – pohľad na ostrov so štandardnými check-in prepážkami



### 3.2.2 Online check-in

Online check-in vykonáva cestujúci ešte pred príchodom na letisko. Cestujúci si ho vybaví na internetovej stránke prepravcu alebo v aplikácii, ktorú si nainštaluje do svojho telefónu. Následne, po vyplnení potrebných osobných údajov je vygenerovaná palubná vstupenka, ktorou sa cestujúci preukazuje pri validátoroch, pred vstupom k bezpečnostnej kontrole.

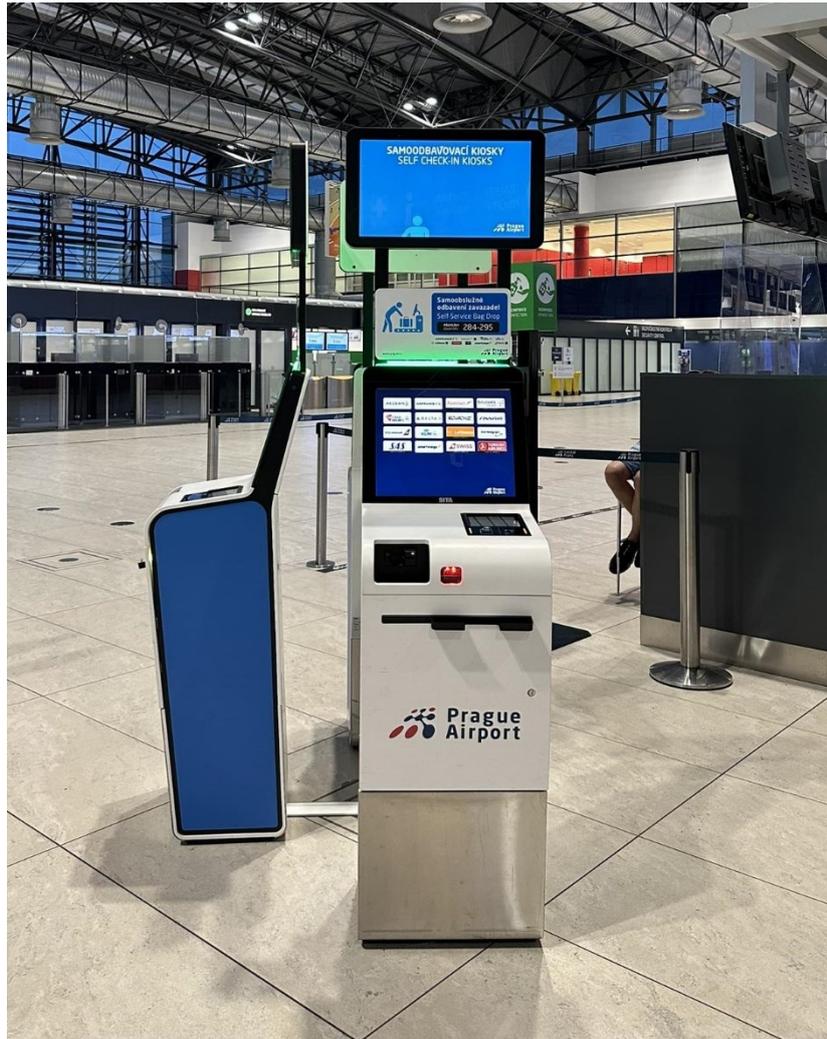
Tento spôsob odbavenia cestujúcich preferujú hlavne nízkonákladové spoločnosti, keďže odpadá nutnosť prítomnosti personálu a dochádza tak k zníženiu nákladov zo strany dopravcu. Ďalšou výhodou je nižšia priestorová náročnosť na terminál, pretože postačuje nižšie množstvo odbavovacích prepážok.<sup>12</sup>

Tento prístup môže byť pre cestujúceho komplikovanejší, hlavne pre staršiu generáciu, ale aj pre ľudí, ktorí využívajú leteckú dopravu zriedkavo, prípadne prvýkrát.

### 3.2.3 Self-service check-in

Ďalšou možnosťou odbavenia je self-service check-in. Letecká spoločnosť, resp. predajca poskytne cestujúcemu potvrdenie o nakúpe letenky, na základe ktorého si na letisku sám vytlačí palubnú vstupenku.

Tento proces je zabezpečený samoobslužným kioskom, zobrazený na Obr. 5, ktorého hlavnou výhodou sú nízke čakacie doby a postačujúca je aj prítomnosť obmedzeného počtu zamestnancov (väčšinou je pre všetky samoobslužné kiosky určená jedna osoba).<sup>13</sup> V prípade, že cestujúci má podpalubnú batožinu, ktorú je potrebné odbaviť, môže využiť možnosti odbavenia, ktoré sú bližšie popísane v kapitole 3.3.



Obr. 5 – kiosk na samoobslužné odbavenie

### 3.3 Odbavenie batožiny

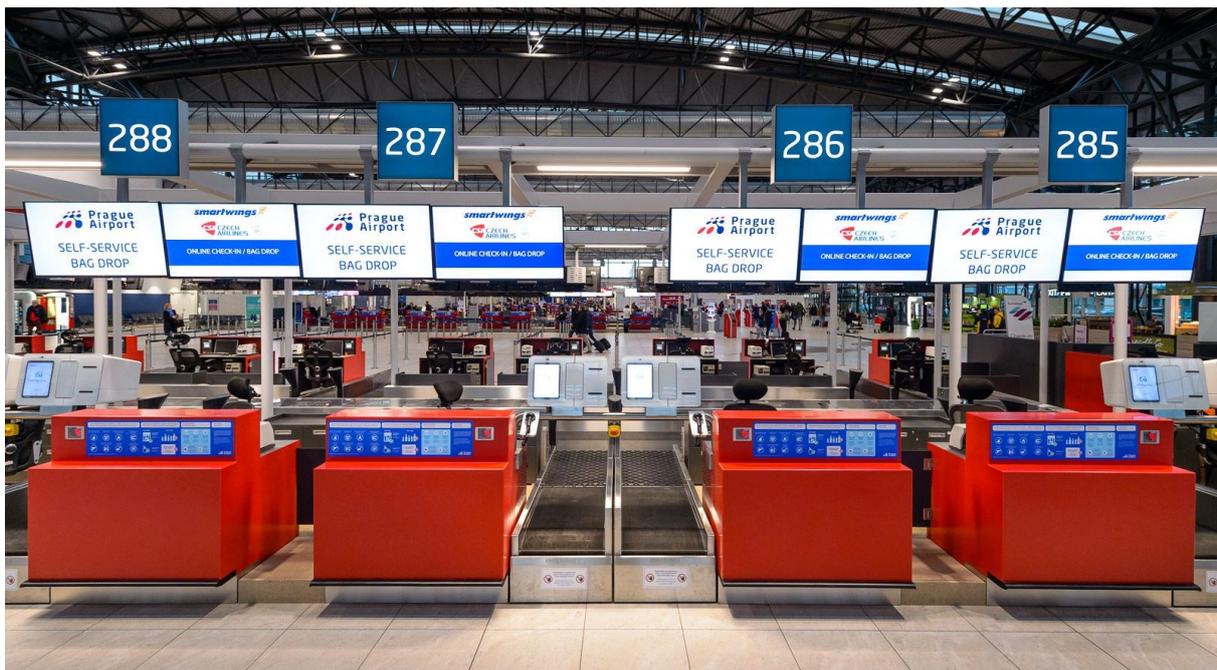
Pri odbavení batožiny, cestujúci odovzdáva batožinu, ktorá je po odvážení opatrená príslušným označením, na ktorom sú uvedené potrebné informácie o cestujúcom a jeho lete. Cestujúcemu sa vydá potvrdenie o odovzdaní podpalubnej batožiny, ktoré slúži zároveň ako doklad v prípade straty batožiny. Batožina je automaticky dopravníkmi odoslaná do priestoru triediarne, kde je skontrolovaná a následne dopravená na palubu lietadla.

### 3.3.1 Štandardné odbavenie batožiny

Štandardný proces odbavenia batožiny prebieha súbežne s odbavením cestujúceho na check-in prepážke, vid' Obr. 4, kde cestujúci predá svoju batožinu pracovníkovi, ktorý ju opatrí príslušným označením a vydá mu potvrdenie o odovzdaní batožiny.

### 3.3.2 Self-service bag drop

Ako v prípade self-service check-in aj odbavenie batožiny je možné vykonať individuálne cestujúcim v tzv. self-service bag drop, prepážka je zobrazená na Obr. 6. Cestujúci sám opatrí svoju batožinu označením a vloží ju na dopravník samoobslužnej prepážke. Tento proces nadväzuje na self-service check-in, nakoľko cestujúci je povinný v prvom kroku vybaviť self-service check in, príp. online check-in z domu a následne pristúpiť k self-service bag drop, kde odovzdá batožinu. Hlavným dôvodom využívania týchto automatizovaných prepážok, je rozsiahle zjednodušovanie procesov a znižovanie nákladov, keďže dochádza k redukcii potrebného letiskového personálu v odbavovacích prepážkach.<sup>14</sup>

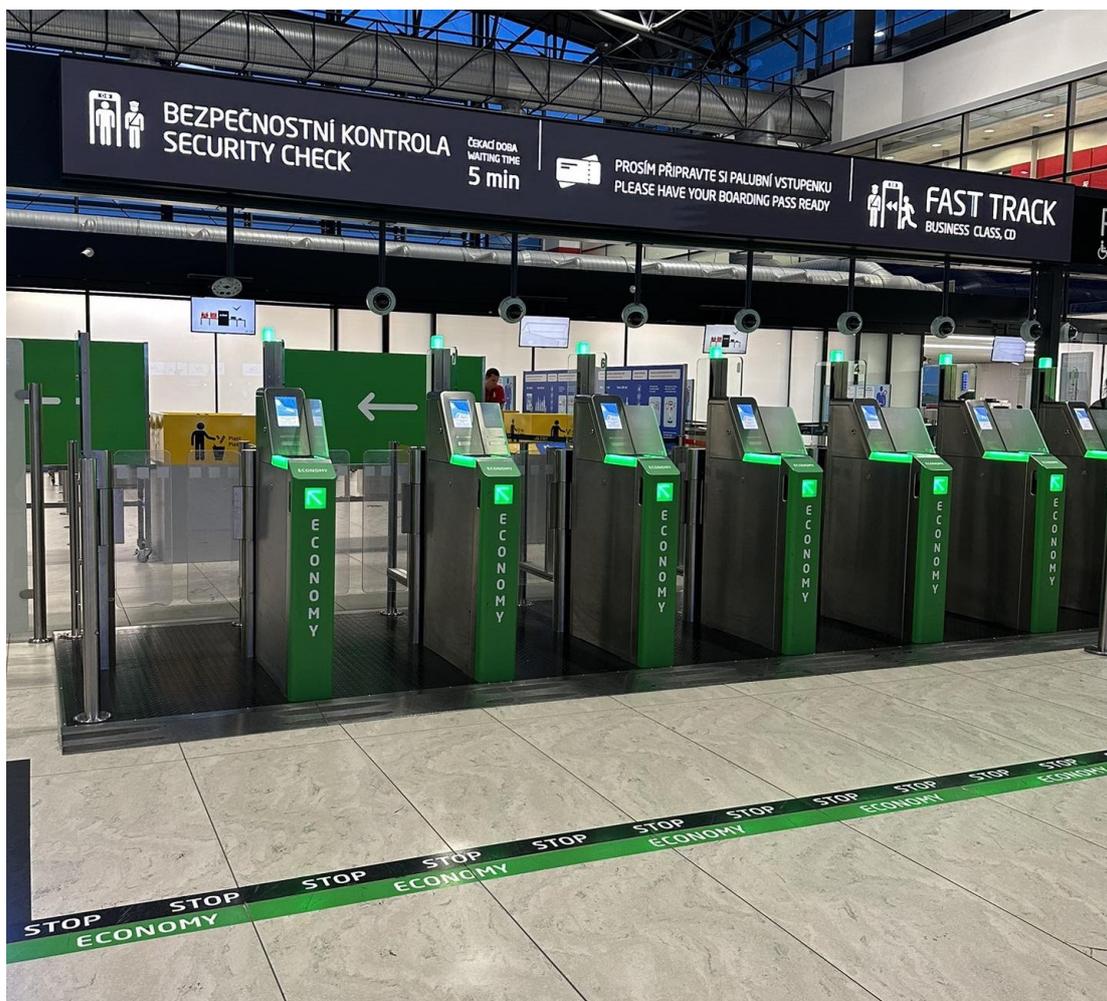


Obr. 6 – prepážky slúžiace na samoobslužné odbavenie podpalubnej batožiny

### 3.4 Validátory palubných vstupeniiek

Validátor palubných lístkov je zariadenie, ktoré umožňuje vstup iba s platným palubným lístkom.<sup>15</sup> Na Letisku Praha sa tieto validátory nachádzajú v priestoroch odletovej časti oboch terminálov. V priestore Terminálu 1 sa nachádzajú pred pasovou kontrolou a v Termináli 2 sú pred vstupom do queue managementu bezpečnostnej kontroly. Práve vďaka tejto inovácii je možné zistiť priemerný čas strávený v rade pred bezpečnostnou kontrolou.

Ako je možné vidieť na Obr. 7, táto služba je tvorená celkovo deviatimi validátormi. Šesť je určených pre cestujúcich letiacich triedou economy. Dva ďalšie, kategorizované ako fast track, zabezpečujú prístup k prednostnej bezpečnostnej kontrole a sú určené pre cestujúcich, ktorí si túto doplnkovú službu zakúpili, prípadne je zahrnutá v cene letenky cestujúcich letiacich vyššou triedou. Posledný vstup je vyhradený pre posádky, cestujúcich s malými deťmi a kočíkmi a cestujúcich s obmedzenou schopnosťou pohybu vrátane doprovodu.



Obr. 7 – validátory palubných vstupeniiek

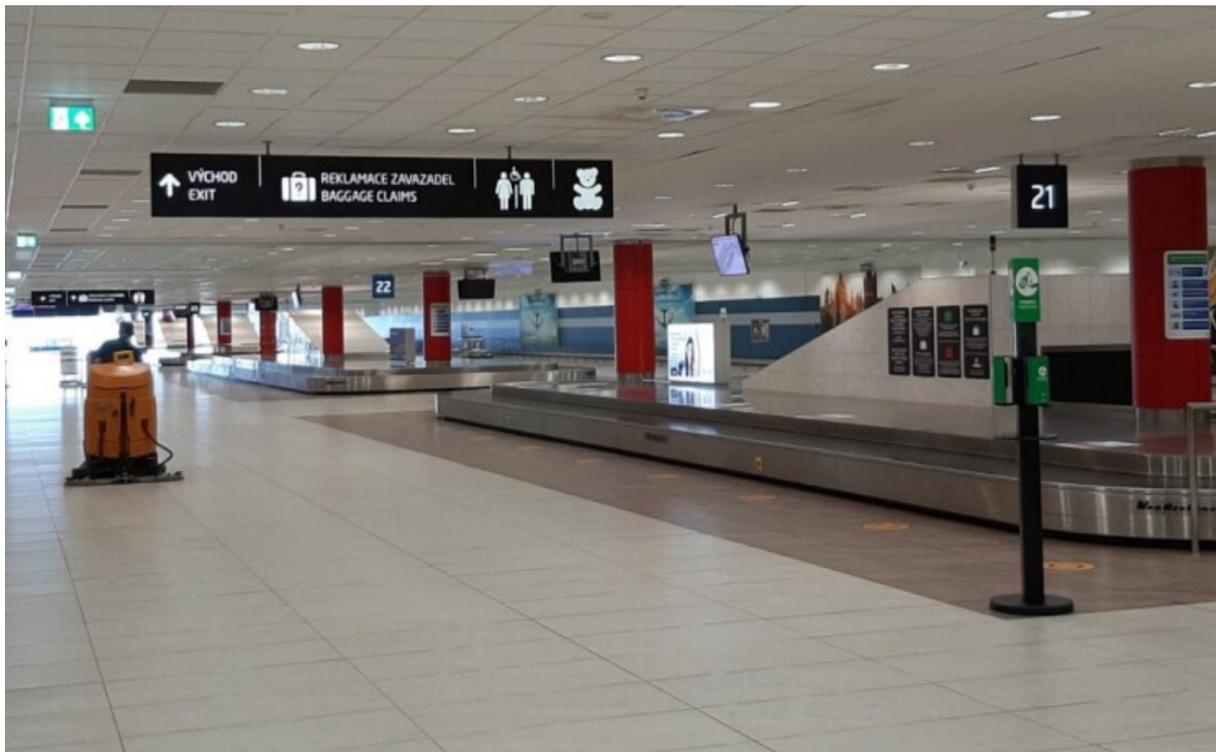
### 3.5 Neverejný priestor priletov Terminálu 2

Neverejný priestor je priestor stavieb a plôch, ktorého vstup je kontrolovaný, a teda prístup doň má iba vyhradená skupina ľudí. V týchto priestoroch sa môžu nachádzať zóny, v ktorých je vyžadovaná dodatočná bezpečnostná kontrola, tzv. SRA – Security Restricted Area.<sup>16</sup>

V odletovej hale sa tento priestor nachádza hneď za validátormi palubných lístkov pred bezpečnostnou kontrolou. V priletovej časti Terminálu 2 je neverejný priestor ohraničený vstupnými bránami, druhú hranicu tvorí colný úrad, ktorý oddeľuje neverejnú časť od verejnej časti.

#### 3.5.1 Karusely – preberanie odbavenej podpalubnej batožiny

Karusely, hovorovo pásy na batožinu, slúžia na odovzdanie batožiny, ktorú cestujúci odbavil na letisku pred letom. Nachádza sa v neverejnom priestore priletovej haly. Na Termináli 2 sa nachádzajú 4 karusely, ktoré sú označené číslami 21, 22, 23 a 24. Sú umiestnené za sebou a sú zobrazené na Obr. 8.



Obr. 8 – priestor karuselov priletovej haly Terminálu 2

### 3.5.2 Colná kontrola

Colný úrad sa nachádza v prízemnej časti Terminálu 2 a oddeľuje neverejnú časť od verejnej. Vyťaženosť colného úradu je nižšia, vzhľadom k tomu, že v rámci Terminálu 2 sú odbavované lety v rámci EU, teda Schengenského priestoru. Je taktiež dôležité spomenúť, že colný úrad spadá riadením pod Colnú správu Českej republiky, napriek tomu, že sa nachádza v priestoroch letiskovej budovy. <sup>17</sup> Jeho vstup je znázornený na Obr. 9 zelenou farbou.



Obr. 9 – vstup do priestorov Colného úradu pri východe z karuselovej časti

### 3.6 Doplnkové služby v T2

Pojem doplnkové služby zahŕňa všetky tie služby, ktoré nie sú nevyhnutne potrebné k hladkému priebehu cez jednotlivé procesy pred odletom a po prilete. Patria sem hlavne sociálne zariadenia, novinové stánky, obchody a gastro-prevádzky (kaviarne, reštaurácie s rýchlym občerstvením a klasické reštaurácie). Prvky zahrnuté v doplnkových službách predstavujú miesta, kde dochádza k hromadeniu cestujúcich a následne k určitému ovplyvneniu ich pohybu.

Vo verejnej časti odletovej haly Terminálu 2 sa nachádzajú tri sociálne zariadenia, dve kaviarne, jeden novinový stánok, jeden obchod, jedna reštaurácia a jedna reštaurácia s rýchlym občerstvením. V príletovej hale, na samotnom konci Terminálu 2, je možné nájsť kútik vybavený nadrozmernými šachmi, kde je taktiež možné tráviť čas.



## 4 Teoretický základ a zvolená metodológia

Vďaka dnešnej výpočtovej technike a metódam je simulácia rôznych prevádzok dostupnejšia. Simulovať je možné rôzne základné štruktúry statického charakteru, napr. opakujúci sa pohyb strojov a zamestnancov v sklade, ale aj situácie dynamického rázu ako je pohyb zákazníkov v určitom vymedzenom priestore obchodu. Pomocou počítačových simulácií je možné napodobniť a zopakovať situácie, ku ktorým dochádza v priestore letiskového terminálu, ktoré sú predmetom tejto práce.

Veľkou výhodou počítačových simulácií je množstvo výsledkov získaných v relatívne krátkom čase bez potreby zásahu do samotnej prevádzky v reálnom svete. Tieto výsledky a zistenia sú kľúčové na zvýšenie efektivity procesov, ich zjednodušenie a k celkovému prehĺbeniu ich pochopenia. Ďalšou výhodou je vysoká miera prispôsobivosti a možnosť rýchlej zmeny parametrov.<sup>18</sup>

Najrozšírenejšími typmi počítačových simulácií komplexných systémov sú:

1. Multiagentné modelovanie
2. Metóda Monte-Carlo
3. Simulácia diskretných udalostí
4. Dynamické modelovanie systému<sup>19</sup>

### 4.1 Multiagentné modelovanie

Multiagentné modelovanie je metodika, ktorá využíva tzv. agentov, ktorými môžu byť jednotlivci, organizácie alebo dokonca abstraktné entity. Každý agent má svoje jedinečné atribúty a správanie, ktoré môžu byť konštantné alebo meniteľné. Môžu sa meniť vplyvom času alebo inými vonkajšími faktormi. Tieto atribúty zahŕňajú úkony, stavy a vopred definované umiestnenie v danom priestore.<sup>20</sup>

Vďaka možnosti modelovania komplexných systémov je možné získať a skúmať širokú škálu výsledkov z rôznych uhlov pohľadu. Metódu je možné použiť na simuláciu rôznych scenárov a následne sledovať interakcie jednotlivcov a skupín v predom definovanom kontexte.<sup>20</sup> Možnosťou využitia modelovania založeného na agentoch je sledovanie pohybu ľudí alebo viacerých skupín ľudí v prípade nečakanej udalosti a zároveň predpovedať pohyb a vzájomné interakcie ľudí. Na základe výsledkov týchto simulácií je možné predchádzať rôznym nebezpečným udalostiam, prípadne sa na ne lepšie pripraviť a reagovať.<sup>21</sup>



Jednou z výhod je schopnosť zachytiť dynamiku správania a získať výsledky, ktoré nie je možné jednoducho predpovedať alebo vysvetliť tradičnými deduktívnymi technikami. Tento typ modelu uvažuje heterogenitu agentov a komplexnosť priestoru, vďaka čomu sú realistické a kopírujú bežné situácie. Na druhej strane však môžu byť analyticky náročné a je zásadné vopred starostlivo definovať a následne overiť predpoklady modelu.<sup>20</sup> Vďaka mnohým výhodám bola táto metóda využitá aj v tejto práci.

## 4.2 Aplikácie multiagentného modelovania

Vďaka všetkým vyššie spomenutým výhodám je multiagentná metóda často využívaná v praxi. Problematike toku cestujúcich a modelovaniu s využitím tejto metódy sa autori venujú v práci *Grégory Sanders et al. (2021)*. Vo svojej práci analyzovali prevádzky letiskových terminálov a vplyvy opatrení plynúce z pandémie COVID-19 na výkonnosť a zdravotnú bezpečnosť cestujúcich a zároveň na celkovú prevádzku letiska. V tomto prípade agentov modelu predstavujú autonómne subjekty, teda cestujúci. Detailnejšie boli skúmané tri prípadové štúdie. Prvá sa zaoberá odbavovaním cestujúcich, druhá bezpečnostnou kontrolou a tretia nástupom cestujúcich do lietadla.

Pre prvú štúdiu, zaoberajúcu sa odbavením cestujúcich, bol stanovený predpoklad, že cestujúci dodržiavajú všetky platné opatrenia. V štúdiu bolo zistené, že celkový čas strávený na check-in prepážke sa zvýšil o 20 %. To malo za následok aj zvýšenú interakciu medzi jednotlivými cestujúcimi.<sup>22</sup>

Ďalším predpokladom, z ktorého autori v práci vychádzali bolo použitie troch samostatných radov namiesto jedného dlhého serpentínového radu. Tento predpoklad viedol k zníženiu priemerného času stráveného na check-in prepážke a zároveň k minimalizácii vzájomného kontaktu cestujúcich. Tok cestujúcich je pri použití troch samostatných radov priamy, lepšie kontrolovateľný a samostatné toky si vzájomne neprekážajú. K najväčšiemu kontaktu a hromadeniu ľudí dochádza podľa tejto štúdie práve na rohoch, ktoré vznikajú v rámci serpentínového radu. Priame rady tieto rohy, kde dochádza k otáčaniu smeru cestujúcich v rámci priestoru pred check-in prepážkami nemajú, čo taktiež prispieva k zníženiu vzájomnej interakcie cestujúcich.<sup>22</sup>

Modelovanie pomocou multiagentnej metódy bolo využité aj v práci *Tao Zhang et al. (2019)*. V práci bol analyzovaný tok cestujúcich a jeho vplyv na systémy HVAC (angl. Heating, Ventilation and Air-Conditioning). Súčasťou modelu, okrem tvorby modelu bol aj prieskum



s cieľom definovať tok cestujúcich a ich pohyb v odletovom termináli. Výsledky tohto prieskumu zároveň predstavovali vstupy do simulácie.<sup>23</sup>

Z výslednej simulácie bolo zistené, že tzv. projektovaná hustota cestujúcich, teda pre aký počet cestujúcich je priestor dimenzovaný, zodpovedá z veľkej miery reálnej prevádzke. Ďalším zistením bolo, že hodnoty získané zo simulácií, boli prekročené iba v 3,6 % prípadov. Z toho vyplýva, že simulácia bola správne nastavená a výsledky z nej plynúce zodpovedajú skutočnosti.<sup>23</sup>

Vzhľadom na flexibilitu a všestrannosť multiagentnej metódy môže byť modelovaný aj tok cestujúcich ovplyvnený nákupnými zónami v rámci letiska. Tento prípad bol bližšie študovaný v práci *Adin Mekić et al.* (2021). Autori práce sa zaoberali práve vplyvom rôznych doplnkových prvkov na tok cestujúcich. Jednotlivé doplnkové služby, ako obchody s rôznym druhom tovaru alebo potravinami generujú letiskám značné množstvo príjmov. Avšak málokedy sú uvažované pri tvorbe modelov letiskových terminálov.<sup>24</sup>

Keďže tieto doplnkové služby priamo ovplyvňujú pohyb cestujúcich a celkovú výkonnosť letiskového terminálu, je potrebné ich zahrnúť v rámci modelov. Zároveň je ale potrebné dodať, že vzhľadom na ich množstvo a rozloženie, je nutné doplnkové služby skúmať vo vzťahu k iným procesom zahrnutých v rámci terminálu.<sup>24</sup>

Cieľom štúdie bola analýza spomínaných doplnkových služieb, pričom boli zohľadnené vzájomné závislosti s ostatnými procesmi a prevádzkovými stratégiami letiskového terminálu. Vyvinutý simulačný model založený na multiagentnej metóde pre prevádzku letiskových terminálov zahŕňa hlavné procesy odbavovania, ale aj procesy rozhodovania sa cestujúcich ohľadom využitia týchto služieb. Získané výsledky simulácie ukazujú, že prevádzkové stratégie, ktoré znižujú čas strávený v rade, resp. predlžujú voľný čas cestujúcich, môžu výrazne zlepšiť globálne fungovanie letiskového terminálu. Rovnako dochádza k zvyšovaniu výkonnosti prostredníctvom efektivity, príjmov a nákladov.<sup>24</sup>

Výhodou multiagentných metód je možnosť využitia modelu na rôzne scenáre, ako v prípade práce *Stef Janssen et al.* (2019). Štúdia sa zaoberala efektivitou a bezpečnosťou v priestoroch letiskového terminálu.

Bezpečnosť a efektivita sú dve dôležité oblasti výkonnosti leteckej dopravy. Bolo navrhnutých niekoľko metód na nezávislé posúdenie bezpečnostných rizík a odhad účinnosti, ale len málo z týchto metód identifikuje vzťahy medzi bezpečnostnými rizikami a ukazovateľmi výkonnosti.<sup>25</sup>



V tejto práci je navrhnutá metodika založená na multiagentnom modelovaní slúžiaca na analýzu bezpečnosti, účinnosti a vzťahov medzi nimi. Metodika bola aplikovaná na prípadovú štúdiu, ktorá analyzuje bezpečnosť týkajúcu sa improvizovaného výbušného zariadenia (IED). Práca sa zaoberá bežne používanými výkonovými ukazovateľmi účinnosti v oblasti letectva, ako je čas čakania cestujúcich v rade a vzťahy medzi nimi. <sup>25</sup>

Výsledky ukázali, že zníženie bezpečnostných rizík a zvýšenie efektívnosti nie sú vždy protichodné ciele. Zníženie počtu cestujúcich pred bezpečnostnou kontrolou sa ukázalo ako účinné opatrenie na zníženie bezpečnostných rizík a zlepšenie aspektov efektívnosti. Okrem toho výsledky ukázali, že letiská by sa mali pokúsiť rozložiť cestujúcich do dostupného priestoru tak, aby sa čo najviac znížil vplyv útoku IED. <sup>25</sup>

Výsledky tejto štúdie naznačujú, že metodika založená na agentoch je užitočným nástrojom na analýzu bezpečnosti, účinnosti a vzťahov medzi nimi v leteckých dopravných systémoch. Metóda môže byť použitá na identifikáciu bezpečnostných rizík, ktoré môžu mať vplyv na účinnosť a na návrh opatrení na zníženie bezpečnostných rizík bez negatívneho vplyvu na účinnosť. <sup>25</sup>

Simulácia tokov cestujúcich na letiskách je veľmi dôležitá, pretože môže poskytnúť informácie o dĺžke čakania v radoch, kapacite systému a celkovej úrovni služieb ako v prípade práce *Tristan Kleinschmidt et al.* (2011).

Doteraz sa vizuálne simulačné nástroje, ako napríklad modely založené na agentoch, zameriavali na formality spracovania, ako napríklad odbavenie a nezahŕňali doplnkové služby, ako sú bezcolné nákupy. Keďže letiskový maloobchod výrazne prispieva k tvorbe príjmov letiska, táto štúdia sa zamerala na tvorbu zjednodušeného simulačného modelu, ktorý zachytáva bežné možnosti bezcolného nákupu, ako aj správanie cestujúcich. <sup>26</sup>

Výhodou je, že takýto model umožňuje realistickejšiu simuláciu cestujúcich a poskytuje platformu na simuláciu tvorby príjmov v reálnom čase, ako aj na simuláciu zložitejších interakcií cestujúcich na letisku. Simulácie sa vykonávajú s cieľom overiť vhodnosť modelu pre začlenenie do procesu medzinárodných priletov, posúdiť tok cestujúcich a využitie infraštruktúry. <sup>26</sup>



### 4.3 Využitie simulácie v prostredí letiskového terminálu – AnyLogic

AnyLogic je programovacie a simulačné prostredie, ktoré sa zameriava na modelovanie hybridných systémov. Umožňuje používateľom kombinovať rôzne metódy a prístupy, ako sú diskkrétne udalosti a systémy založené na agentoch. V celom programe je možné používať kód v jazyku Java. Ponúka aj funkcie, ako je tvorba Java appletov pracovných modelov a export údajov do tabuľkových editorov.<sup>27</sup>

Prostredie počítačového programu AnyLogic je prehľadné a dobre sa s ním pracuje. Poskytuje širokú škálu nástrojov na vizualizáciu simulácii. Výhodou programu je široké využitie poznatkov plynúcich z počítačových simulácií na každodenné, zdanlivo jednoduché úkony.<sup>18</sup> Využíva sa na rôzne simulácie, od základných pohybov v rámci skladu s tovarom až po komplexnejšie pohyby, ako je pohyb cestujúcich v rámci terminálu, či dokonca simulácia celkovej prevádzky letiska.<sup>28</sup>

Rýchlosť pohybu cestujúcich v rámci letiskového terminálu je dané najpomalším jedincom, rovnako ako v iných typoch dopravy. Postupne dochádza k hromadeniu veľkého počtu ľudí na obmedzenom priestore, kde sa následne môžu vytvárať rady a z toho vyplývajúce konflikty. Tieto skutočnosti znižujú efektivitu letiskových procesov, ale zároveň ovplyvňujú dojem a skúsenosť cestujúceho. Je v záujme letiska dosahovať čo najvyššie počty cestujúcich, ale zároveň udržiavať určitú kvalitu a spokojnosť cestujúcich. V tom spočíva ďalšia výhoda tohto programu, a to možnosť presne definovať tieto parametre pre jednotlivých cestujúcich, resp. väčšie skupiny, a tak sa lepšie prispôbiť podobným situáciám.<sup>29</sup>

## 5 Návrh modelu

### 5.1 Definícia prostredia a prvkov

Prostredie modelu tvorí Terminál 2, ktorý sa rozprestiera na 2 podlažiach. Na prízemí sa nachádza priletová hala, ako je uvedené na Obr. 10. Medzi prvky nachádzajúce sa v priletovej hale patria karusely, označené číslami 21 až 24 a colný úrad. Ďalšími prvkami sú doplnkové služby, zahŕňajúce tri sociálne zariadenia, kaviareň a obchod s potravinami. Výstupný bod priletovej haly tvoria dvere do exteriéru, kde sa nachádza terminál taxislužby a zastávka mestskej hromadnej dopravy. Druhý výstupný bod predstavujú eskalátory spájajúce priletovú halu s odletovou. Priletová hala je prepojená krytou chodbou s Terminálom 1, kde dochádza k stretu cestujúcich v rámci oboch terminálov.



Obr. 10 – mapa priletovej haly – Apple maps – 2.6.2023

Nadzemnú časť tvorí odletová hala, uvedená na Obr. 11. Vstupnými bodmi sú dvere označené písmenami A až F. Ďalším uvažovaným vstupným bodom sú schody prepájajúce jednotlivé podlažia Terminálu 2. Medzi prvky odletovej haly patria check-in prepážky, označené číslami





logické tvary prepájajú. Podmienky sa používajú na určenie, či daný prechod má nastať alebo nie. Zvyčajne sú vyjadrené ako logické výrazy, prípadne otázky, ktoré sú vyhodnotené ako pravdivé, resp. nepravdivé. Vyššie spomenuté prvky definujú správanie systému v rámci stavového diagramu. Špecifikovaním jednotlivých prvkov možno modelovať dynamické aspekty systému a pochopiť ako reaguje na rôzne vstupy a podnety.<sup>30</sup>

Na tvorbu stavových diagramov bol použitý program yEd. Je vhodný na vývoj desktopových aplikácií a zároveň aj grafické znázornenie programu.<sup>31</sup>

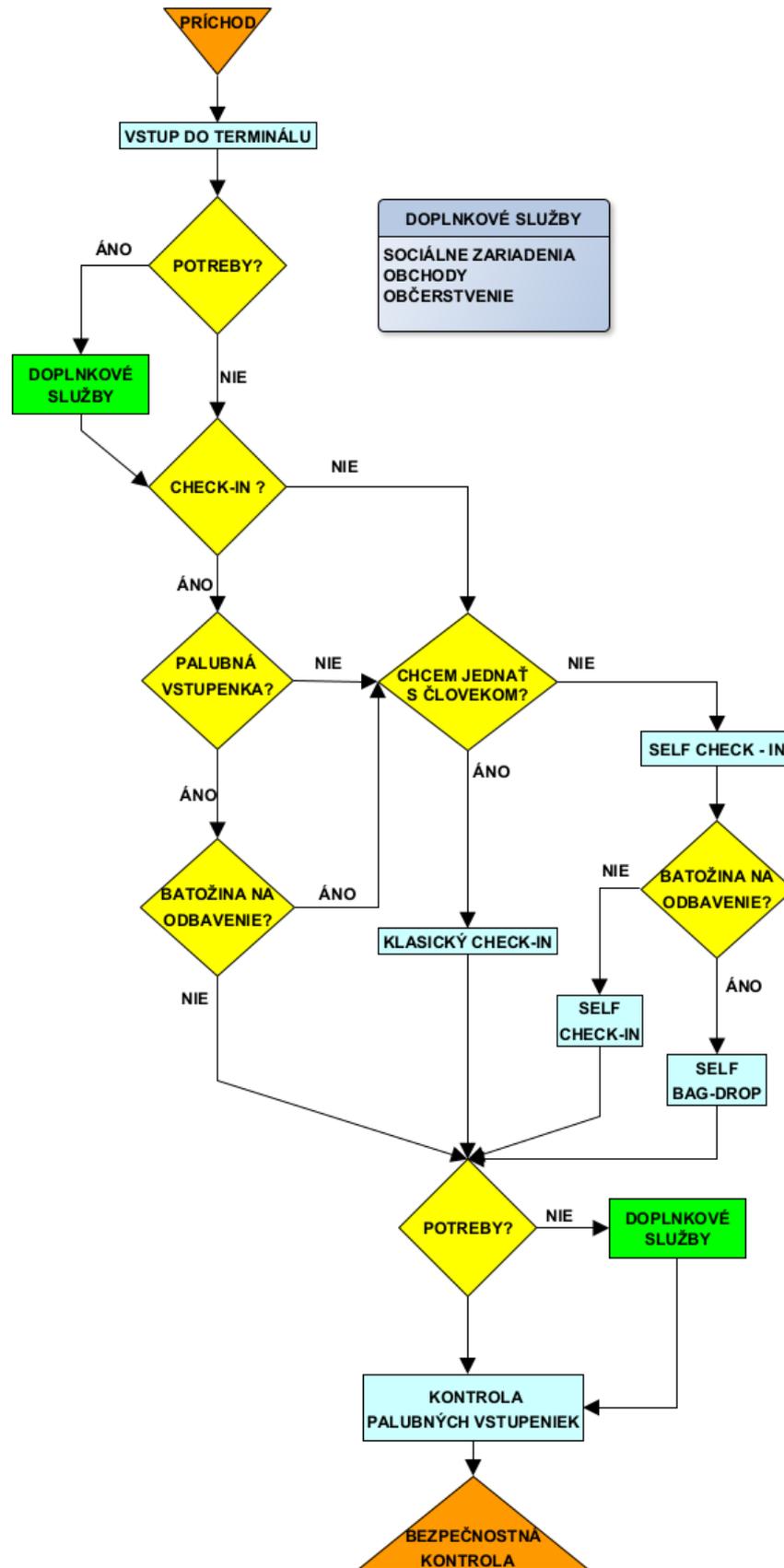
### 5.2.1 Odletový diagram

Odletový diagram je zložitejší, vzhľadom k väčšiemu množstvu stavov, ktorými si cestujúci prechádza. Kompletný odletový diagram je znázornený na Obr. 12. Pre lepšiu orientáciu a znázornenie bolo rozhodnuté farebne odlíšiť jednotlivé logické tvary. Oranžový trojuholník predstavuje začiatok a koniec diagramu. Žlté kosoštvorce znázorňujú podmienky, ktoré rozhodujú o ďalšom stave. Výsledkom podmienky by mala byť jednoduchá logická odpoveď, v tomto prípade som podmienky definoval ako jednoduché otázky, na ktoré je možné odpovedať áno, resp. nie.

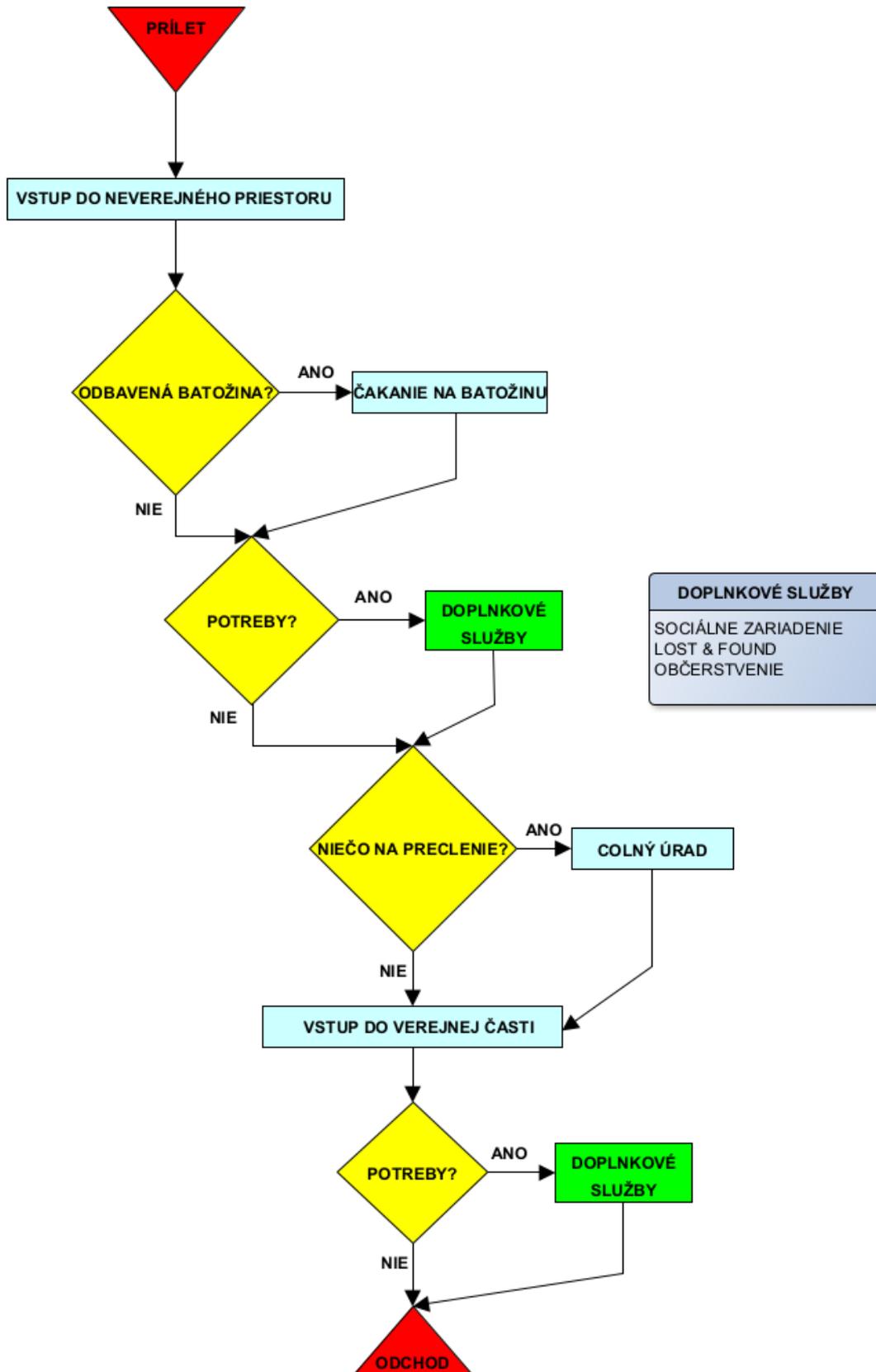
Ďalšími prvkami v diagrame sú obdĺžniky, ktoré predstavujú aktuálny stav, v ktorom sa cestujúci nachádza. Každý obdĺžnik má v sebe popis daného stavu. Jednotlivé stavy sú vzájomne prepojené spojnicami. Hlavnú vetvu predstavujú stavy, ktoré sú nevyhnutné k priebehu letiskových procesov nevyhnutné. Vedľajšiu vetvu tvoria doplnkové služby, ktoré sú voliteľným stavom. Keďže cestujúci môže doplnkové služby využívať opakovane, sú v diagrame znázornené dvakrát. Jednotlivé stavy sú pre prehľadnosť v diagrame farebne odlíšené. Zelenou farbou sú znázornené procesy, ktoré nesúvisia s odbavením a svetlomodrou procesy, ktoré s ňou súvisia.

### 5.2.2 Príletový diagram

Príletový diagram, znázornený na Obr. 13, hlavne kvôli menšiemu množstvu procesov je, oproti odletovému diagramu, kratší a priamočiarejší na tvorbu. Prvý proces, ktorému môže byť cestujúci po vstupe do neverejného priestoru vystavený, je čakanie na odbavenú batožinu na karuseloch. Práve to tvorí prvú podmienku, ktorá rozdeľuje tok ľudí v priestore. Jednotlivé stavy boli graficky a farebne odlíšené, analogicky ako v odletovom diagrame. Podmienky boli taktiež formulované rovnakým spôsobom.



Obr. 12 – odletový diagram



Obr. 13 – priletový diagram



## 6 Tvorba modelu a vstupné údaje

Všetky potrebné údaje, ktoré boli poskytnuté zo strany LP, boli spracované a v práci sú spomenuté iba najnevyhnutnejšie z nich.

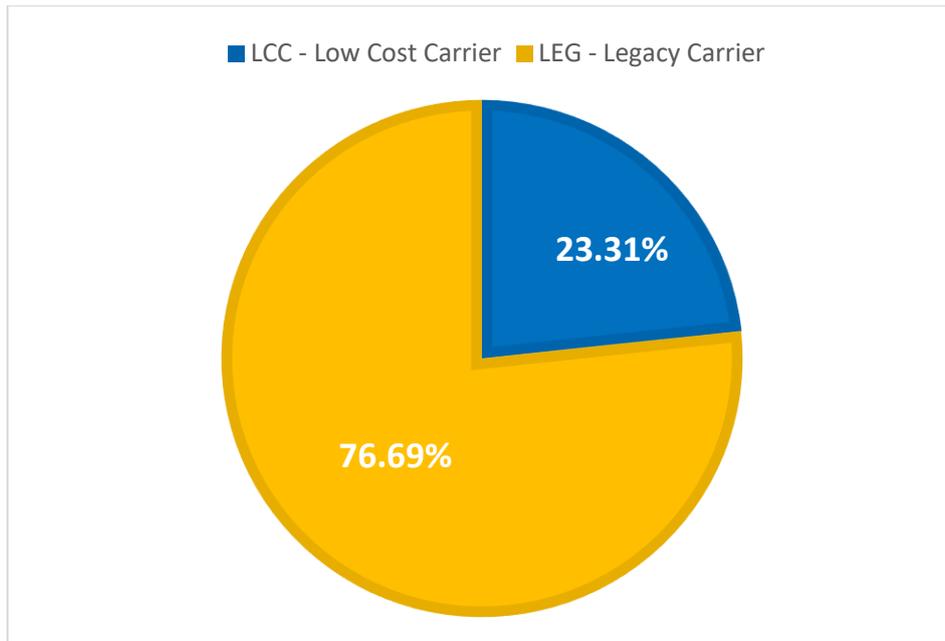
Údaje, ktoré boli poskytnuté, boli veľmi rozsiahle, z pohľadu množstva informácií a časového ohraničenia (letné mesiace roku 2019). Ako som spomínal už vyššie, rok 2019 bol, čo sa týka odbavených cestujúcich, rekordný a teda informácie, ktoré bolo možné získať simuláciou budú zodpovedať pre-pandemickým hodnotám.

Vzhľadom na predpoklady vymenované vyššie, bolo možné vybrať ľubovoľný deň z prevádzky. Pre tento účel bol zvolený dátum 29.8.2019 (štvrtok). Jedná sa o bežný pracovný deň, kedy nedošlo k žiadnej neočakávanej udalosti. Zároveň je to jeden z posledných prázdninových dní, kedy je predpoklad návratu rodín z dovolení, a teda aj celkové množstvo cestujúcich je možné považovať za vyššie.

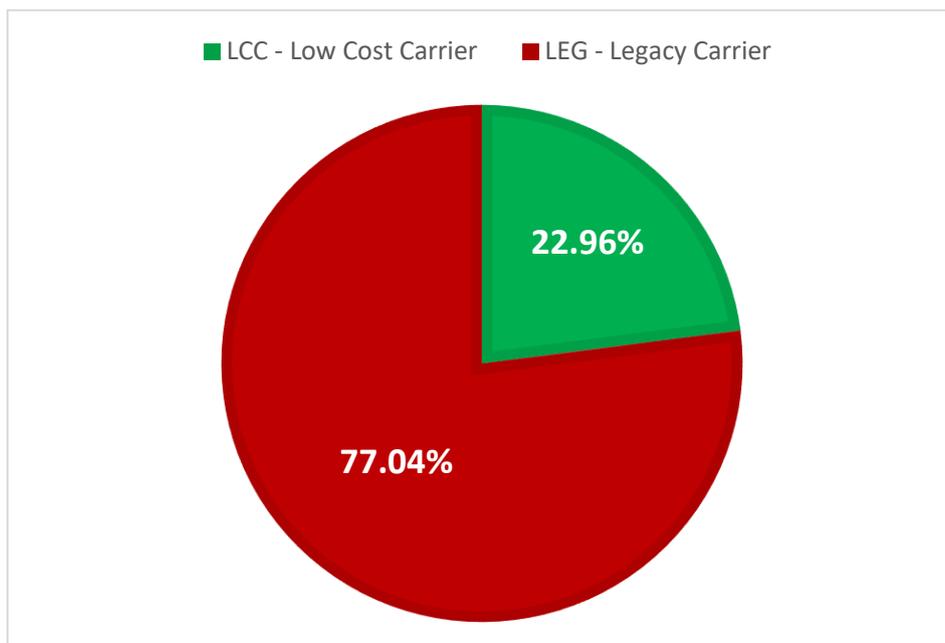
### 6.1 Vstupné parametre

Z poskytnutých údajov bolo pred ich spracovaním potrebné vyfiltrovať tie údaje, ktoré neboli pre moju prácu potrebné. Najdôležitejšími informáciami, ktoré bolo možné z poskytnutých údajov získať a boli potrebné na tvorbu a správne nastavenie celého modelu sú:

1. Časové intervaly príchodu cestujúcich na letisko, ktoré je možné vidieť v príchodovej krivke v Graf č. 5;
2. Celkový počet odbavených letov za daný deň a ich typologické rozdelenie podľa kategórie leteckej spoločnosti, ktoré je zobrazené na Graf č. 1 a Graf č. 2;
3. Celkový počet cestujúcich pre daný let, počet odbavenej batožiny v závislosti na kategórii leteckej spoločnosti (LCC/LEG);
4. Čísla a časový interval check-in prepážok, na ktorých prebieha odbavovanie daného letu;
5. Čísla karuselov, na ktorých dochádza odovzdanie odbavenej batožiny na príletoch.



Graf č. 1 – percentuálne rozdelenie kategórie odletov

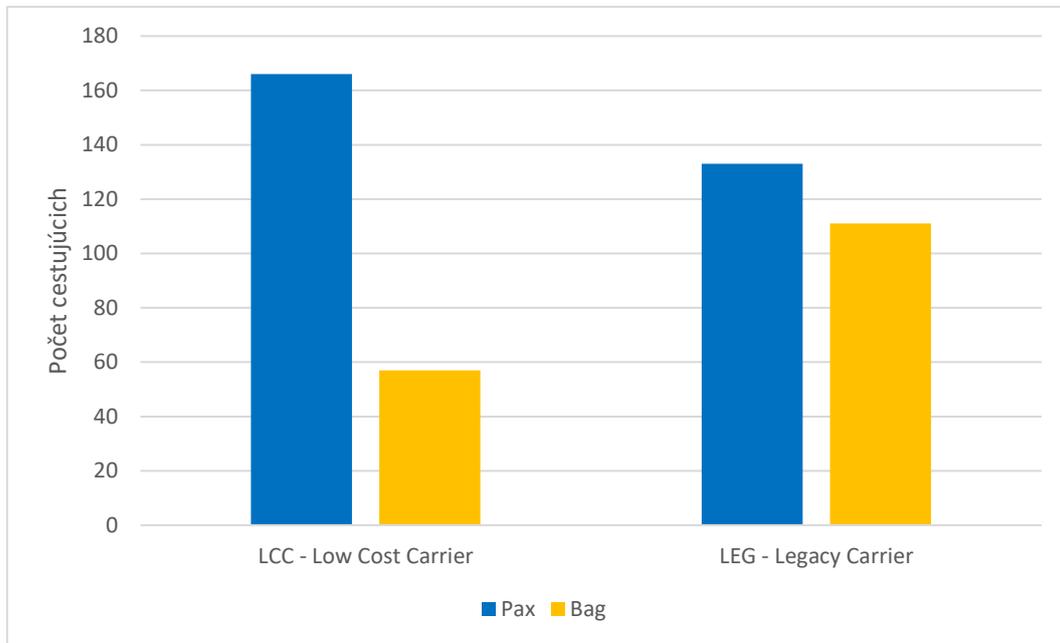


Graf č. 2 – percentuálne rozdelenie kategórie príletov

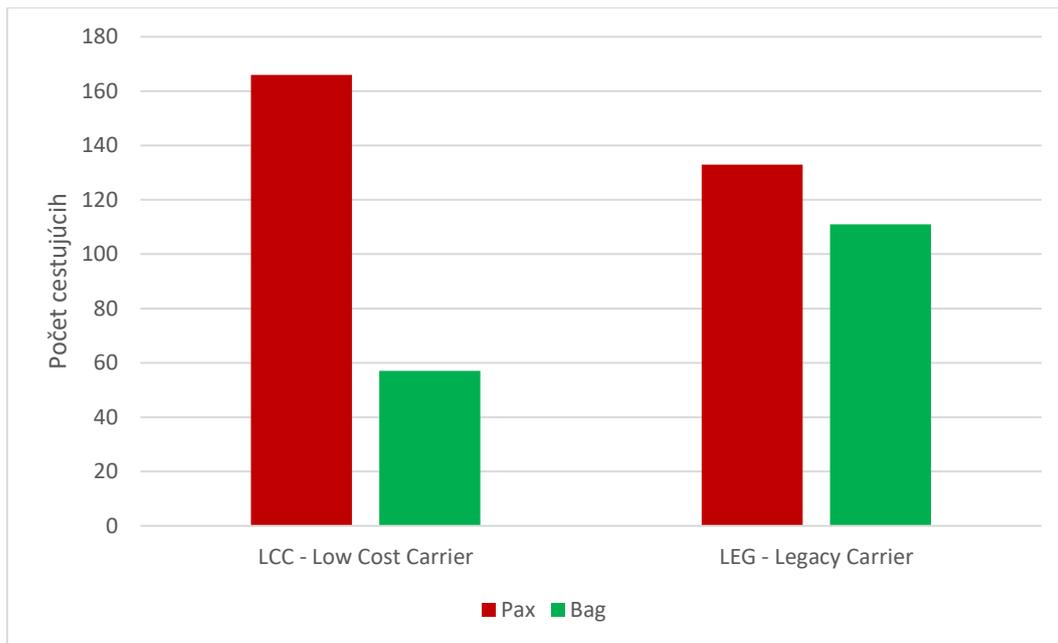
V Graf č. 1 a Graf č. 2 sú použité skratky LCC a LEG. Tieto skratky predstavujú kategorizačné zaradenie leteckého dopravcu, LCC znamená Low-Cost Carrier tzv. nízko-nakaldová spoločnosť; LEG znamená Legacy Carrier, teda bežná letecká spoločnosť. Ako je na oboch grafoch zreteľne vidieť, viac ako 75% letov v daný deň predstavujú práve LEG lety.



Z poskytnutých údajov bolo možné vyčítať aj celkový počet letov za daný deň (29.8.2019). Odletov bolo celkovo 133, z toho 76,69 % sú LEG lety a zvyšných 23,31 % predstavujú lety poskytované LCC spoločnosťami. V prípade priletov sú tieto údaje podobné. Celkový počet letov bol 135, z toho 77,04 % bolo uskutočnených LEG spoločnosťami a zvyšných 22,96 % LCC spoločnosťami.



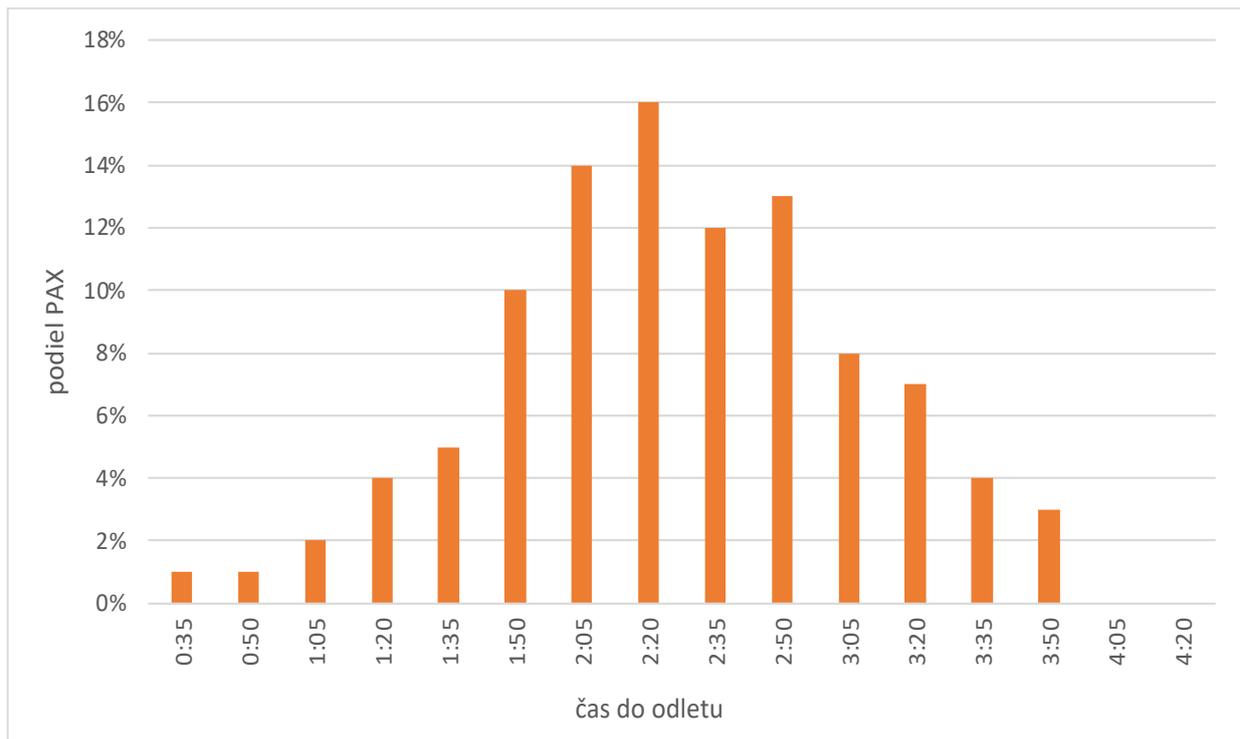
Graf č. 3 – porovnanie počtu odlietajúcich cestujúcich a odbavených batožín pre obe kategórie



Graf č. 4 – porovnanie počtu priletajúcich cestujúcich a odbavených batožín pre obe kategórie

Graf č. 3 a Graf č. 4 porovnávajú priemerný počet cestujúcich a priemerný počet kusov odbavenej batožiny na základe kategórie leteckej spoločnosti. Percentuálny pomer počtu kusov odbavenej batožiny na počet cestujúcich je v prípade LCC spoločnosti 34 %, čo znamená, že približne tretina celkového počtu cestujúcich má batožinu na odbavenie. Tento fakt je posilnený aj batožinovou politikou niektorých LCC spoločností, keďže za odbavenú batožinu musí cestujúci viac priplácať a preto je uprednostňovaná príručná batožina. Naopak v prípade LEG spoločností dosahuje tento pomer hodnotu 84 %.

Na Graf č. 5 je znázornené percentuálne rozloženie cestujúcich v závislosti na čase príchodu na letisko pred plánovaným letom. Najviac zastúpená je skupina cestujúcich prichádzajúca na letisko s predstihom 2 hodiny a 20 minút, čo zodpovedá aj všeobecným odporúčaniam, teda 2 hodinám. Zaujímavým faktom je, že celkovo 63 % cestujúcich prichádza na letisko s časovým predstihom väčším než 2 hodiny, čo následne môže ovplyvniť naplnenosť a množstvo ľudí v určitých miestach terminálu, v tejto práci charakterizovaných ako doplnkové služby.



Graf č. 5 – rozloženie príchodu cestujúcich na letisko

Fakt, že ľudia prichádzajú s dostatočným predstihom, môže byť ovplyvnený rôznymi faktormi ako sú: skúsenosti cestujúceho, typ leteckej spoločnosti, ktorou bude cestujúci cestovať, príp. aj charakteristika letu (hlavne jeho dĺžka).

## 6.2 Implementácia vstupných parametrov do tvorby modelu

V programe AnyLogic je možné si vybrať z rôznych predom definovaných knižníc a paliet. V tejto práci som použil knižnicu Pedestrian, keďže ide o pohyb ľudí vo vymedzenom priestore terminálu. Pomocou tejto knižnice, je možné nastaviť a pripraviť prakticky všetky procesy, ktoré som v danom priestore identifikoval a sú zahrnuté práve v tzv. pedBlocks (zelené štvorce). V každom jednom bloku celého priebehu je možné nadefinovať rôzne počiatočné parametre, premenné, funkcie a udalosti, ktoré vedú ovplyvniť prechod cestujúceho cez túto sieť blokov.

Ďalšie bloky, ktoré sú znázornené na Obr. 14 a Obr. 16, sú modré kosoštvorce z knižnice Process modelling. Rovnako ako v prípade flowchart-ov predstavujú križovatky, v ktorých dochádza k rozhodnutiu o danej podmienke, podľa ktorej je cestujúci zaradený do vetvy, a tým pádom sa opakovane ovplyvní jeho priebeh.



### 6.2.1 Model odletov

Ako bolo vyššie spomenuté, pri tvorbe modelu odletov boli použité bloky z knižnice pedestrian a process modelling. Obe knižnice slúžia ako prostriedky na presné definovanie jednotlivých funkcií a procesov a zároveň je nimi možné spracovať celú myšlienku pohybu cestujúceho v rámci terminálu do praktickej podoby v programe AnyLogic vyobrazenej na Obr. 12. Na Obr. 14 je znázornený celý pohyb cestujúceho v termináli, od jeho vstupu až po výstup za hranice uvažovanej oblasti.

V programe je vstup a výstup z tejto siete znázornený zelenými kruhmi – „vstupy, vystup“. Myšlienka týchto blokov je analogická ako vo vývojovom diagrame. Znárodnujú stavy, kedy sa cestujúci ocitne a následne opusti uvažovaný priestor modelu. Už v tomto prvotnom bloku je možné nastaviť dôležité parametre ako je čas príchodu na letisko a ďalšie doplňujúce parametre, ktoré budú charakterizovať daného cestujúceho jeho pohyb v priestore terminálu.

Prvá sľučka, nesúca názov „služby“, je priamo napojená na ďalší blok, ktorý reprezentuje všetky služby, s ktorými sa môže cestujúci na Letisku Praha stretnúť, od sociálnych zariadení, cez novinový stánok až po reštaurácie a fast-foody. Dôvodom zahrnutia tejto sľučky je vytvorenie oneskorenia cestujúceho na určitú definovanú dobu predtým, než sa dostane do stavu systému, kde je tok rozdeľovaný na základe typu odbavenia. Rozhodujúcim faktorom rozdelenia toku cestujúcich v sľučke „služby“, bola nastavená konštantná percentuálna hodnota, ktorá nebola súčasťou dát poskytnutých Letiskom Praha.

Ďalším rozdeľovacím blokom je „typCheckIn“, na tomto prvku dochádza k rozdeleniu toku cestujúcich do 3 vetiev:

- prvou je „selfService“, tzv. pedestrian service block, na ktorom dochádza k nejakému procesu, v tomto prípade sa jedná o cestujúcich, ktorí majú batožinu na odbavenie a plánujú ísť k self-service check-in prepážke, ako naznačuje názov;
- druhá vetva je pre cestujúcich bez palubnej batožiny, ktorých nečaká žiaden proces odbavenia batožiny;
- poslednú vetvu, ktorá bola z hľadiska tvorby zároveň najzložitejšia, predstavuje klasické check-in prepážky.

Ako je možné vidieť na Obr. 14, tretia vetva obsahuje podobnú sľučku ako v prípade služieb a slúži na to, aby cestujúci, ktorí prídu o určitý čas skôr pred odbavovaním ich letu, sú poslaní do bloku „čakareň“, kde vyčkávajú po kým sa ich let nezačne odbavovať. Rozdeľovník



„volbaPult“ slúži na rozdelenie cestujúcich k jednotlivým check-in prepážkam. Najväčší celkový počet otvorených check-in prepážok pre jeden let je šesť. Keďže jeden let môže byť odbavovaný pri viacerých prepážkách zároveň, sú všetky zahrnuté.

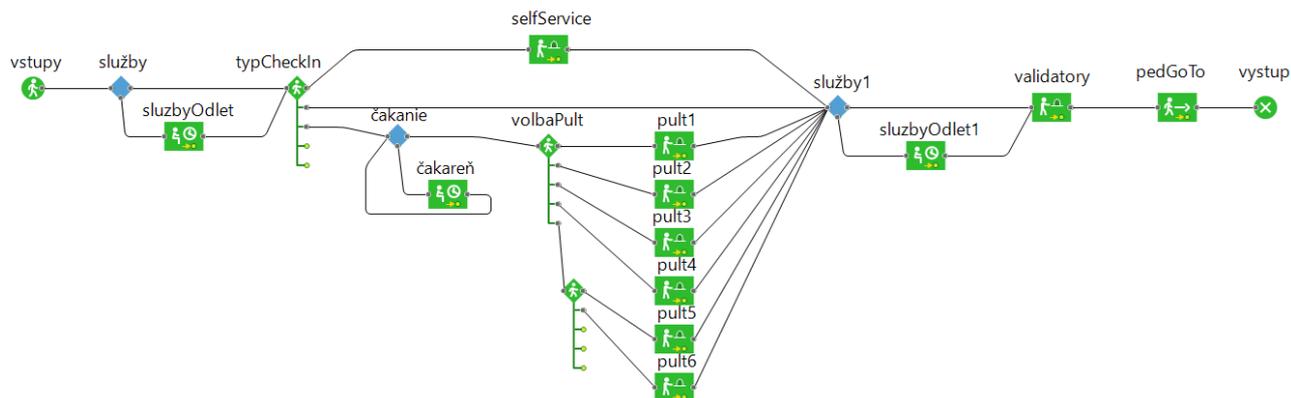
Rozhodujúci faktor ktorý určuje, ku ktorej check-in prepážke cestujúci pôjde, vychádza z počtu cestujúcich v danom rade. Tento počet nasmeruje cestujúceho k check-in prepážke s najnižším počtom ľudí čakajúcich na odbavenie, a teda kde dôjde k najmenšiemu oneskoreniu.

Jednotlivé prepážky, podobne ako v prípade „selfService“, zahŕňajú určité oneskorenie, ktoré vzniká počas procesu odbavovania. Na percentuálne rozdelenie cestujúcich s batožinou a bez nej boli použité hodnoty, ktoré sú znázornené v Graf č. 3.

Blok „služby1“ je analogický sľučke „služby“ s rozdielom, že do tohto bodu prichádzajú toky cestujúcich, ktorí si prešli odbavením, a teda ich čaká už len bezpečnostná kontrola. V tomto bloku dochádza k ďalšiemu zdržaniu, keďže ľudia prichádzajú na letisko v dostatočnom časovom predstihu, ako je vidno na Graf č. 5, na letisko a následne čakať vo vnútorných priestoroch.

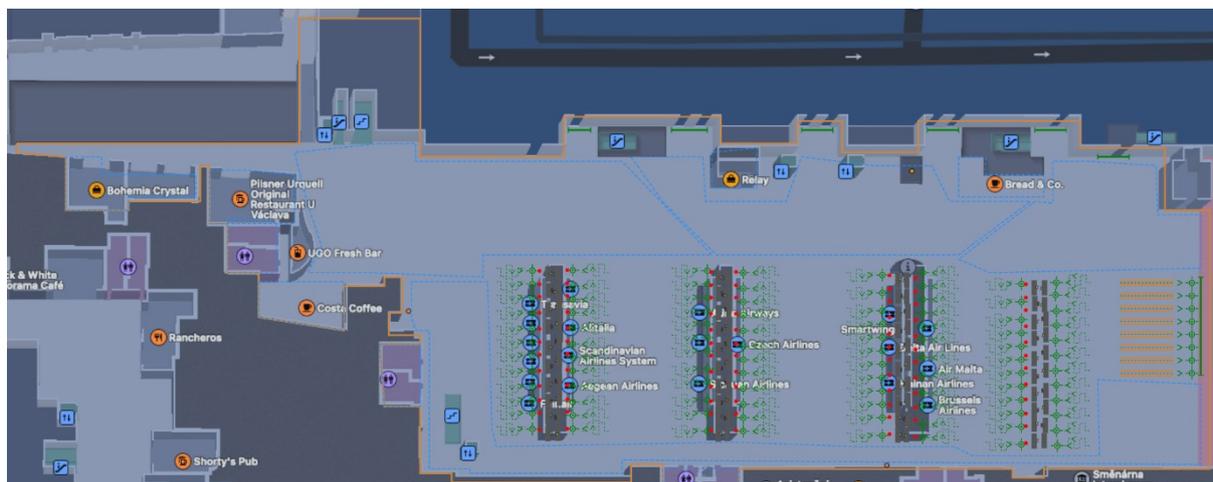
V bloku „validatory“ dochádza k usmerneniu toku cestujúcich do ôsmich brán, ktoré púšťajú do priestoru pred bezpečnostnou kontrolou iba cestujúcich, ktorí majú palubnú vstupenku, preto ním musí každý prejsť. Na tomto bloku totiž dochádza k určitému, aj keď krátkemu oneskoreniu. Hlavne počas špičky, môže nastať situácia, keď sa veľké množstvo cestujúcich nachádza v priestore brán validátorov a dôsledkom toho sa zníži ich priepustnosť.

Predposledným blokom je blok „pedGoTo“, ktorý zaisťuje usmernenie toku do posledného bloku „vystup“, ktorý ako posledný blok zaisťuje výstup z priestoru terminálu, a teda ukončenie procesu toku cestujúcich.



Obr. 14 – Flowchart pedBlocks v rozhraní AnyLogic pre odlety

Ako je vidno na Obr. 15, model je vytváraný na mapových podkladoch vďaka ktorým je možné dodržať správne rozostupy, vzdialenosti a jednotlivé časti. V spomínanom obrázku je možné vidieť oranžovou farbou vyznačenú hranicu celého priestoru odletov, okolo jednotlivých ostrovov sú vložené procesory znázorňujúce rady k jednotlivým check-in prepážkam zelenou farbou. Na pravej strane obrázku je možné vidieť jednotlivé validátory palubných vstupeniiek s príslušnými radmi.



Obr. 15 – pohľad na odletovú časť modelu v programe AnyLogic



## 6.2.2 Model příletov

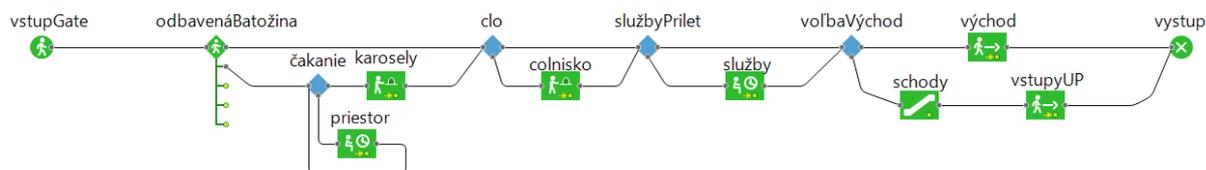
Analogický ako v predchádzajúcej časti modelu, sa tu nachádza vstupný blok „vstupGate“, ktorý púšťa ľudí, na základe letového rádu, do vymedzeného priestoru príletov. Ďalší blok v sieti je rozdeľovník „odbavenáBatožina“, ktorý zahŕňa percentuálny pomer prilietajúcich cestujúcich s odbavenou batožinou. Táto hodnota je rozdielna pre lety LCC spoločnosti a LEG spoločnosti, rozdiel týchto hodnôt je možné vidieť v Graf č. 4.

V prípade, že cestujúci má odbavenú batožinu, tok vedie po spodnej vetve k podobnej sľučke ako v prípade odletov, s rozdielom, že v danom bode sa prichádzajúci cestujúci nachádza v priestoroch karuselov a čaká na vydanie batožiny. Po uplynutí určitej doby sa priestor vyprázdni a spustí sa blok „karosely“, v ktorom dochádza k vydávaniu batožín a následnému posunu v rámci systému.

V rozhodujúcom bode „clo“ sa oba toky cestujúcich stretnú a budú sa následne podľa percentuálneho rozdelenia deliť podľa toho, či má cestujúci dôvod návštevy colného úradu alebo pokračuje rovno k ďalšiemu bodu v systéme. Pri cestujúcich, ktorí vstúpia do sľučky s blokom „colnisko“ dôjde k určitému zdržaniu pohybu priestorom a zvýšeniu celkového času stráveného v termináli. Hodnoty počtu cestujúcich, ktorí musia navštíviť colný úrad, neboli zahrnuté v poskytnutých dátach, a preto bolo toto percento stanovené kvalifikovaným odhadom. Hlavným dôvodom vloženia tohto bodu a sľučky s blokom „colnisko“ bola snaha vytvoriť model čo najlepšie zobrazujúci skutočnosť a v kontexte práce (resp. modelu) tento bod dopĺňa model ako celok.

Ďalšiu sľučku, ktorá spôsobuje zdržanie cestujúcich tvoria bloky „službyPrilet“ a „služby“, ktoré zahŕňajú, ako v prípade odletov, všetky možnosti doplnkových služieb, ako sú sociálne zariadenia, zmenáreň, kaviareň a obchod s potravinami.

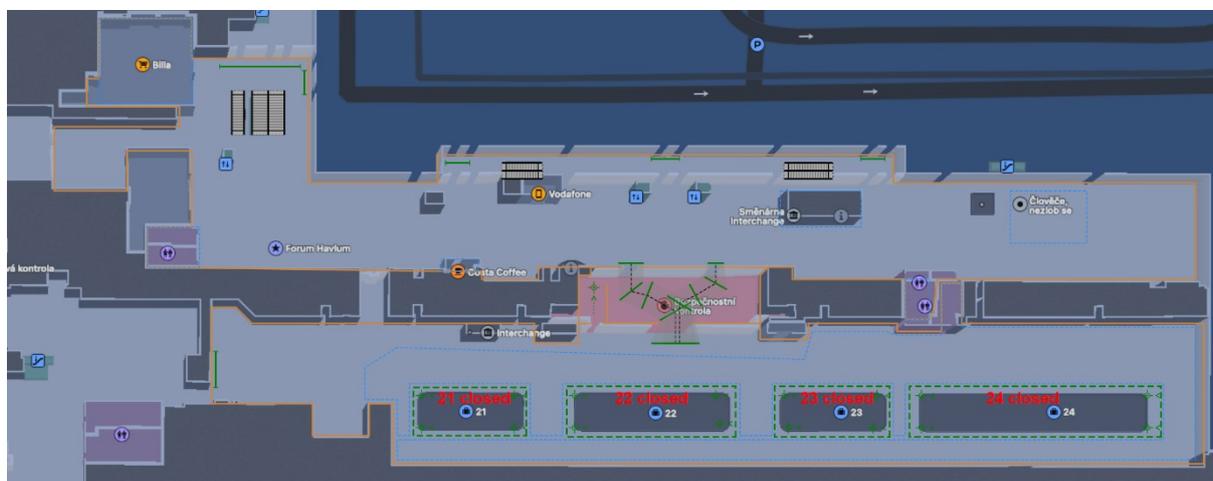
Posledná časť modelu začína rozhodujúcim blokom „voľbaVýchod“, ktorý rozdeľuje tok cestujúcich na dve vetvy. Prvá vetva je tvorená blokom „východ“ a zahŕňa všetky výstupné body z prízemnej časti terminálu. Bloky „schody“ a „vstupyUP“ tvoriace druhú vetvu, slúžia na presun cestujúcich z prízemnej časti do nadzemného poschodia, kde sa nachádzajú dvere, ktoré môžu byť rovnako použité ako výstupný bod a vedú k ním eskalátory z „medzipriestoru“ v prízemnej časti.



Obr. 16 - Flowchart pedBlocks v rozhraní AnyLogic pre prílety

Ako v prípade predchádzajúceho obrázku, Obr. 17 znázorňuje príletovú halu Terminálu 2, v spodnej časti sú vidno jednotlivé karosely, ktoré sú ohraničené zeleným priestorom predstavujúci procesor pre karosely v programe. Ďalej je na obrázku možné vidieť na červenom podklade priestor colného úradu a pred nim výstupy z priestoru a eskalátory vedúce na prvé poschodie.

Rovnako ako vyššie, aj tu sú všetky identifikované prvky a procesory znázornené zodpovedajúcimi grafickými prvkami z knižnice Pedestrian z programu AnyLogic.



Obr. 17 – pohľad na príletovú časť modelu v programe AnyLogic



## 7 Validácia modelu

Dáta potrebné k tvorbe modelu boli získane po dohode s Letiskom Praha. Získané dáta sú z obdobia roku 2019 na prelome mesiacov augusta a septembra.

Po vytvorení modelu toku cestujúcich v programe AnyLogic, bolo potrebné tento model overiť simuláciou určitého dňa. Ako podklady na vytvorenie uvažovaného priestoru, Terminálu 2, boli použité snímky máp spoločnosti Apple, vid' Obr. 10 a Obr. 11, podľa ktorých boli hranice terminálu označené a taktiež slúžili ako základ, na správne rozloženie jednotlivých vstupov, check-in prepážok, karuselov, eskalátorov a v neposlednom rade aj sociálnych služieb a ďalších doplnkových služieb, vid' Obr. 15 a Obr. 17.

Definovaným scenárom je tzv. validačný scenár, pomocou ktorého bola overená funkčnosť a správne nastavenie vytvoreného modelu. K tomu boli využité dáta získané z prevádzky poskytnuté Letiskom Praha. Sledovaným parametrom bol celkový čas, ktorý cestujúci strávi v priestore Terminálu 2 a čas strávený v rade pri check-in prepážke. Na základe týchto parametrov bolo možné následne overiť správne nastavenie modelu.

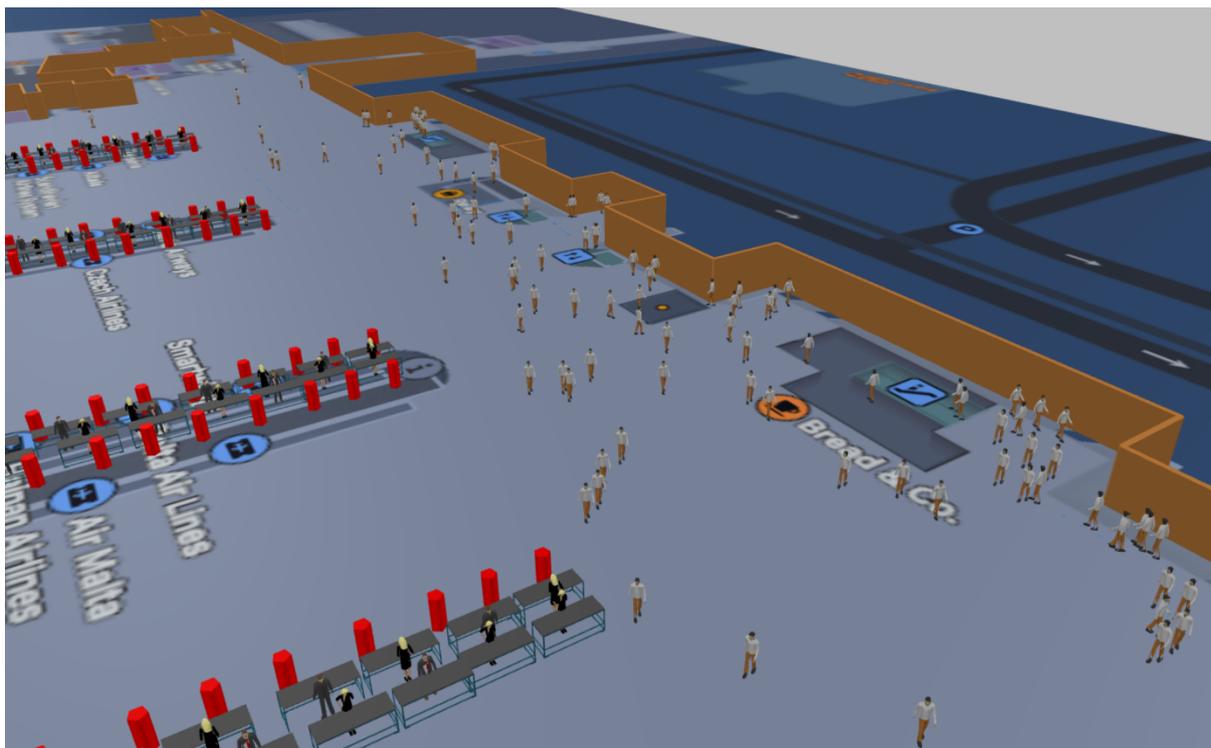
Samotná validácia je založená na porovnaní získaných časových hodnôt zo simulácie, s tzv. „optimum queuing times“ teda hodnotami poskytnutými medzinárodnou organizáciou IATA. Každý rok organizácia vydáva aktualizovaný ADRM – Airport Development Reference Manual report, v ktorom vyhodnocuje a analyzuje rôzne aspekty a faktory v rámci prevádzkovateľov letísk.<sup>32</sup> Zároveň aj vydáva všeobecné odporúčania zahŕňajúce okrem iného aj výsledky z ankiet od cestujúcich, kde sú zosumarizované najdôležitejšie informácie. Na validáciu modelu je použité ADRM vydané v roku 2022, keďže vydanie z roku 2019 nebol voľne dostupný.

Podľa IATA je štandardný časový interval, OQT, na odbavenie cestujúcich na check-in prepážke do 20 minút. Ďalej bol použitý štandardný časový interval OQT na prebratie batožiny z karuselov, pre tzv. úzko-trupe lietadla, a to maximálne 15 minút.<sup>32</sup> Tieto odporúčané optimálne časové údaje boli použité na overenie správnosti nastavenia modelu.

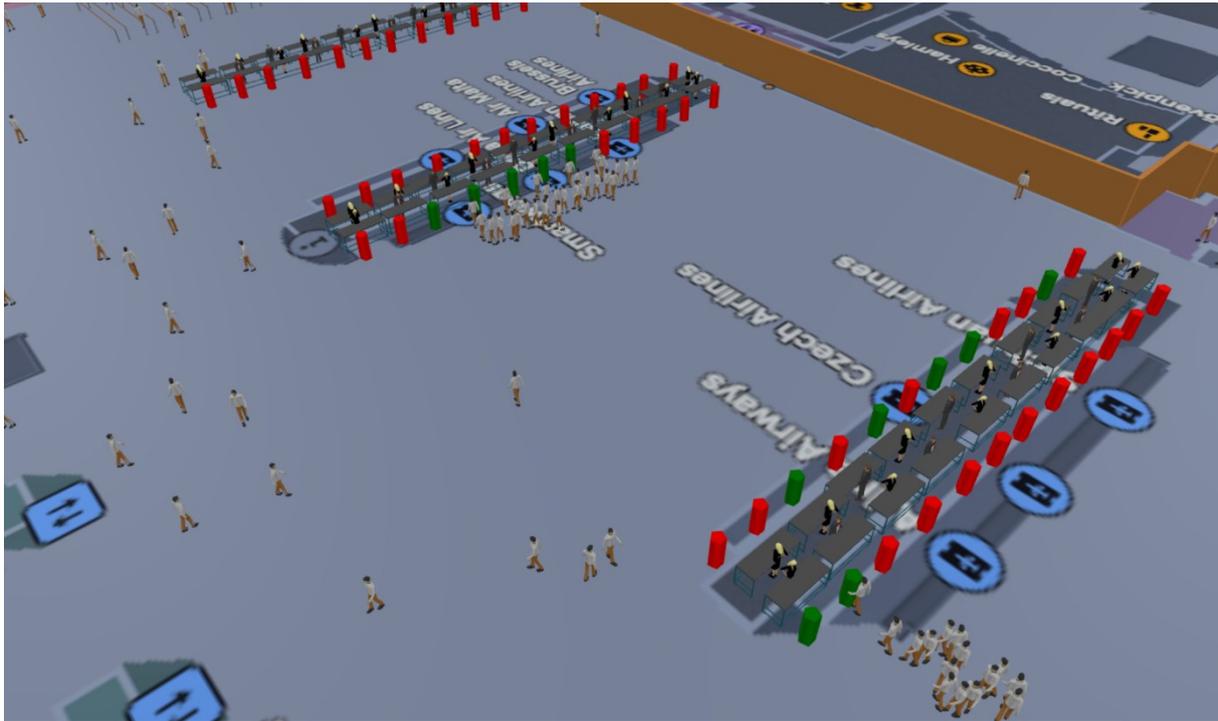
## 8 Prezentácia výsledkov a diskusia

Pomocou validačného scenáru bola overená funkčnosť vytvoreného modelu. Simulácia bola sledovaná a vyhodnotená v časovom intervale od 07:00 do 11:00, ktorý možno na základe poskytnutých dát považovať za čas rannej špičky. Nižšie sú zobrazené snímky z programu AnyLogic v rôznych časoch prebiehajúcej simulácie.

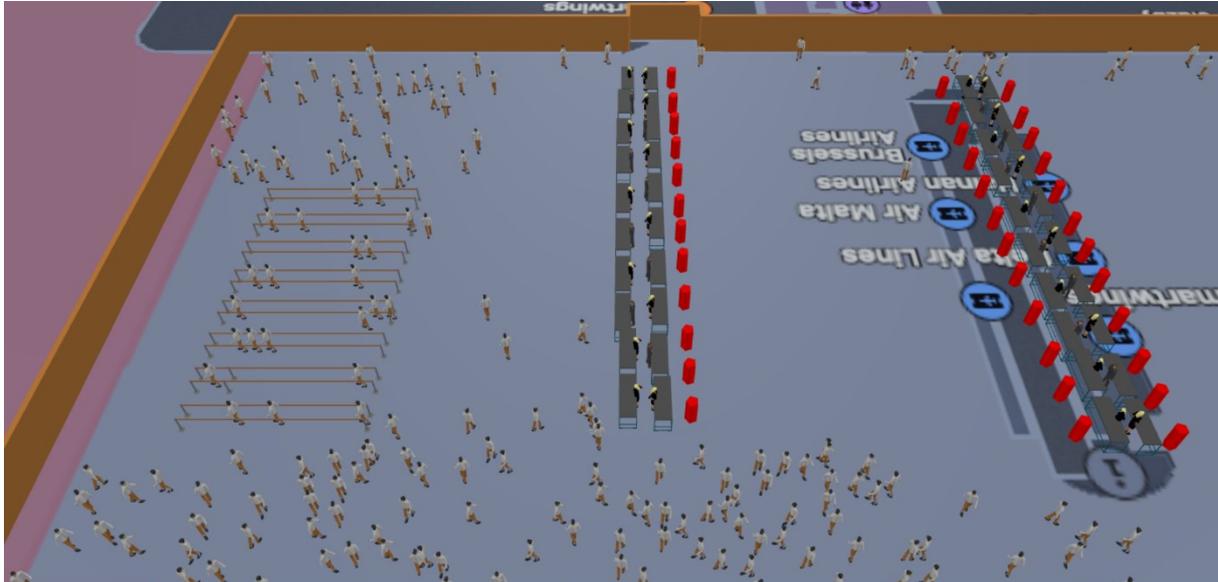
Na Obr. 18 je možné vidieť jednotlivé vstupy do priestorov odletovej časti Terminálu 2, kde je pohyb cestujúcich náhodný. Na Obr. 19 je znázornený pohľad na celú odletovú halu a pohyb cestujúcich vo vymedzenom priestore. V strednej časti sa nachádzajú jednotlivé check-in prepážky, na ktorých bude prebiehať odbavovanie. Obr. 20 zobrazuje priestor validátorov palubných vstupeniek nachádzajúci sa pred radom na bezpečnostnú kontrolu. V týchto miestach môže dochádzať k spomaleniu cestujúcich vzhľadom k tomu, že cez ne musia všetci cestujúci prejsť. Nižšie na Obr. 21 je pre ucelenosť zobrazený pohľad na priletovú halu, eskalátorov a v pravej časti obrázku sa nachádza priestor karuselov.



Obr. 18 – snímka z programu AnyLogic – vstupy odletovej haly



Obr. 19 – snímka z programu Anylogic – check-in prepážky



Obr. 20 – snímka z programu AnyLogic – validátory palubných vstupeniiek



Obr. 21 – snímka z programu Anylogic – příletová hala a priestor karuselov

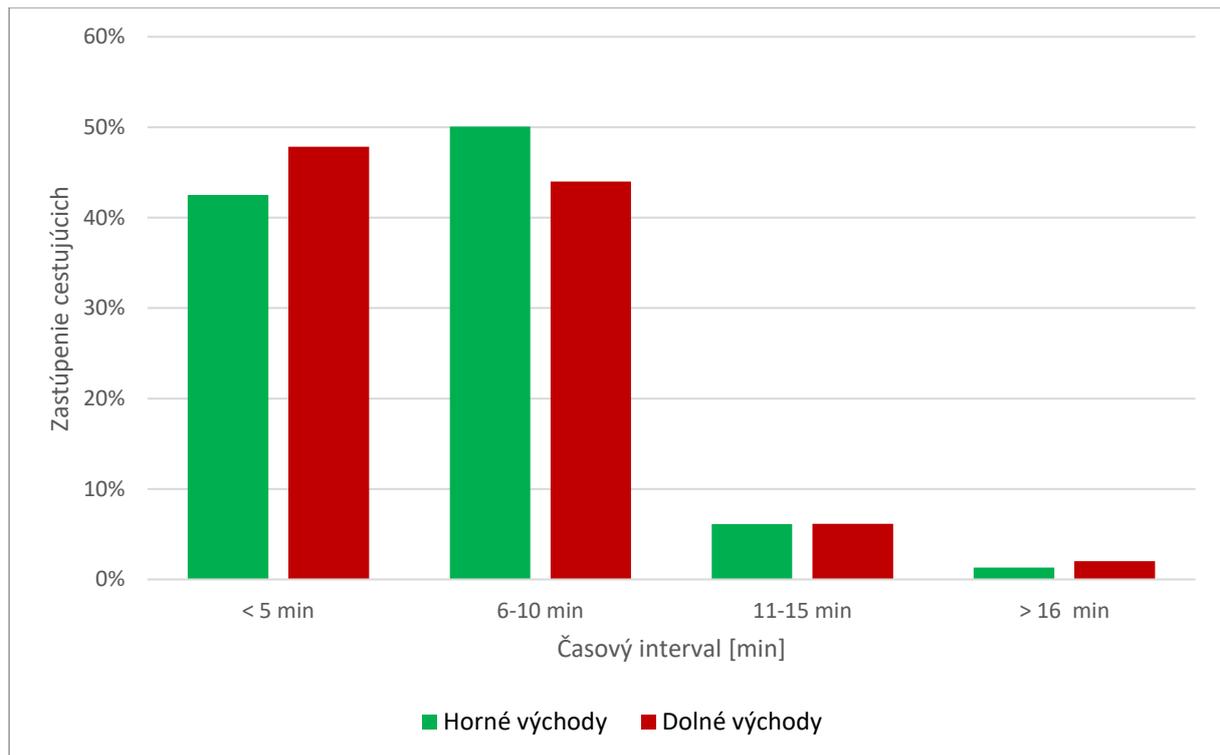
## 8.1 Výsledky simulácie

Ako bolo spomenuté vyššie, simulácia prebiehala v predom definovanom časovom intervale od 07:00 do 11:00 vrátane, kedy sledovanou premennou bol čas strávený v rôznych procesoch, resp. celkový čas strávený v priestoroch verejnej časti Terminálu 2.

V danom časovom intervale, bolo 25 odletov a 30 príletov z ktorých boli následne získané údaje potrebné na interpretáciu a validáciu modelu. Z daného počtu letov, v prípade odletov sa jednalo o 17 LEG a 8 LCC, resp. 22 LEG a 8 LCC príletov.

Počas spustenia simulácie program AnyLogic zaznamenával jednotlivé predom stanovené úseky, na ktorých je možné získavať časove údaje. Z týchto sledovaných údajov bolo možné stanoviť:

- celkový čas strávený cestujúcim v priestoroch príletovej haly Terminálu 2
- čas strávený cestujúcim v radoch a počas odbavovania na check-in prepážke
- celkový čas strávený cestujúcim v celom priestore odletovej haly Terminálu 2
- čas strávený cestujúcim počas preberania odbavenej batožiny pri karuseloch

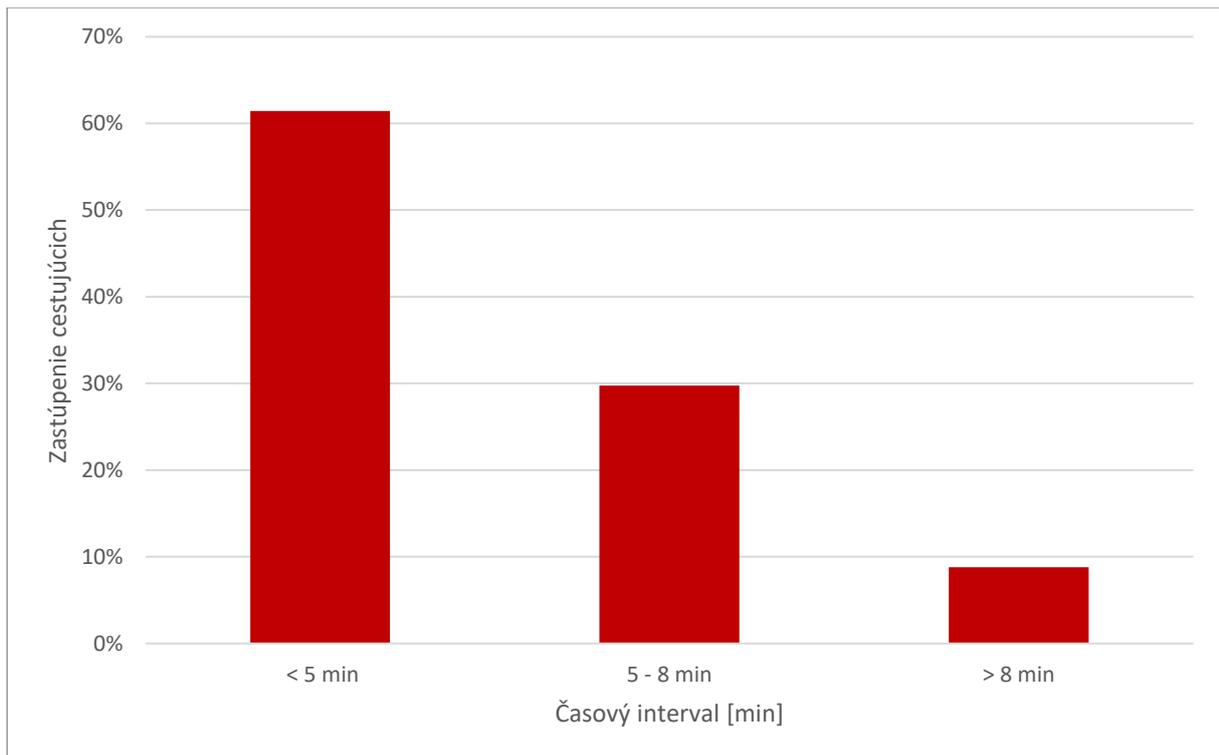


Graf č. 6 – percentuálne rozdelenie celkového času stráveného v priletovej hale

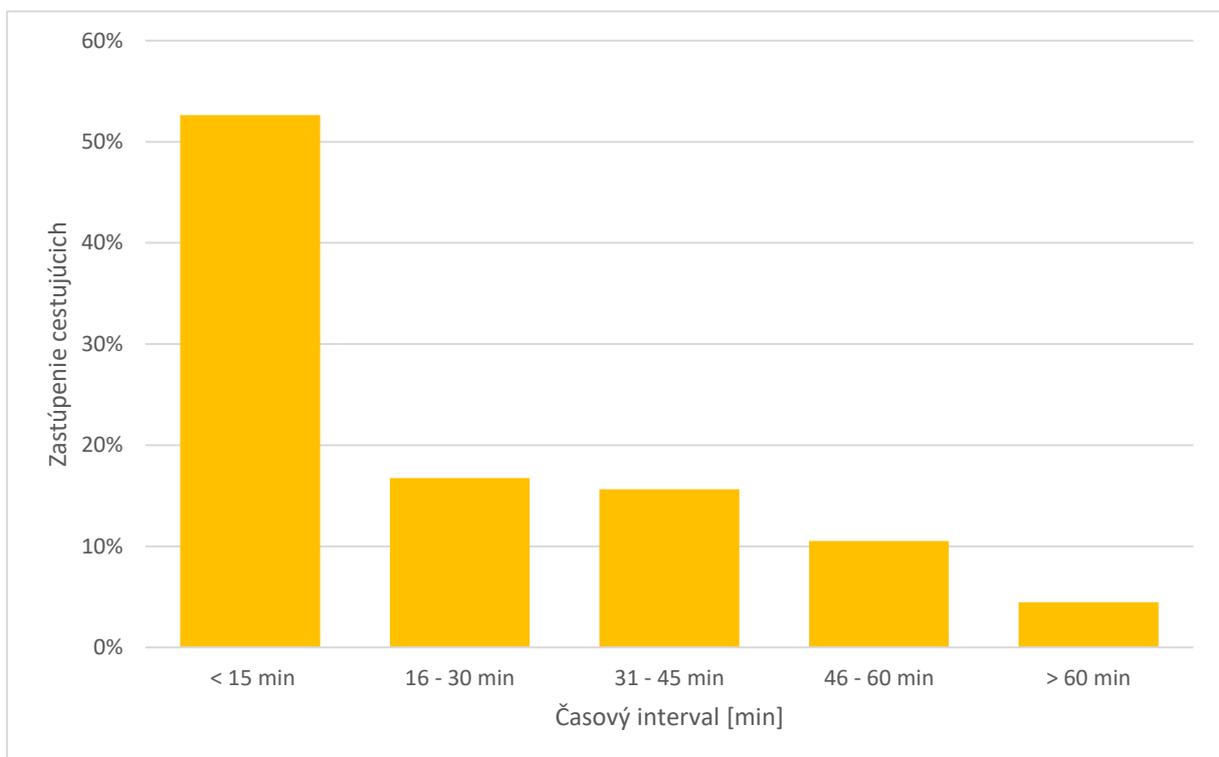
Graf č. 6 zobrazuje porovnanie percentuálneho rozdelenia časových intervaloch cestujúcich v priletovej časti terminálu. Najpočetnejšia skupina cestujúcich strávi priemerne šesť až desať minút v priestoroch priletov. Tento časový údaj je meraný od vstupu do karuselového priestoru až po samotný výstup z budovy.

V grafe sú taktiež porovnané časy cestujúcich, ktorí sa rozhodli využiť tzv. „horné východy“ resp. dolné východy. Táto možnosť voľby je daná samotnou stavbou letiska, kedy cestujúci má možnosť prejsť na horné poschodie (odletová hala) a vyjsť hornými dverami. Táto možnosť je zaistená výťahmi a obojsmernými eskalátormi na dvoch miestach: pred obchodom s potravinami na začiatku spojovacej chodby s T1 a pri hlavných výstupných dverách v prízemnej časti.

Na Graf č. 7 sú znázornené časové intervaly a percentuálne množstvo cestujúcich zaradených do jednotlivých intervalov. Je zrejme, že viac než 60 % cestujúcich s odbavenou batožinou strávi menej ako päť minút pri jej preberaní v priestore karuselov. Celkovo hodnoty namerané počas simulácie spadajú do štandardného intervalu OQT podľa IATA.



Graf č. 7 – percentuálne rozdelenie času stráveného pri preberaní odbavenej batožiny na karuzeloch



Graf č. 8 – percentuálne rozdelenie celkového času stráveného v odletovej hale



Ďalšie znázornenie údajov je vidno na Graf č. 8, ktorý sa týka výhradne odlietajúcich cestujúcich a ich celkového času stráveného vo verejnej časti priestorov Terminálu 2. Najviac cestujúcich, až 52,6 %, v ňom strávi celkovo menej ako 15 minút. Tento časový údaj je meraný od momentu prekročenia vstupných dverí až po samotný výstup z definovaného priestoru, ktorý je v tejto práci charakterizovaný hranicou validátorov.

Z toho vyplýva, že do daného intervalu spadá aj prípadné odbavenie na samoobslužných či štandardných prekážkach a zdržanie sa v niektorej z doplnkových služieb.

Simulácia a tvorba modelu sa vzťahuje výhradne na verejnú časť terminálu, teda tú, ktorá sa nachádza pred bezpečnostnou kontrolou. Práve bezpečnostná kontrola je vnímaná medzi ľuďmi ako miesto, kde dochádza k najväčšiemu zdržaniu a preto aj menšie zdržanie môže výrazne ovplyvniť tok ľudí v tejto časti.

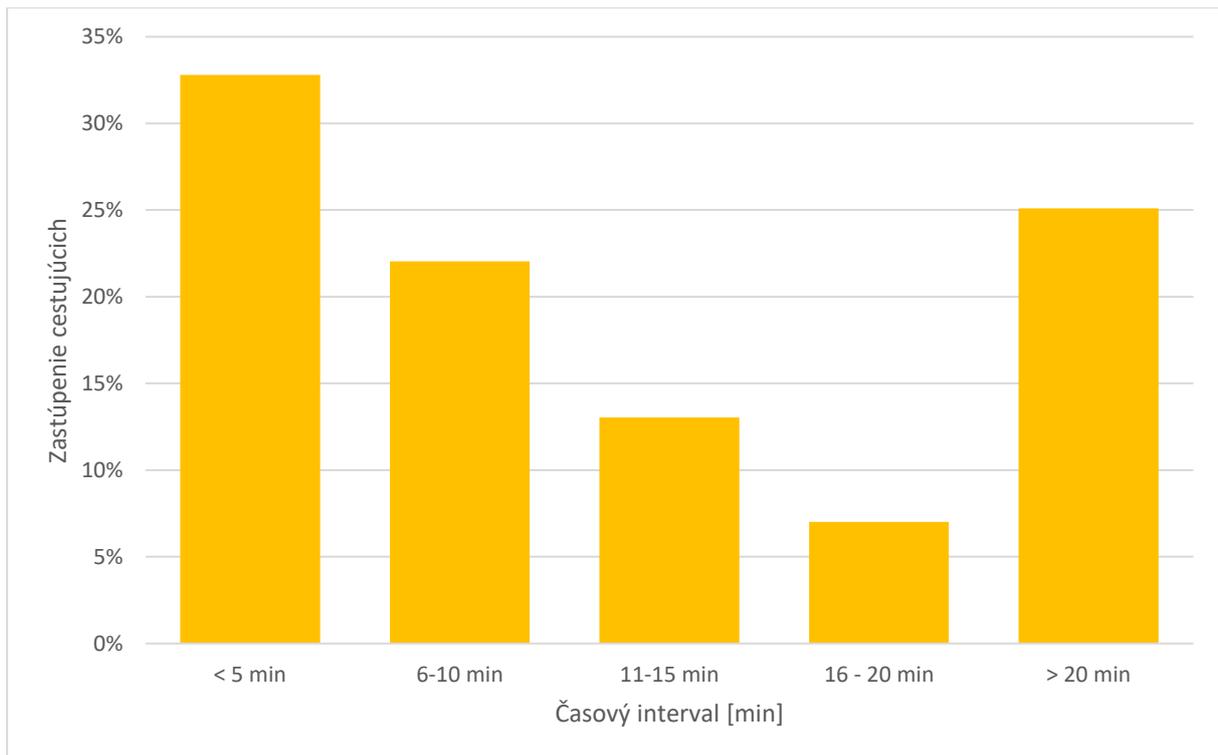
Cestujúci majú tendenciu sa čo najmenej zdržiavať v tých miestach, ktoré sa nachádzajú pred bezpečnostnou kontrolou a preferujú trávenie zvyšného času v SRA, kde sú napr. doplnkové služby zastúpené vo väčšom množstve.

Posledné hodnoty získané zo simulácie sú spracované v Graf č. 9, ktorý znázorňuje čas strávený na štandardnej check-in prepážke. Tento časový údaj je meraný od príchodu do radu až k samotnej prepážke po ukončenie odbavenia. Ako je vidno v grafe, najväčšie množstvo strávi na check-in päť a menej minút, konkrétne 32,8 % cestujúcich.

Časové údaje zobrazené v tomto grafe, boli získané iba z jednej prepážky, keďže nie všetky letecké spoločnosti využívajú viaceré prepážky. Práve kvôli tomu, bolo rozhodnuté, že meranie bude prebiehať iba na prvej mozgnej prepážke, ako je vidno v schéme na Obr. 14.

Dané časové hodnoty sa môžu líšiť v závislosti od viacerých faktorov, ako je napríklad voľba počtu prepážok, na ktorých bude prebiehať odbavovanie, prípadne možnosť tzv. „common check-in counter“, na ktorom môže byť naraz odbavovaných viacero letov tej istej spoločnosti. To má za následok predĺženie radu, najmä ak sa jedná o lety, ktoré majú plánovaný odlet v krátkych po sebe idúcich intervaloch. Preto je druhá najpočetnejšia skupina s 25,1 % cestujúcich, ktorí strávia na check-in viac ako 20 minút.

Podľa zverejnených hodnôt OQT, optimálny čas stráveného na check-in prepážke je nastavený do 20 minút, čo v prípade tohto modelu predstavuje väčšinu cestujúcich a to až 74,9 %.



Graf č. 9 – percentuálne rozdelenie času stráveného na check-in prepážke



## 9 Závěr

Cieľom tejto práce bola tvorba a následná validácia počítačového modelu verejnej časti Terminálu 2 Letiska Praha, ktorý bol v práci splnený. Uvažovaným priestorom bol Terminál 2, jeho obidve poschodia tvoriace priletovú a odletovú halu. V tomto priestore bol študovaný tok cestujúcich. Za týmto účelom bol zostrojený počítačový model s využitím metódy multiagentného modelovania. Pred samotnou tvorbou modelu, bolo potrebné vykonať detailnú analýzu súčasného stavu a identifikovať jednotlivé prvky a procesy, ktoré sa v priestoroch verejnej časti Terminálu 2 nachádzajú a dochádza k nim.

V práci boli zostrojené dva vývojové diagramy. Prvý predstavuje tok cestujúcich pred odletom a zahŕňa jednotlivé prvky a procesy, ktorými cestujúci v priestore Terminálu 2 prechádza. Druhý naopak popisuje tok cestujúcich po prilete a taktiež zahŕňa jednotlivé prvky a procesy, ktorými cestujúci po prilete prechádza.

S využitím pripravených vývojových diagramov boli vytvorené modely v prostredí programu AnyLogic. Následne, po vytvorení celého modelu verejnej časti Terminálu 2 na LKPR bola vykonaná validácia modelu, počas ktorej bola nasimulovaná bežná prevádzka vo vopred definovanom čase, konkrétny deň bol štvrtok 29.8.2019 a časový interval od 07:00 do 11:00. Použitými vstupnými údajmi, boli poskytnuté dáta z prevádzky LP, ktoré približne zodpovedajú reálnej prevádzke letiska. Sledovanou premennou simulácie bol čas, ktorý cestujúci v priestore Terminálu 2 strávi. Validácia modelu bola vykonaná porovnaním hodnôt získaných zo simulácie a porovnávané s OQT poskytnutými medzinárodnou organizáciou IATA.

Po úspešnom zostavení modelu a vykonaní validácie modelu boli získané percentuálne zastúpenia cestujúcich v jednotlivých časových intervaloch. Tieto časové údaje boli merané v štyroch podobách: celkový čas v priletovej hale, čas strávený pri preberaní batožiny na karuseloch, v odletovej hale a čas strávený v rade a na odbavení. V prípade priletovej časti boli identifikované dva hlavné toky: cestujúci ktorý vystupovali na prízemí a tí, ktorí pokračovali na prvé poschodie. Obe varianty boli uvažované pri tvorbe modelu.

Väčšina ľudí, čo predstavuje hodnotu 54,84 %, na check-in prepážke strávi rádovo jednotky minút, čo podľa medzinárodnej spoločnosti IATA je možné kategorizovať ako optimálny čas strávený pri odbavovaní. Najväčšie množstvo cestujúcich, 69,39 %, v priestoroch verejnej časti Terminálu 2 strávi maximálne 30 minút. Posledná získaná hodnota je pre priletovú časť, kedy



sa polovica cestujúcich zdržala v priestoroch v časovom rozmedzí 6 až 10 minút. Väčšina cestujúcich ale v priletovej časti strávila maximálne 10 minút.

Za limitácie práce je možné považovať fakt, že model bol vytvorený iba pre verejnú časť Terminálu 2, čo predstavuje iba zlomok celkových vnútorných priestorov LP. Zároveň je potrebné dodať, že simulácia prebiehala iba počas jedného dňa (29.8.2019), a to iba v časovom intervale 4 hodín, od 7:00 do 11:00. Ďalšou limitáciou je aj letné obdobie, kedy množstvo odbavených cestujúcich je výrazne vyššie než v porovnaní so zimným obdobím.

Vzhľadom k vyššie spomínaným limitáciám práce by ďalší postup mohlo predstavovať odstránenie týchto limitácií a dotvoriť tie časti, ktoré neboli v aktuálnom modeli zahrnuté. Jedným z príkladov môže byť prídanie ďalších procesorov ako je napr. bezpečnostná kontrola, ktorá predstavuje vstup do priestoru SRA. Ďalšou možnosťou je následná tvorba pohybu cestujúcich v priestoroch SRA a času stráveného na doplnkových službách, kde dochádza k značnému hromadeniu cestujúcich. Následným krokom môže byť vytvorenie priestorov gateov, ktorý v Termináli 2 predstavuje celkový priestor pred nástupnými mostami.

Ďalšou možnosťou pokračovania je tvorba modelu priestorov verejnej časti Terminálu 1, ktorý by po zdokonalení aktuálneho modelu Terminálu 2 a následných úpravách ohraničenia a rozloženia priestoru mohol byť priamo implementovaný. Princíp jednotlivých procesorov a v nich použité funkcie by boli analogické ako pre model verejnej časti Terminálu 2. Zásadným rozdielom je ale rozloženie neverejného priestoru Terminálu 1 a priestoru bezpečnostnej kontroly, ktorá nie je centralizovaná, ale je alokovaná priamo v jednotlivých gateoch. Tieto rozdiely v rozložení procesorov a priestore by bolo potrebné bližšie skúmať, a teda by sa jednalo o komplexnejšie pochopenie celého priebehu cestujúcich v definovanom priestore.



## 10 Zoznam použitej literatúry

- (1) LKPR - Praha Ruzyně. VACC Czech Republic. [online] [Dátum: 6.7.2023] Dostupné z: <https://www.vacc-cz.org/en/airports/lkpr>
- (2) Výroční zpráva 2021. Letiště Praha. [online] [Dátum: 11.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/O-letisti/O%20spole%C4%8Dnosti/soubory/Vyrocnizpravy/Leti%C5%A1t%C4%9B%20Praha%20-%20VZ%202021.pdf>
- (3) Z Letiště Praha znovu do USA. Přímý spoj do New Yorku zajišťuje dopravce Delta Air Lines. Letiště Praha. [online] [Dátum: 11.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/z-letiste-praha-znovu-do-usa-primy-spoj-do-new-yorku-zajistuje-dopravce-delta-air-lines>
- (4) Korean Air opět nabídne spojení z Prahy do Soulu. Letiště Praha. [online] [Dátum: 11.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/korean-air-opet-nabidne-spojzeni-z-prahy-do-soulu>
- (5) Z Letiště Václava Havla Praha přímo na Tchaj-wan. Od července dvakrát týdně. Letiště Praha. [online] [Dátum: 11.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/z-letiste-vaclava-havla-praha-primo-na-tchaj-wan-od-cervence-dvakrat-tydne>
- (6) Výroční zpráva 2022. Letiště Praha. [online] [Dátum: 3.7.2023] Dostupné z: [https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/O-letisti/O%20spole%C4%8Dnosti/soubory/Vyrocnizpravy/VZ\\_LP\\_2022.pdf](https://www.prg.aero/sites/default/files/obsah/O-letisti/O%20spole%C4%8Dnosti/soubory/Vyrocnizpravy/VZ_LP_2022.pdf)
- (7) Terminál Sever 2 - Ruzyně , mezinárodní letiště. SKANSKA. [online] [Dátum: 21.6.2023] Dostupné z: <https://www.skanska.cz/co-delame/projekty/57221/Terminal-Sever-2-Ruzyne-%2C-mezinarodni-letiste>
- (8) Regular and Charter Flights. Prague Airport. [online] [Dátum: 21.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/regular-and-charter-flights>
- (9) Capacity Parameters and Slot Coordination. Prague Airport. [online] [Dátum: 21.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/capacity-parameters-and-slot-coordination>
- (10) Možnosti odbavení cestujících před odletem. Letiště Praha. [online] [Dátum: 20.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/moznosti-odbaveni-cestujicich-pred-odletem>



- (11) Check-in Options. Prague Airport. [online] [Datum: 20.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/en/check-in-options#standard>
- (12) Kazda, A. Airport Design and Operation. Bingley, 2015. ISBN 978-1-78441-870-0
- (13) A Guide to Airport Self Check-in Kiosks. Aratek. [online] [Datum: 31.7.2023] Dostupné z: <https://www.aratek.co/news/a-guide-to-airport-self-check-in-kiosks>
- (14) Self Bag Drop Solutions. DAIFUKU. [online] [Datum: 31.7.2023] Dostupné z: <https://daifukuatec.com/api/asset/2019/07/Daifuku-Self-Bag-Drop-UX-Brochure-2.pdf>
- (15) Access Validation. Objective. [online] [Datum: 29.7.2023] Dostupné z: <https://www.objective.se/products/ft-tv/>
- (16) Pravidla pro vstup osob a vjezd vozidel a pro jejich pobyt v neveřejném prostoru letiště Praha Ruzyně. Letiště Praha. [online] [Datum: 14.7.2023] Dostupné z: <https://www.suz.cz/wp-content/uploads/2020/01/Pravidla-pro-vstup-osob-a-vjezd-vozidel-a-pro-jejich-pobyt-v-neve%C5%99ejn%C3%A9m-prostoru-LKPR.pdf>
- (17) Celní odbavení. Letiště Praha. [online] [Datum: 14.7.2023] Dostupné z: <https://www.prg.aero/celni-odbaveni>
- (18) Farhan, M.; Gohre, B.; Junprung, E. Reinforcement Learning in Anylogic Simulation Models: A Guiding Example Using Pathmind. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC)*; IEEE: Orlando, FL, USA, 2020; pp 3212–3223. [Datum: 29.6.2023] Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9383916>.
- (19) 4 types of simulation models used in data analytics. Tech Target. [online] [Datum: 14.7.2023] Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchbusinessanalytics/tip/Types-of-simulation-models-used-in-data-analytics>
- (20) De Marchi, S.; Page, S. E. Agent-Based Models. *Annu. Rev. Polit. Sci.* 2014, 17 (1), 1–20. [Datum: 10.7.2023]. ISSN 1094-2939, 1545-1577. Dostupné z: <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-080812-191558>.
- (21) Cheng, L.; Reddy, V.; Fookes, C.; Yarlagadda, P. K. D. V. Impact of Passenger Group Dynamics on an Airport Evacuation Process Using an Agent-Based Model. In *2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*; IEEE:



- Las Vegas, NV, USA, 2014; pp 161–167. [Datum: 8.7.2023]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/CSCI.2014.111>.
- (22) Sanders, G.; Mohammadi Ziabari, S. S.; Mekić, A.; Sharpanskykh, A. Agent-Based Modelling and Simulation of Airport Terminal Operations Under COVID-19-Related Restrictions. In *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Social Good. The PAAMS Collection*; Dignum, F., Corchado, J. M., De La Prieta, F., Eds.; Lecture Notes in Computer Science; Springer International Publishing: Cham, 2021; Vol. 12946, pp 214–228. [Datum: 5.8.2023] Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85739-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85739-4_18).
- (23) Liu, X.; Li, L.; Liu, X.; Zhang, T. Analysis of Passenger Flow and Its Influences on HVAC Systems: An Agent Based Simulation in a Chinese Hub Airport Terminal. *Building and Environment* 2019, 154, 55–67. [Datum: 3.8.2023]. ISSN 03601323. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.011>.
- (24) Mekić, A.; Mohammadi Ziabari, S. S.; Sharpanskykh, A. Systemic Agent-Based Modeling and Analysis of Passenger Discretionary Activities in Airport Terminals. *Aerospace* 2021, 8 (6), 162. [Datum: 31.7.2023]. ISSN 226-4310. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/aerospace8060162>.
- (25) Janssen, S.; Sharpanskykh, A.; Curran, R. Agent-Based Modelling and Analysis of Security and Efficiency in Airport Terminals. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2019, 100, 142–160. [Datum: 1.8.2023]. ISSN 0968090X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.012>.
- (26) Kleinschmidt, T.; Guo, X.; Ma, W.; Yarlagadda, P. K. D. V. Including Airport Duty-Free Shopping in Arriving Passenger Simulation and the Opportunities This Presents. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*; IEEE: Phoenix, AZ, USA, 2011; pp 210–221. [Datum: 2.8.2023]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/WSC.2011.6147752>.
- (27) Li, J.; Yang, Y.; Zhao, Q. Study on Passenger Flow Simulation in Urban Subway Station Based on Anylogic. *JSW* 2014, 9 (1), 140–146. [Datum: 2.7.2023]. ISSN 1796-217X. Dostupné z: <https://doi.org/10.4304/jsw.9.1.140-146>.



- (28) Li, M. Research on the optimization of subway station passenger flow efficiency based on Anylogic simulation. IEEE, 2022 [Datum: 19.7.2023]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10036741>
- (29) Cheng, L.; Fookes, C.; Reddy, V.; Yarlagadda, P. Analysis of Passenger Group Behaviour and Its Impact on Passenger Flow Using an Agent-Based Model: In *Proceedings of the 4th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*; SCITEPRESS - Science and Technology Publications: Vienna, Austria, 2014; pp 733–738. [Datum: 14.7.2023]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5220/0005086807330738>.
- (30) Harel, D. Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems. *Science of Computer Programming* 1987, 8 (3), 231–274.[Datum 3.7.2023]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0167-6423\(87\)90035-9](https://doi.org/10.1016/0167-6423(87)90035-9).
- (31) yEd - graph editor. yworks. [online]. [Datum: 14.7.2023] Dostupné z: <https://www.yworks.com/products/yed>
- (32) Airport Level of Service Concept. IATA. [online]. [Datum: 16.11.2023] Dostupné z: <https://www.iata.org/en/services/consulting/airport-pax-security/level-of-service/>
- (33) Plán areálu. PlanetaCestování. [online]. [Datum: 2.6.2023] Dostupné z: <https://www.planetacestovani.cz/mapa-letiste-praha/#prettyPhoto/2/>