

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ústav letecké dopravy

Bc. Tereza Dvořáková

**MODEL PRO ANALÝZU FYZICKÝCH ROZESTUPŮ
PRO COVID-FREE LETIŠTĚ**

Diplomová práce

Praha 2021

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. Tereza Dvořáková

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Model pro analýzu fyzických rozestupů pro COVID-free letiště**

Název tématu (anglicky): Physical Distancing Analysis Model for COVID-free Airport

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je prozkoumání fenoménu Smart Airport a nejlepších aplikací v rámci COVID-free modelů letišť po celém světě. Důležitou součástí práce je vytvoření modelu pro zajištění fyzických rozestupů přilétajících cestujících. Výsledkem práce bude základní analytický model využitelný jak v prostředí letišť obecně, tak i validován na konkrétním letišti.
- Koncepte Smart Airport a COVID-free a příklady aplikace této koncepte na vybraných letištích
- Diferenciace cestujících na základě současných provozních požadavků letiště
- Principy, zdroje a struktura pro vytvoření modelu physical distancing
- Vytvoření modelu pro physical distancing pro přilétající cestující
- Vyhodnocení a validace návrhu modelu



- 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: Miller M. A Primer to Prepare for the Connected Airport and the Internet of Things.
Drljača M. et al. The Role and Influence of Industry 4.0. in Airport Operations in the Context of COVID-19.
ACI Europe. Guidelines for a Healthy Passenger Experience at Airports.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Řehoř, Ph.D., MBA**
doc. Ing. Peter Vittek, 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: **17. května 2021**
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. Tereza Dvořáková
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....17. července 2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

MODEL PRO ANALÝZU FYZICKÝCH ROZESTUPŮ PRO COVID-FREE LETIŠTĚ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Bc. Tereza Dvořáková

ABSTRAKT

Fenomén Smart Airport vycházející z konceptu Smart Cities v současné době prochází rychlým rozvojem. Cílem této koncepce je zlepšit čtyři multikriteriální funkce letiště, které spočívají v efektivitě, udržitelnosti, odolnosti a passenger experience (volně přeloženo jako zkušenost a spokojenost cestujícího s pobytem a službami na letišti). Odolnost letiště spočívá v jeho rezistenci například vůči nepříznivým meteorologickým podmínkám, bezpečnostním incidentům nebo aktuálně i hrozbě šíření nakažlivých nemocí. Práce je zaměřena na možnosti využití principů COVID-free v rámci Smart Airport konceptu včetně příkladů použití. Část práce je věnována problematice diferenciací cestujících podle současných protiepidemických požadavků letišť. Těžiště práce spočívá v naprogramování dvou modelů. První model pro analýzu principů physical distancing, neboli fyzických rozestupů mezi osobami, v příletových koridorech se týká letišť obecně. Druhý dvoustupňový model je situován do příletových prostorů Letiště Václava Havla v Praze a řeší komplexně problematiku dynamického toku cestujících příletovými koridory a následně tvorby fronty před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví při dodržování principů physical distancing.

Klíčová slova:

Koncepce Smart Airport, COVID-free letiště, fyzické rozestupy, Single Token, teorie hromadné obsluhy

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

FACULTY OF TRANSPORTATION SCIENCES

**PHYSICAL DISTANCING ANALYSIS MODEL FOR COVID-FREE
AIRPORT**

DIPLOMA THESIS

2021

Bc. Tereza Dvořáková

ABSTRACT

The Smart Airport phenomenon, that is based on the Smart City concept, is currently developing rapidly. The aim of this concept is to improve the following airport objective functions: efficiency, sustainability, resilience and passenger experience. Resilience of an airport lies in resistance to meteorological conditions, safety and security issues and spread of infectious diseases. This diploma thesis is focused on possibilities of use of COVID-free principles within the Smart Airport concept including case studies from world's airports. Great emphasis was put on passenger differentiation based on the current anti-epidemic requirements of airports. Two models have been created and introduced in this thesis. The first model for analysis of physical distancing principles in the arrival area refers to airports in general. The second two-stage model is situated in the arrival part of Terminal 2 at Prague Airport and deals with dynamic passenger flows through arrival corridors and creation of queues in front of the arrival anti-epidemic measures control while adhering to physical distancing principles.

Key words:

Smart Airport, COVID-free Airport, Physical Distancing, Single Token, Queueing Theory

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 9.8.2021

Tereza Dračková
.....

podpis

Poděkování

Velké poděkování za konzultace, odborné rady a nesmírnou ochotu pomoci patří oběma vedoucím mé diplomové práce, panu Ing. Václavu Řehořovi, Ph.D., MBA a panu doc. Ing. Peteru Vittekovi, Ph.D.

Dále bych ráda poděkovala paní Mgr. Šárce Voráčové, Ph.D. za rady a konzultace k problematice teorie hromadné obsluhy a panu doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D. za konzultaci a rady k problematice programování modelu.

Poděkování patří rovněž panu Ing. Pavlu Beníškovi, Danielu Ottovi, MSc., Mgr. Janu Kubátovi a Ing. Martinu Svárovskému z Letiště Václava Havla v Praze za rady a konzultace k problematice toku cestujících v příletových prostorách letišť.

Obsah

Úvod	11
1. Koncepce Smart Airport.....	13
1.1 Vývoj a klasifikace Smart Airport.....	15
1.2 Architektura koncepce Smart Airport.....	16
2. Současné provozní požadavky letiště.....	18
2.1 Doporučená protiepidemická opatření vně terminálu.....	19
2.2 Doporučená protiepidemická opatření při vstupu do terminálu	19
2.3 Doporučená protiepidemická opatření uvnitř terminálu.....	20
2.4 Značení a upozorňování cestujících na platná opatření.....	21
2.5 Protiepidemická opatření a jejich vliv na kapacitu letišť.....	22
2.5.1 Kapacita letištních terminálů	22
2.5.2 Vliv protiepidemických opatření na provoz a kapacitu letišť	23
3. Diferenciace cestujících na základě současných provozních požadavků letiště... 25	
3.1 Návrh diference cestujících podle vlastnictví digitálního COVID certifikátu EU ..	27
3.2 Návrh diference cestujících podle míry rizika nákazy v zemi jejich odletu	28
4. Využití prvků koncepce Smart Airport při změně procesů na COVID-free letišti ... 30	
4.1 Check-in.....	30
4.2 Kontrola palubní vstupenky	31
4.3 Bezpečnostní kontrola.....	32
4.4 Pasová kontrola	32
4.5 Nástup do letadla a výstup z letadla	32
5. Významné technologie Smart Airport v boji proti pandemii a příklady aplikace ... 34	
5.1 Single Token	34
5.2 Trasovací aplikace	35
5.3 Umělá inteligence.....	35
5.4 Digital Twin	36
5.5 Nositelná elektronika	37
5.6 Samoobslužná zařízení.....	37

5.7	Monitorování polohy cestujících a toků cestujících	38
5.8	Dynamická simulace toků cestujících	39
5.9	COVID-free koncepce	39
6.	Model pro analýzu physical distancing na letištích obecně	42
6.1	Principy a zdroje obecného modelu.....	42
6.2	Sběr a příprava dat	43
6.3	Uživatelské rozhraní aplikace.....	46
6.4	Princip funkce modelu	49
6.5	Výstupy modelu.....	51
7.	Model pro analýzu physical distancing na Letišti Václava Havla v Praze	53
7.1	Principy, zdroje a metodologický postup vývoje modelu	53
7.2	Teorie hromadné obsluhy.....	55
7.3	Uživatelské rozhraní aplikace.....	58
7.4	Princip funkce modelu	60
7.5	Popis struktury výstupů modelu.....	62
7.6	Simulace vlivu physical distancing na využití kapacity příletových koridorů	65
7.7	Analýza vlivu zavedení digitálního COVID certifikátu EU na tvorbu fronty při aplikaci physical distancing	66
7.7.1	Simulace 1.....	68
7.7.2	Simulace 2.....	72
7.7.3	Simulace 3.....	75
7.8	Vyhodnocení simulací	77
7.9	Vyhodnocení a validace modelu.....	79
8.	Diskuse.....	82
9.	Závěr.....	85
	Seznam použité literatury.....	87
	Seznam obrázků	93
	Seznam tabulek.....	95
	Seznam příloh	96

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam anglicky	Význam česky
ACI	Airport Council International	Mezinárodní rada letišť
AI	Artificial Intelligence	Umělá inteligence
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
CDC	Centers for Disease Control and Prevention	Centrum pro kontrolu a prevenci nemocí
CDM	Collaborative Decision Making	Koncept sdílení provozních dat a společného rozhodování
CT	Computer Tomography	Počítačová tomografie
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control	Evropské středisko pro prevenci a kontrolu nemocí
EHP	European Economic Area	Evropský hospodářský prostor
EPRS	European Parliamentary Research Service	Výzkumná služba Evropského parlamentu
EU	European Union	Evropská unie
EUROCONTROL	European Organization for the Safety of Air Navigation	Evropská organizace pro bezpečnost leteckého provozu
GPS	Global Positioning System	Globální navigační systém
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IoT	Internet of Things	Internet věcí
NHS	National Health Service	Národní zdravotní služba
PAX	Passenger	Cestující
PCR	Polymerase Chain Reaction	Polymerázová řetězová reakce
QR kód	Quick Response Code	
UV	Ultraviolet	Ultrafialové záření
WHO	World Health Organization	Světová zdravotnická organizace

Úvod

Diplomová práce se zabývá koncepcí Smart Airport, která se v současné době začíná ve stále větší míře uplatňovat na světových letištích. Prvky Smart Airport mohou přispět i ke zvládnutí problémů způsobených pandemií nemoci COVID-19. Technologie koncepce Smart Airport se implementují z několika důvodů. Patří mezi ně zvyšování provozní efektivity, odolnosti (tzv. resilience) a udržitelnosti. Aby letiště mohlo nabízet cestujícím personalizované služby, je potřeba, aby mělo k dispozici dostatek dat o cestujících, a mohlo na jejich základě provádět kvalitní segmentaci cestujících. Druhotným důvodem pro implementaci prvků koncepce Smart Airport je zvýšení spokojenosti cestujících a jejich tzv. customer experience¹. Pokud si cestující odnese z letiště pozitivní zkušenosti, bude v budoucnu cestu přes dané letiště preferovat.

V dnešní době, kdy je celý svět sužován globální pandemickou krizí, a ekonomické sektory jako turistika či letectví pociťují silné propady, se prvky koncepce Smart Airport dají aplikovat na zvýšení letištní odolnosti, tzv. resilience, a vybudování antipandemického letiště. To vede k tomu, že prostřednictvím moderních technologií je možné zajistit minimalizaci rizika nákazy při využití letecké dopravy. Pandemie přinášejí různé typy speciálních požadavků, které je v prostorách s vyšší kumulací osob potřeba aplikovat. Jedná se například o physical distancing², pro jehož aplikaci však nebyla letiště navrhována. Problematice vlivu opatření physical distancing na kapacitu příletových prostor letišť je věnována druhá polovina práce.

Část práce je zaměřena na problematiku diferenciací cestujících podle současných protiepidemických požadavků letišť. K tradiční segmentaci cestujících například podle cestovní třídy nebo podle toho, jak často letadlem cestují, byly navrženy nové segmenty cestujících související se současnými požadavky letišť, například s aplikací physical distancing. Cestující mohou být segmentováni podle toho, zda disponují digitálním COVID certifikátem EU³, nebo podle míry rizika nákazy v zemi, ze které přilétají.

Jedna z kapitol je zaměřena na možnosti aplikace prvků koncepce Smart Airport pro zvýšení protipandemické odolnosti letišť. Popis jednotlivých technologií je doplněn případovými

¹ *Customer experience nebo také passenger experience se rozumí zkušenost a spokojenost cestujícího s pobytem a službami na letišti.*

² *Physical distancing jsou fyzické rozestupy mezi osobami, jejichž cílem je snížit pravděpodobnost nákazy infekční nemocí prostřednictvím kapének nebo vzduchu.*

³ *Certifikát osvědčující, že je osoba způsobilá k cestování tím, že splňuje jeden ze tří požadavků: prodělané onemocnění COVID-19, negativní výsledek testu nebo ukončené očkování proti COVID-19. Certifikát splňuje náležitosti, které na něj klade EU [1].*

studiemi, které popisují přínosy chytrých technologií v boji proti pandemii na konkrétních světových letištích.

Těžiště práce spočívá v naprogramování dvou modelů simulujících toky cestujících při dodržování physical distancing v příletových prostorách letišť. Tyto modely byly vytvořeny v programovém prostředí Matlab. První model je určen pro provádění simulací na libovolném letišti. Umožňuje nahrání vstupního datového zdroje s rozložením příletových koridorů. Výstupem je graf dosažené plochy na osobu v příletových koridorech letiště podle vstupního letového řádu, pro který má být provedena simulace.

Druhý naprogramovaný model simuluje tok cestujících od příletových gatů až k namátkové pobytové kontrole dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. Tok cestujících v příletových koridorech je považován za dynamický, tj. základním předpokladem je, že cestující procházejí koridory bez zastavení. V prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví již nelze využít předpoklad dynamického toku cestujících, a z tohoto důvodu je na tento prostor aplikována teorie hromadné obsluhy. Výstupem tohoto modelu jsou čtyři grafy, které slouží ke zhodnocení možností aplikace physical distancing v příletových koridorech Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. V modelu byly provedeny tři simulace, které analyzovaly vliv zavedení rychlejších obslužných míst pro cestující disponující digitálním COVID certifikátem EU na prostorové nároky fronty při dodržování physical distancing. Výstupy simulace je možné využít také k posouzení implementace prvků koncepce Smart Airport, které by mohly pomoci s efektivnějším využíváním dostupné kapacity příletových prostorů při aplikaci physical distancing. Model byl validován porovnáním výsledků simulace se zadanými vstupními parametry naměřenými přímo ve zkoumaném prostoru Terminálu 2 s čekací dobou zjištěnou na místě zkoumání. Modelování kapacity letišť při aplikaci nových protiepidemických opatření považuje organizace EUROCONTROL [2] za jednu z klíčových aktivit nutnou pro umožnění návratu k plnému leteckému provozu z doby před příchodem pandemie.

1. Koncepce Smart Airport

Koncepce Smart Airport je velmi komplexní a netýká se jen letiště samotného. Základní myšlenka této koncepce spočívá v propojení letiště, města či regionu, na které je letiště vázáno, a cestujících. Účastníky této relace jsou také zástupci letištních obchodů a další subjekty, bez nichž by provoz letiště nebyl možný, jako například zástupci leteckých společností, cateringových společností atd. Koncepce chytrého města, tzv. Smart City je již nějakou dobu rozvíjena. Jedním z prvků, které tuto koncepci rozšiřují, a umožňují její další vylepšené využití, je právě fenomén chytrých letišť.

Letiště v současnosti již neslouží pouze jako prostor pro odbavení přilétajících a odlétajících cestujících. Dnes se jedná o komplexní prvek infrastruktury, který je navázán na systémy okolních měst a regionů. Aby letiště mohlo poskytnout svým cestujícím co nejlepší zážitek a naplnit jejich preference, jsou k tomu zapotřebí prvky koncepce Smart Airport [3]. Cestující by se měli dostat do cíle své cesty bez zbytečných zdržení a nepříjemností, měli by být informováni o veškerých důležitých skutečnostech týkajících se jejich cesty prostřednictvím chytrého telefonu.

Mezi odborníky zatím nepanuje shoda ohledně jednotné definice pojmu Smart Airport. Obecně lze za chytré letiště označit takové letiště, které integruje prvky moderních technologií, především z oblasti telekomunikací, robotiky nebo IoT (Internet of Things)⁴ s cílem zvýšit neletecké příjmy letiště, zlepšit propojenost s okolními chytrými komponenty a optimalizovat čtyři multikriteriální funkce. Mezi čtyři multikriteriální funkce patří: (1) provozní efektivita, (2) udržitelnost, (3) passenger experience a (4) odolnost [4]. Ke zvyšování provozní efektivitě přispívá implementace moderních technologií. Udržitelnost spočívá v ochraně životního prostředí a zajišťování udržitelné mobility. Jedná se o velmi aktuální problematiku. Většina letišť již spustila programy na snížení zátěže životního prostředí například prostřednictvím snižování emisí oxidu uhličitého. Do této oblasti rovněž spadá vyhodnocování hlukových dat z provozu letiště a jejich dopadů na okolní prostředí [5]. Passenger experience se rozumí, jak cestující vnímá interakce s letištem. Mezi základní interakce patří osobní kontakt a zkušenost s letištním personálem, online nebo samoobslužnými službami, technologiemi a jinými kanály [6]. V koncepci Smart Airport je zlepšování passenger experience vnímáno jako jeden ze základních cílů letiště. Passenger experience je zlepšována nabízením personalizovaných služeb cestujícím, což je umožněno především prostřednictvím nasazení nových technologií.

⁴ „Internet věcí je síť propojených zařízení vybavených senzory, které zaznamenávají data. Architektura koncepce Internet věcí umožňuje těmto zařízením komunikovat, agregovat a analyzovat data k dosažení výsledků.“ [7]

Odolností, neboli resiliencí, rozumíme kromě bezpečnostní odolnosti nebo odolnosti proti nepříznivým meteorologickým vlivům také odolnost pandemickou, která je v současné době pro znovuoživení letecké dopravy ve větším měřítku zcela klíčová. Smart Airport má mít provozní procesy ošetřené prostřednictvím chytrých prvků tak, aby aktivně docházelo k zabránění přenosu nakažlivých nemocí na další osoby. Cestování musí být bezpečné nejen z hlediska trestných činů, ale také z hlediska zdravotního. V tom spočívá odolnost letišť, která se dle studie Wang *et al.* [8] definuje jako schopnost systému přestát neočekávané poruchy nebo nepredikovatelné situace a zůstat přitom v provozuschopném stavu. Prvky koncepce Smart Airport nejsou nasazovány do provozu pouze přímo na letištích. Ve Švédsku a Velké Británii již funguje nová generace řízení letového provozu na letištích, které může být vykonáváno na dálku z centrálního stanoviště [9]. Jedno stanoviště může provádět dohled nad leteckou dopravou na více letištích současně.

Koncepce Smart Airport vede k vysoké úrovni automatizace procesů na letišti. Průchod povinnými kontrolními body zabere cestujícím méně času. Mezi další prvky, které jsou pro koncepci chytrého letiště typické, kromě nasazování umělé inteligence při kontrolách dokumentů, patří systémy chytré mobility a samoobslužných kiosků bez jakékoliv asistence zaměstnanců letiště. Může se ovšem jednat i o natolik specifické technologie, jako je například uschování sněhu ze zimního období, který je následně využit k chlazení budovy terminálu během letní sezony na letišti Oslo [9].

Cílem koncepce Smart Airport není jen zážitek a dobrá zkušenost cestujících s daným letištem, ale také zvýšení příjmů letiště. Toho se dosáhne nabízením personalizovaných služeb cestujícím a zvýšením provozní efektivity letiště. Podaří-li se letišti získat dostatečné množství dat v uspokojivé kvalitě o typech cestujících, kteří přes letiště cestují, může jim nabídnout služby ušité na míru [10]. Diferenciace cestujících je disciplína s velkými možnostmi. Cestující je možné segmentovat například podle cestovní třídy, destinace, účelu jejich cesty, délky trvání jejich cesty nebo podle způsobu, kterým si cestu zařídili.

Vzhledem k pandemické situaci s nemocí COVID-19, která nastala během roku 2020, se prvky koncepce Smart Airport začínají ve větší míře využívat i v boji proti šíření této nemoci. Cestovní ruch utrpěl v roce 2020 silný pád v důsledku přísných restrikcí ze stran vlád jednotlivých států ve snaze omezit šíření viru. Aby se mohl provoz na letištích znovu začít zvyšovat, bude potřeba cestujícím zaručit, že využívání letecké dopravy není ze zdravotního hlediska nebezpečné. Již během podzimu 2020 představila první letiště plány na tzv. COVID-free lety. Jedním z nich bylo letiště Řím-Fiumicino, které začalo nabízet lety z Říma do Milána a později také do New Yorku v režimu COVID-free. Cestující na těchto letech se musejí na letišti prokázat negativním testem, který nesmí být starší než 48 hodin, nebo se musí přímo na letišti nechat otestovat.

Všichni cestující na zmíněných letech tedy mají negativní výsledek testu [11]. Další prvky koncepce Smart Airport se prosazují v oblasti aplikace principů physical distancing, bezkontaktních služeb, dezinfekce a čištění letišť.

Obecně platí, že implementace nových moderních technologií je výhodnější v bohatších státech s vyšší průměrnou mzdou, kde jsou obyvatelé technicky zdatnější [12]. Naopak v zemích s nižší průměrnou mzdou bývají lidé zpravidla méně seznámeni s moderními technologiemi, a proto by potřebovali pro hladký průchod chytrým letišťem větší počet pozemního personálu. Z tohoto důvodu se zde nasazování nových prvků koncepce Smart Airport příliš nevyplatí.

1.1 Vývoj a klasifikace Smart Airport

Letiště prošla v poslední době rychlým rozvojem. Letiště bylo původně chápáno pouze jako významný infrastrukturní uzel. Na letišti fungovaly společnosti, které se přímo podílely na provozu letiště, nebo s ním úzce souvisely. Jednalo se například o hotely nebo letištní obchody. Postupem času se letiště začalo měnit spíše na tzv. Airport City, kde hrál významnou roli také neletecký business, kanceláře, obchodní centra, apod. Současná definice popisuje letiště jako poskytovatele služeb, kdy letiště je úzce navázáno na sousední město nebo region. Cílem letiště je přitáhnout pozornost co největšího počtu možných zákazníků a stává se cílovou destinací pro mnoho z nich, například díky vyspělým nákupním možnostem.

Obecně uznávanou klasifikací úrovní koncepce Smart Airport je čtyřstupňová škála [10, 13, 14]. Nejnižší úroveň se nazývá **Airport 1.0**. Tento typ letiště slouží jako prostor pro odbavování cestujících a letadel. Letištní procesy probíhají manuálně, tj. za účasti letištního personálu. Během řízení zdrojů letiště nastávají delší prodlevy. Technologie, kterými je letiště vybaveno, slouží především pro zajištění efektivního provozu bez výraznějších zpoždění.

Úroveň **Airport 2.0** se vyznačuje snahou o snížení nákladů na provoz letiště a zlepšení efektivity letištních procesů. Současně již letiště počítá s cílem zaujmout cestujícího. Jsou implementovány jednotlivé technologie, které vedou ke zlepšení toku cestujících, např. automatizované odbavení zavazadel nebo kontrola pasu bez obsluhy letiště.

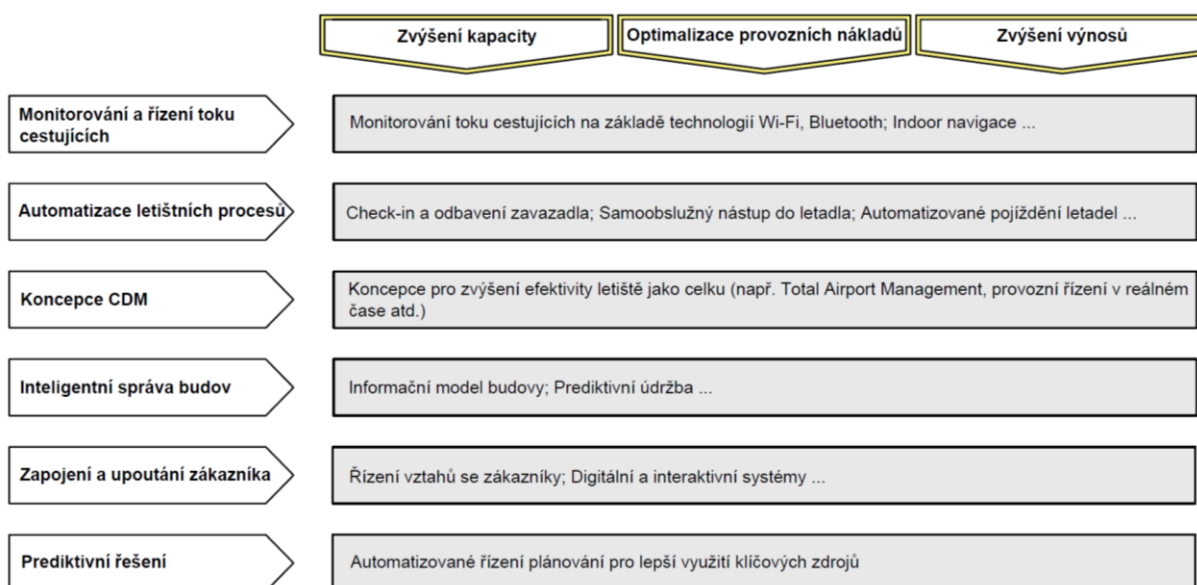
Letiště na úrovni **Airport 3.0** má vyšší stupeň digitalizace sloužící k optimalizaci toku cestujících. Prediktivní technologie nachází své uplatnění nejen v prostorách landside, ale také airside. Díky digitálním technologiím se zvyšuje efektivita využívání letištních zdrojů a rovněž se zlepšuje passenger experience.

Na nejvyšší úrovni vyspělosti letiště jsou **Airport 4.0**, která generují dodatečné zisky prostřednictvím nabízených personalizovaných služeb cestujícím, a současně nabízejí

pasážerům jedinečné zážitky. Letiště analyzuje data o svých cestujících a na základě těchto dat může cestujícím nabízet personalizované služby. Propojení s okolní infrastrukturou, dalšími chytrými komponenty a všemi subjekty zapojenými do provozu letiště je na velmi vysoké úrovni. Cestující mají k dispozici komplexní aplikace, pomocí kterých mohou získávat informace ze širokého spektra oblastí, například z letového řádu, jízdních řádů navazujících pozemních druhů dopravy, čekacích dob na kontrolních bodech na letišti, letištní navigace, nákupů v letištních obchodech prostřednictvím e-shopu atd. [13] Cestujícím je umožněn automatizovaný průchod letišťem [14]. Velmi zajímavou a do budoucna perspektivní technologií je tzv. One ID [15], neboli Single Token technologie, která umožňuje průchod terminálem v režimu bez předkládání papírové cestovní dokumentace. Základem této technologie je práce s biometrickým rozpoznáváním osob prostřednictvím tváře, otisku prstu nebo oční duhovky.

1.2 Architektura koncepce Smart Airport

Ke stanovení, ve kterých oblastech je možné aplikovat prvky koncepce Smart Airport, je třeba si nejprve definovat cíle, kterých se má prostřednictvím implementace Smart Airport dosáhnout. Základní cíle zobrazené v obrázku žlutě jsou zvýšení kapacity, optimalizace provozních nákladů a zvýšení výnosů letiště (Obrázek 1). Mezi jednotlivé vrstvy, které se uplatňují při provozu chytrého letiště, patří monitorování a řízení toku cestujících, automatizace letištních procesů, koncepce CDM (Collaborative Decision Making), inteligentní správa budov, zapojení a upoutání zákazníka a prediktivní řešení.



Obrázek 1: Architektura koncepce Smart Airport (vlastní dílo autorky na základě [10])

První vrstva definovaná jako monitorování a řízení toku cestujících se stává klíčovým pilířem pro letištní provoz v pandemické situaci. K monitorování polohy lidí uvnitř budovy letiště je možné využívat například technologie Bluetooth nebo Wi-Fi, kterými dnes disponuje každý chytrý telefon. Automatizaci, tedy druhou vrstvu, reprezentují technologie umožňující odbavení cestujícího a zavazadel bez manuální asistence zaměstnanců letiště. Příkladem takové technologie je komplexní koncepce Single Token, kdy tokenem je biometrický údaj cestujícího, který nahrazuje cestovní doklady v jejich papírové podobě. Může se jednat ale také o samoobslužné kiosky nahrazující nutnost kontaktu se zaměstnanci letiště. Do této vrstvy se řadí také technologie využitelné při provozu letadel, například zvýšení automatizace při pojíždění letadel. Vrstva CDM zahrnuje především problematiku řízení provozu letiště a koordinovaného postupu společně s dalšími účastníky letového provozu. Jedná se o jeden z klíčových pilířů, který přináší schopnost získávat data v reálném čase tak, aby bylo možné reagovat na vzniklé provozní situace s minimálním zpožděním. Vrstva s názvem Inteligentní správa budov je zaměřena mimo jiné na omezení plýtvání energiemi, a tedy spadá do jedné ze základních vlastností koncepce Smart Airport – udržitelnosti. Do předposlední z vrstev, která se týká cestujících, patří technologie zlepšující tzv. passenger experience [10]. Vrstva prediktivních technologií je reprezentována například systémy pro predikci výkonů na letišti, která slouží k efektivnějšímu rozdělování zdrojů.

2. Současné provozní požadavky letiště

Manuál asociace ACI Europe [16] doporučuje v zájmu minimalizace rizika nákazy infekční nemocí zajistit několik opatření: aplikaci postupů physical distancing, zajištění optimální úrovně hygieny prostřednictvím pravidelného úklidu a dezinfekce, vylepšení systému topení, ventilace a klimatizace, vyžadování nošení ochrany dýchacích cest v letištních prostorách a instalaci ochranných bariér při komunikaci mezi cestujícími a letištním personálem.

Vzhledem k charakteru přenosu nemoci COVID-19, kdy největší riziko je prostřednictvím malých kapének od nakažené osoby, která tyto kapénky produkuje při kýchní, kašlání nebo dýchání, je účinným opatřením dodržování rozestupů mezi osobami. Ohledně vzdálenosti, na kterou se tyto kapénky mohou přenášet, panují neshody. Zatímco organizace WHO považuje vzdálenost jednoho metru za dostatečnou, organizace CDC a NHS doporučují minimálně dva metry [17]. Z důvodu snadného přenosu viru by měl být na aplikaci a dodržování principů physical distancing kladen mimořádný důraz. Organizace ACI Europe se zabývá problematikou dodržování rozestupů mezi osobami v prostoru přednádraží i uvnitř terminálu, dále omezením vstupu do terminálu v zájmu dodržení physical distancing rozestupů vně i uvnitř terminálu a také možnostmi monitorování dodržování těchto postupů. Je třeba počítat s tím, že ne všichni cestující jsou dostatečně zodpovědní, a někteří z nich se mohou snažit nastoupit na svůj let i přesto, že se potýkají s mírnými příznaky nemoci COVID-19. V případě testování pasažérů je nutné vzít v úvahu i situaci, že cestující obdrží po testování falešně negativní výsledek.

EASA [18] doporučuje založit letištní protiepidemickou strategii na dvou základních pilířích. Prvním pilířem je zajistit, že se osoby se symptomy nemoci COVID-19 nebudou vyskytovat v prostorách letiště, a druhým pilířem je implementace rozestupů mezi osobami a vysoký standard hygieny a úklidu letiště. EASA a ACI Europe radí zajistit vzdálenost minimálně 1,5 metru mezi osobami. Dalším základním opatřením v boji proti infekčním nemocem je zavádění bezkontaktních alternativ letištních procesů, při kterých cestující nepřijde do osobního kontaktu se zaměstnanci letiště.

Ke kontrole dodržování principů physical distancing se využívá stálého monitoringu [16]. K tomuto účelu slouží různé sledovací nástroje, například videomonitoring, videoanalýza, technologie pro počítání cestujících v určitých prostorách nebo dynamické simulace zaplněnosti prostorů.

2.1 Doporučená protiepidemická opatření vně terminálu

Všechny osoby mířící na letiště, cestující a zaměstnanci by měli být v předstihu informováni, aby v případě pocítění symptomů nemoci COVID-19 zůstali doma. Letecké společnosti by měly cestujícím poskytnout informace o platných opatřeních na letišti odletu, během letu a na letišti příletu. Informace by rovněž měly být dostupné na webových stránkách a sociálních sítích letišť a leteckých dopravců. Doplnující informace mohou být cestujícím poskytnuty i během cesty na letiště, například ve vlaku nebo autobusu. Dle manuálu ACI Europe [16] je nutné v prostoru přednádraží, kde se tvoří fronty na autobus, taxislužbu nebo u automatů na jízdenky zajistit dodržování rozestupů, což je možné například prostřednictvím upozorňujících značek umístěných na zemi.

V autobusech, které se v prostoru airside využívají k přepravě cestujících z terminálu k letadlu a zpět, je rovněž třeba myslet na opatření minimalizující rizika nákazy infekční chorobou. ACI Europe doporučuje [16] oddělit vystupující a nastupující cestující takovým způsobem, aby se vzájemně nesetkali. Aplikace physical distancing v autobusech by způsobila, že by pro odbavení jednoho letadla bylo ve většině případů zapotřebí více autobusů, než tomu bylo dosud.

2.2 Doporučená protiepidemická opatření při vstupu do terminálu

Cílem protiepidemických opatření je snížit riziko nákazy osob na letišti. Z těchto důvodů je nutné umožnit vstup do terminálu pouze cestujícím, posádkám letadel a zaměstnancům. ACI Europe ve svém manuálu [16] dále uvádí, že doprovázející osoby by se měly zdržovat pouze ve venkovních prostorách letiště. Výjimkou jsou osoby doprovázející cestující s omezenou mobilitou nebo samostatně cestující děti. Tyto osoby by ovšem měly mít v terminálu vyhrazený prostor, kde se s doprovázejícími osobami rozloučí tak, aby přitom nepřišly do kontaktu s hlavními toky cestujících, například směřujícími od odbavovacích přepážek k pasové a bezpečnostní kontrole.

Vstupem do terminálu se rozumí jak vchod z přednádraží, tak z letadla do neveřejné části letiště. Některá vstupní opatření mohou být aplikována také na vstupu z veřejné do neveřejné části terminálu. ACI Europe [16] rozlišuje dva druhy zdravotní kontroly cestujících – primární a sekundární. Primární kontrola zahrnuje prvotní posouzení zdravotního stavu, například na základě doneseného výsledku negativního testu nebo jiného dokumentu, případně může být provedena i kontrola teploty nebo výskytu symptomů nemoci. Sekundární kontrolu provádí odborný zdravotnický pracovník. Její součástí je pohovor s cestujícím a podrobnější vyšetření jeho zdravotního stavu. U sekundární kontroly může být cestujícímu odebrán vzorek

k otestování možné přítomnosti viru nemoci. ACI Europe měření teploty nedoporučuje, neboť se nejedná o účinný nástroj pro odhalování možných nakažených osob.

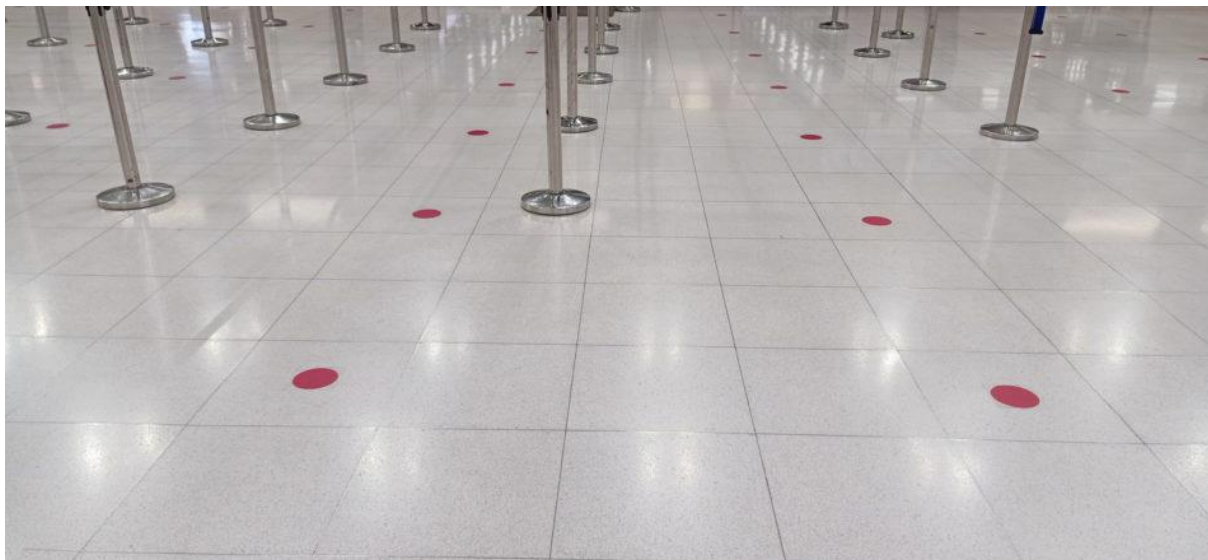
Aby bylo provádění těchto kontrol na letišti proveditelné, je třeba jim vyhradit dostatečné prostory, protože zdravotní kontroly ovlivní toky cestujících. Pro tyto účely je dle ACI Europe [16] velmi užitečné provádět predikci dopravních špiček, k čemuž se dá využít například předpokládaná obsazenost letů. Rovněž je nutné znát délku trvání kontroly jednoho cestujícího a stanovit požadavky na plochu na osobu a maximální přípustné čekací doby.

2.3 Doporučená protiepidemická opatření uvnitř terminálu

Již při vstupu do terminálu by měli být cestující pravidelně upozorňováni, aby ze zdravotních důvodů dodržovali rozestupy od jiných lidí, a aby se chovali zodpovědně. Je rovněž doporučeno používání prostředků na ochranu dýchacích cest. Při plánování toku cestujících se doporučuje vést cestující jednosměrnými koridory tak, aby se v maximální možné míře minimalizovalo křížení toků cestujících, případně aby se netvořila přeplněná místa. Rovněž je důležité tok cestujících aktivně řídit tak, aby výše popsaná pravidla nebyla porušována. V místech, kde se očekává tvorba front cestujících, například před odbavovací přepážkou, bezpečnostní kontrolou nebo pasovou kontrolou, se doporučuje upozorňovat cestující na potřebu dodržování principů physical distancing prostřednictvím nalepovacích značek s příslušnými rozestupy na zemi (*Obrázek 2*). Souběžné fronty cestujících by od sebe měly být odděleny ochrannou stěnou, aby bylo možné umisťovat fronty blíže k sobě. Každý cestující by pak pouze dodržoval rozestup od pasažéra před sebou. Před nákazou od cestujících ze souběžných front by ho chránila ochranná stěna. Toto řešení by však mohlo být problematické z pohledu požární bezpečnosti. Pokud to kapacita letiště umožňuje, měly by být otevřeny takové přepážky, check-in kiosky či tratě bezpečnostní kontroly, aby cestující čekající ve frontě mohli dodržovat bezpečné rozestupy. Rovněž je třeba flexibilně reagovat na vznik delších front otevřením dalšího stanoviště kontroly. Při nástupu lidí na palubu letadla je ideální vyvolávat cestující podle řady v letadle, kde mají rezervované sedadlo, a tím zajistit organizovaný nástup na palubu letadla [16]. Tato praxe je již na některých letištích nebo některých leteckých spojích využívána.

U výdeje zavazadel doporučuje organizace ACI Europe [16] umístit na podlahu značky pro dodržování rozestupů. První lidé by měli stát od výdejového karuselu ve vzdálenosti nejméně 2 až 3 metry, aby zůstal dostatek prostoru pro cestující jdoucí si pro své zavazadlo. V ideálním případě by se měl obsazovat vždy jen každý druhý zavazadlový pás a na každý pás by měla být umisťována zavazadla pouze z jednoho letu, aby se minimalizovalo riziko přenosu infekční nemoci mezi cestujícími z různých letů. U výtahů a eskalátorů je situace podobná. Doporučuje se přepočítat maximální kapacitu těchto zařízení tak, aby vyhovovala i při principech physical

distancing. Čekací prostor na tato zařízení by měl být rovněž opatřen značkami na zemi, které cestujícím připomínají, aby si od ostatních osob drželi dostatečný rozestup. U výtahů je třeba ještě zajistit, aby lidé čekající na výtah udělali dostatek prostoru na odchod cestujícím, kteří výtahem přijeli.



Obrázek 2: Značky pro upozornění cestujících na dodržování rozestupů [19]

Změny jsou nevyhnutelné také v oblasti služeb cestujícím. Základním pilířem je omezit větší shlukování osob na jednom místě. V prostoru toalet doporučuje ACI Europe [16] snížit kapacitu a monitorovat aktuální obsazenost. V případě, že by byla kapacita naplněna, mohly by se například rozsvítit varovné tabule před vstupem do těchto prostor. V jídelních koutech a salóncích se kvůli prevenci setkávání více osob doporučuje snížit počet stolů a židlí. Dětské koutky by z preventivních důvodů měly zůstat zavřené. Všechny ostatní prostory, například modlitebny, přepážky pro prodej letenek nebo informační kiosky, by měly být organizovány pro implementaci physical distancing principů.

Prostory čekáren jsou na letištích vybaveny sedačkami, aby mohli cestující pohodlně vyčkávat, než začne nástup do letadla. V reakci na koronavirovou pandemii se vlivem požadavků na rozestupy mezi cestujícími kapacita nabízených sedadel snížila. ACI Europe [16] doporučuje tento nedostatek částečně odstranit umístěním sedadel do prostor, kde dříve místa na sezení nebyla. Sedačky, které nemají být obsazené, by měly být zřetelně označeny takovým způsobem, který není možné snadno odstranit. Je ovšem nutné uvažovat dostatek míst vedle sebe určených pro rodiny nebo páry a určitý počet míst rezervovat pro osoby se sníženou mobilitou, těhotné ženy apod.

2.4 Značení a upozorňování cestujících na platná opatření

Ke zvýšení účinnosti platných protiepidemických opatření se mohou používat různé způsoby, které cestujícím, zaměstnancům a ostatním návštěvníkům letiště připomínají, jaká pravidla

mají dodržovat. Pro tyto účely doporučuje asociace ACI Europe [16] využívat digitálních obrazovek a monitorů, pozemního značení, vertikálních značek, hlášení letištním rozhlasem nebo moderních digitálních technologií, které mohou být zakomponovány například do letištní aplikace. Tuto aplikaci si cestující může stáhnout do svého chytrého telefonu před cestou na letiště. Technologie navigace ve vnitřních prostorách terminálu a služby určování polohy pomáhají s detekcí přeplněných prostorů. Získané informace slouží jak letištním dispečerům, tak samotným cestujícím, kteří se na základě upozornění z aplikace mohou vyhnout místům s vyšším rizikem přenosu nákazy.

2.5 Protiepidemická opatření a jejich vliv na kapacitu letišť

2.5.1 Kapacita letištních terminálů

Problematiku kapacity letištních terminálů lze rozdělit na tři hlavní subsystémy: rezervoáry, procesory a pojítka. Za rezervoáry lze považovat plochy, kde se hromadí čekající cestující, například prostory odletových čekáren u gatů nebo u míst pasové a celní kontroly. Procesory jsou místa, kde se provádějí kontroly, například bezpečnostní a imigrační kontrola, zavazadlové karusely nebo pasová a celní kontrola. Za procesor je považována také příletová kontrola zdravotní dokumentace cestujícího. Pojítka se rozumí zařízení a plochy umožňující pohyb cestujících, například schody, pojízdné chodníky nebo výtahy [20].

Pro potřeby výpočtů kapacity letištních terminálů se používají tři základní ukazatele: statická kapacita, dynamická kapacita a ustálená kapacita. Statická kapacita je definována jako množství potenciál daného prostoru. Výsledek je závislý na uvažované úrovni poskytovaných služeb, která stanovuje standardní prostor pro cestujícího [20]. Pro výpočet statické kapacity slouží následující vzorec (1). Užitený prostor, kterým se rozumí dostupná plocha prostoru, se uvažuje v m². Standardní prostor se počítá v m²/počet cestujících. Výsledná hodnota statické kapacity vychází v počtu pasažérů.

$$\textit{statická kapacita} = \frac{\textit{užitný prostor}}{\textit{standardní prostor}} \quad (1)$$

Dynamická kapacita definuje množství cestujících, kteří procházejí letištními subsystémy za daný časový okamžik. K výpočtu dynamické kapacity se využívá následující vzorec (2). Individuální obslužná rychlost se uvažuje v jednotce PAX/čas/obslužné zařízení. Množství obslužných zařízení se počítá v kusech. Výsledná hodnota dynamické kapacity vychází v PAX/čas a určuje rychlost obslužení za jednotku času.

$$\text{dynamická kapacita} = \text{individuální obsl. rychlost} \times \text{množství obsl. zařízení} \quad (2)$$

Ustálená kapacita je kombinací statické a dynamické kapacity. Tento ukazatel udává kapacitu letištního subsystému za daný časový úsek při dodržení určité kvality a úrovně služeb [20].

2.5.2 Vliv protiepidemických opatření na provoz a kapacitu letišť

Letiště se během současné pandemické krize nacházejí v komplikované situaci. Na jedné straně vzniká tlak na implementaci nových opatření, na druhé straně jsou limitace v podobě omezených letištních prostor a zdrojů. Pandemická krize má navíc na letiště tvrdý dopad i z pohledu financí. Letiště musejí investovat do provozních protiepidemických opatření a dezinfekčních a čistících prostředků. Příjmy se však vzhledem k výraznému propadu výkonů letecké dopravy snižují. Prostory terminálů nebyly navrženy pro plnou aplikaci principů physical distancing. Dle výpočtů organizace EUROCONTROL [2] by při aplikaci rozestupů mezi osobami v délce 1,5 metru bylo potřebné rozšířit prostory odbavovacích přepážek o 50 %, bezpečnostní kontroly o 100 % a nástupních gatů o 35 až 50 %. Příletová pasová kontrola by se rovněž musela rozšířit o 100 % a prostor výdeje zavazadel o 30 až 50 %. Maximální kapacita letišť by při aplikaci protiepidemických opatření dosahovala pouze zhruba 60 až 75 % původní kapacity v době před nástupem pandemie. Není proto vůbec jednoduché nalézt kompromis, který cestujícím zaručí bezpečné cestování, a který zároveň bude možné skutečně aplikovat z pohledu již existující letištní infrastruktury.

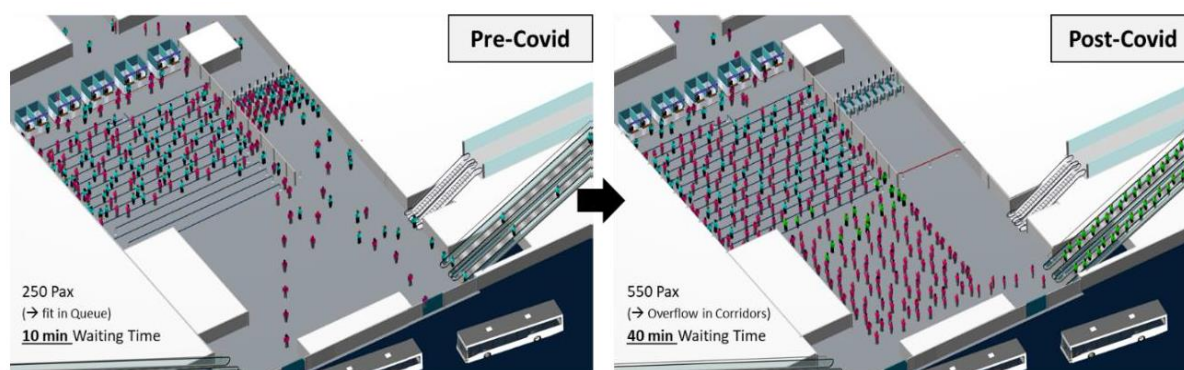
Letiště musejí v této době zajistit současně několik cílů [2]. Prvním je účinnost a fungování opatření ke snížení rizika nákazy infekční nemocí. Dále je potřeba, aby se cestující na letišti cítili bezpečně bez ohledu na to, jaká opatření jsou momentálně v platnosti. Současně musí letiště zajistit, aby finanční dopady krize na letiště nebyly příliš vysoké. Podobně je nutné garantovat minimalizaci vlivu opatření na kapacitu letiště.

Organizace EUROCONTROL ve své studii *Impact Assessment of COVID-19 Measures on Airport Performance* [2] považuje rozšiřování čekacích prostorů, personální restrukturalizaci, spolupráci s místními úřady, kapacitní modelování a přípravu na možné neplánované provozní změny za klíčové aktivity při letištním plánování a řízení. Kapacitnímu modelování toku přilétajících cestujících je věnována druhá polovina této diplomové práce. Tato kapitola je zaměřena na dopady protiepidemických opatření v prostoru od vstupu cestujících do příletových koridorů až k pasové kontrole, kde bývají prováděny také příjezdové kontroly zdravotní dokumentace cestujících.

Problematika výstupu cestujících z letadla je protiepidemickými opatřeními výrazně ovlivněna. Především přeprava cestujících prostřednictvím autobusů od letadla, které stojí na vzdáleném

stání letadla, je komplikovanější. Za předpokladu, že cestující dodržují pravidla physical distancing, a každá osoba vyžaduje plochu 2 m², by autobus pro 110 osob pojal pouze 17 cestujících [2]. Nová kapacita autobusu by dosáhla 15,5 % původní kapacity. K zajištění plného provozu na letišti by byl zapotřebí pětinasobný počet autobusů. To není reálné z hlediska finančního, ani personálního. Kdyby autobusem pro 110 osob jelo 50 cestujících, jedná se dle organizace EUROCONTROL o přijatelný kompromis mezi protiepidemickými opatřeními a provozními požadavky letiště. V tomto případě by bylo nutné zvýšit počet autobusů o 50 až 80 %. Toto navýšení reflektuje i delší doby čištění autobusů po každém jejich použití. Organizace EUROCONTROL [2] z výše popsaných důvodů doporučuje v co nejvyšší míře využívat kontaktní stání letadel, která tolik nezvyšují nároky na letištní zdroje.

Dalším problematickým místem je kontrola příjezdové zdravotní dokumentace, která se často aplikuje v místě již existující příletové pasové kontroly. Nesoulad mezi pravidly pro cestování a různé klasifikace oblastí dle míry rizika nákazy znamenají, že na každém letišti se kontroly přilétajících cestujících odlišují. Rozložení příletů může v určité časové okamžiky způsobit zahlcení nebo naopak nevyužití kontroly. Ideální je, pokud jsou přílety rovnoměrně rozloženy v čase. Dle organizace EUROCONTROL [2] se při aplikaci principů physical distancing před kontrolou očekává snížení kapacity v čekacím prostoru o 50 %. Vizualizace zobrazuje, o kolik by se zvětšily prostorové nároky před kontrolou přilétajících cestujících v případě, že cestující dodržují doporučené rozestupy (Obrázek 3).



Obrázek 3: Simulace situace před příletovou kontrolou v období před pandemií a po pandemii [2]

3. Diferenciace cestujících na základě současných provozních požadavků letiště

Dle studie [21] zkoumající vliv pandemie koronaviru na běžný každodenní život lidí provedené v 18 zemích světa v roce 2020 platí, že chování spotřebitelů se s nástupem pandemie změnilo. Více lidí bere větší ohledy na své zdraví (56 % respondentů), více osob raději šetří finanční prostředky na horší časy (44 % respondentů) a více respondentů dbá na ochranu životního prostředí (38 % respondentů). Jiná studie [22] uvádí, že v zemích, kde byla v době průzkumu pandemie na vzestupu (například Velká Británie, USA, Španělsko), mělo 80 % respondentů obavy o zdraví svých blízkých, zatímco v zemích, kde byla situace stabilizovaná, mělo strach o zdraví blízkých pouze 69 % dotazovaných. Z těchto studií vyplývá, že většina lidí se v poslední době více zajímá o zdravotní aspekty, a tento trend je třeba rovněž vzít v úvahu při plánování letištních odbavovacích procesů.

Diferenciace cestujících na základě různých kritérií a požadavků se na letištích děje neustále. Zdravotní aspekt se nyní stává jedním z nejdůležitějších kritérií při cestování, a proto je třeba jej zohlednit při diferenciaci cestujících (*Tabulka 1*). Dosud se jednalo především o diferenciaci pasažérů podle cestovní třídy, kterou cestují. Dále je možné pasažéry dělit podle požadavků na jejich osobní potřeby, například cestující s omezenou mobilitou. Tyto skupiny pasažérů často mívají vyhrazené vlastní koridory pro přednostní odbavení u jednotlivých kontrolních bodů v terminálu. Pasažéry je možné dělit také podle toho, jak často letadlem cestují, nebo v jak početných skupinách cestují. V neposlední řadě lze cestující segmentovat podle toho, kterým procesem na letišti procházejí, například příletem, odletem nebo transferem. Chování cestujících je možné sledovat také z pohledu délky pobytu v destinaci.

S příchodem globální pandemie koronaviru se objevila nutnost začít cestující diferencovat podle dalších pravidel, která mají za cíl snížení rizika nákazy infekční nemocí. Do kategorizace cestujících se tedy přidává nový typ cestujícího – pasažér mající obavy o své zdraví [23]. Předpokládá se, že cestování letadlem bude přinášet kvůli novým opatřením a testování na přítomnost infekčních nemocí více stresu cestujícím. Aby letiště mohla míru tohoto stresu omezit, musí věnovat nové kategorii cestujících dostatečnou pozornost. Cestující, kteří se obávají o své zdraví, se nechtějí shlukovat v kavárnách nebo nakupovat v obchodech. Naopak se očekává, že raději stráví čas při čekání na svůj let v prostoru, kde je možné dodržovat rozestupy od ostatních osob. Těmto cestujícím proto bude nutné vyhradit dostatečně velké prostory, aby mohli projít letištěm s pocitem naprostého bezpečí. U cestujících, kteří takové obavy o své zdraví nemají, a cestování pro ně nepředstavuje stres, se očekává, že možností na nákupy a stravování v prostoru letiště využijí.

Tabulka 1: Dosavadní diferenciacie cestujících a nová vrstva týkající se zdravotního aspektu cesty (vlastní dílo autorky na základě [16])

Diferenciace				
Letecký produkt	První třída	Business	Economy	Low-cost
Délka pobytu	Dlouhý pobyt	Kratší pobyt	Víkend	Jednodenní pobyt
Osobní potřeby	Starší osoby	Kulturní potřeby	Osoby se sníženou schopností pohybu	
Frekvence cestování	Pravidelní cestující	Několikrát ročně	Výjimečně	První cesta letadlem
Počet spolucestujících	Skupina	Rodina	Jednotlivci	
Letištní proces	Přílet	Odlet	Transfer	Multimodální
+ Cestující mající obavy o své zdraví [16]				

V reakci na situaci s pandemií koronaviru COVID-19 je zapotřebí přizpůsobit letištní procesy tak, aby v co největším měřítku odpovídaly protiepidemickým opatřením. Několik leteckých organizací a úřadů vydalo doporučení a manuály, kterými by se měla letiště řídit při navrhování opatření ke snížení rizika nákazy infekčními chorobami v prostorách letiště. ACI Europe je asociací sdružující zhruba 500 provozovatelů letišť v Evropě. V dokumentu *Guidelines for a Healthy Passenger Experience at Airports* [16] je detailně popsáno, jaká opatření se doporučují k aplikaci na letištích, jaké změny jsou potřebné při provádění běžných letištních procesů, a také které chytré technologie mohou pomoci při snížení rizika nákazy. Část manuálu je rovněž věnována lidskému faktoru, například komunikaci zaměstnanců letiště s cestujícími, nebo opatřením zabezpečujícím, že se zaměstnanci budou na letišti cítit bezpečně. EASA společně s ECDC vydala kratší dokument [18], shrnující pokyny k provozu letiště a pohybu cestujících během jednotlivých letištních procesů. Podobné manuály vydaly

také organizace ICAO [24] a U.S. Department of Transportation [25]. Ve zmíněných dokumentech se liší například podmínky pro tzv. physical distancing. Zatímco ACI Europe doporučuje rozestupy mezi osobami alespoň 1,5 metru, ICAO uvádí jako minimum 1 metr.

3.1 Návrh diferenciacce cestujících podle vlastnictví digitálního COVID certifikátu EU

Současné provozní požadavky letišť, především však physical distancing, vycházející z opatření proti šíření infekčních nemocí mají na kapacitu letištních terminálů negativní vliv. Ke snížení zátěže letištní infrastruktury je možné využít diferenciacce cestujících podle určitých znaků tak, že určitý segment cestujících by mohl procházet letištními prostory rychleji v případě, že by splňoval určitá kritéria.

Druhá část této diplomové práce je věnována simulování toku cestujících v příletových prostorách letiště. Vzhledem k současnému požadavku monitorovat a kontrolovat zdravotní příjezdovou dokumentaci cestujících je v prostoru před touto kontrolou předpoklad hromadění cestujících, vyčkávajících na provedení této kontroly. V případě, že by cestující byli diferencováni do segmentů, mohlo by dojít ke snížení obslužné doby určitého segmentu cestujících, a tím by se snížila kapacitní zátěž příletového prostoru letiště.

Vzhledem k zavedení digitálních COVID certifikátů EU, které svým držitelům usnadňují volný pohyb v rámci Evropské unie [1], by mohli být cestující segmentováni podle toho, zda jsou držiteli digitálního COVID certifikátu EU, nebo nikoliv. Cestující, kteří by disponovali tímto certifikátem, by mohli absolvovat kontrolu zdravotní příjezdové dokumentace prostřednictvím načtení QR kódu, který je součástí certifikátu. Organizace EUROCONTROL ve svém dokumentu *Impact Assessment of COVID-19 Measures on Airport Performance* [2] uvádí 5 sekund jako předpokládanou dobu odbavení cestujícího s QR kódem.

Cestující, kteří by nedisponovali digitálním COVID certifikátem EU by museli podstoupit manuální kontrolu zdravotní příjezdové dokumentace, například formou předložení dokladu o negativním výsledku absolvovaného testu. EUROCONTROL uvádí jako předpokládanou dobu odbavení takového cestujícího 20 sekund [2]. Časová úspora v odbavení jednoho cestujícího činí 15 sekund.

V případě, že by před kontrolou zdravotní příjezdové dokumentace čekalo 10 cestujících, kteří by všichni disponovali digitálním COVID certifikátem EU, činila by čekací doba méně než jednu minutu. Kdyby naopak tímto certifikátem žádný z cestujících nedisponoval, a museli tedy všichni podstoupit manuální kontrolu dokumentů, byla by čekací doba ve frontě 3,3 minuty.

Dá se očekávat, že část cestujících bude mít při cestování leteckou dopravou digitální COVID certifikát EU k dispozici, a zbylá část nikoliv. V takovém případě by se daly využít dva typy obslužných míst u kontroly příjezdové zdravotní dokumentace. Pomalejší typ obslužného místa by byl obsluhován pracovníky, kteří by manuálně kontrolovali dokumenty cestujících nedisponujících digitálním COVID certifikátem EU. Rychlejší typ obslužného místa by sloužil cestujícím, kteří certifikát mají. Tito cestující by byli vzhledem ke kratší obslužné době obsluhováni rychleji. Fronta před kontrolou příjezdové zdravotní dokumentace by se tedy rovněž odbavovala rychleji, což by snižovalo její prostorové nároky při dodržování physical distancing.

S předpokladem diferenciací cestujících do dvou segmentů podle toho, zda jsou nebo nejsou držiteli digitálního COVID certifikátu EU je počítáno v modelu simulujícím tok cestujících příletovými prostory Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. V uživatelském rozhraní lze zadat počty stanovišť a intenzity obsluhy, nebo také propustnosti, pro dva typy obslužných míst. Díky tomu je možné simulovat vliv zavedení rychlejšího typu obslužného místa, které by odbavovalo cestující s digitálním COVID certifikátem EU, na prostorové nároky fronty před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví při dodržování physical distancing.

3.2 Návrh diferenciací cestujících podle míry rizika nákazy v zemi jejich odletu

Dalším alternativním způsobem k diferenciaci cestujících podle vlastnictví digitálního COVID certifikátu EU, je diferenciací dle míry rizika nákazy v zemi odletu cestujícího. Jiná pravidla platí pro občany České republiky a cizince s pobytovým oprávněním vydaným Českou republikou a pro občany zemí EU+⁵ a cizince s povolením k dlouhodobému nebo trvalému pobytu v zemích EU+. Tito lidé mohou do České republiky vstoupit z jakéhokoliv důvodu. Odlišná pravidla jsou platná pro občany třetích zemí, kteří nemají vydané pobytové oprávnění Českou republikou nebo nemají povolení k dlouhodobému nebo trvalému pobytu v jiné zemi EU+, a občany třetích zemí, kteří mají vydané krátkodobé vízum Českou republikou před 11. 5. 2020, a kteří mají vydané krátkodobé nebo dlouhodobé vízum v jiné zemi EU+ [26]. Tito lidé mohou vstoupit na území České republiky pouze v souladu s ochranným opatřením⁶ [27].

⁵ Země EU+ zahrnují celkem 30 států, mezi které patří 26 z 27 členských zemí Evropské unie (kromě Irska) a 4 státy Schengenského prostoru (Island, Lichtenštejnsko, Norsko, Švýcarsko)

⁶ Opatření uvedená na webových stránkách Ministerstva zdravotnictví ČR platná ke dni 15. 7. 2021

Existuje pět kategorií zemí dle aktuální míry rizika nákazy:

- a) Země s nízkým rizikem nákazy označované zelenou barvou
- b) Země se středním rizikem nákazy označované oranžovou barvou
- c) Země s vysokým rizikem nákazy označované červenou barvou
- d) Země s velmi vysokým rizikem nákazy označované tmavě červenou barvou
- e) Země s extrémním rizikem nákazy označované černou barvou

Čím je v zemi vyšší míra rizika nákazy, tím jsou pravidla pro vstup a návrat do České republiky přísnější a komplikovanější. Například pro osoby cestující ze země s nízkým rizikem nákazy platí povinnost vyplnit příjezdový formulář a předložit negativní antigenní nebo PCR test provedený před nebo po příjezdu. Výjimku z testování mají osoby, které již nemoc v posledních 180 dnech prodělaly nebo mají dokončené očkování [27]. Cestující ze všech kategorií zemí musejí vždy vyplnit příjezdový formulář a podle výše míry rizika nákazy jim je uložena povinnost podstoupit před příjezdem nebo po příjezdu antigenní test nebo jeden nebo více PCR testů, případně povinnost samoizolace do doby získání výsledku PCR testu podstoupeného na území České republiky.

Aktualizace seznamu zemí podle míry rizika nákazy provádí Ministerstvo zdravotnictví České republiky na základě dostupných dat z Evropského střediska pro prevenci a kontrolu nemocí ECDC.

4. Využití prvků koncepce Smart Airport při změně procesů na COVID-free letišti

Vzhledem k novým opatřením, která se v roce 2020 začala na letištích uplatňovat, dochází ke změnám v tradičních letištních procesech. U každého z odbavovacích procesů může dojít ke změnám doby, kterou odbavení jednoho cestujícího v rámci daného procesu zabere. Je třeba efektivněji plánovat a stanovovat maximální čekací doby vzhledem k aplikaci principů physical distancing, které způsobují větší náročnost na dostupnost volné plochy. V zájmu ochrany zdraví zaměstnanců letiště a cestujících je žádoucí co nejvíce omezit jejich osobní kontakt. Do popředí se proto postupně dostává automatizace procesů. Tento trend způsobuje, že cestující se mohou obsloužit u většiny odbavovacích procesů bez pomoci zaměstnanců letiště. Autoři studie *The Role and Influence of Industry 4.0. in Airport Operations in the Context of COVID-19* [28] uvádějí, že sociální kontakt mezi cestujícími a zaměstnanci letiště je již možné s dnešními technologiemi zcela eliminovat.

Tato kapitola je věnována problematice změn v tradičních letištních procesech z důvodu nutnosti aplikace protiepidemických opatření. Jedná se o komplexní přehled nezbytných změn a inovací, které mohou pomoci snížit riziko nákazy infekční chorobou při cestování. Samozřejmostí je zajištění dostatečných rozestupů mezi cestujícími a kvalitní monitorování a řízení toku cestujících. Opatření physical distancing není zmiňováno u každého z procesů jednotlivě, neboť se jedná o opatření vyžadované komplexně napříč všemi procesy na letišti. U každého z procesů je rovněž popsáno, které chytré technologie by přispěly k boji s pandemickým onemocněním.

4.1 Check-in

V zájmu co nejmenšího shlukování lidí je ideální variantou, že se cestující na svůj let odbaví z domova prostřednictvím internetu. Omezí se tím kontakt mezi cestujícími a zaměstnanci letiště, který je v pandemické situaci žádoucí pouze v nezbytných případech. Mnoho prvků koncepce Smart Airport může být velmi užitečných při aplikaci protiepidemických opatření. ACI Europe [16] doporučuje, aby letiště ve svých mobilních aplikacích umožnila registraci biometrických údajů cestujícího. Pomocí biometrického rozpoznávání by pak mohl být pasažér identifikován i během jednotlivých procesů odbavení. V případě, že by nevyužil možnosti registrace svých biometrických údajů v mobilní aplikaci, mohl by své údaje zadat až u samoobslužného odbavovacího kiosku. Alternativou k odbavení na let přes internet z domova je odbavení u samoobslužného kiosku přímo na letišti. Rovněž zavazadlo je možné odbavit u samoobslužného zařízení. Tyto kiosky však musejí být pravidelně dezinfikovány, aby se minimalizovalo riziko přenosu viru přes povrch zařízení. Aby byli cestující motivováni

využívat samoobslužné kiosky ve větší míře, než je tomu dosud, je možné službu odbavení u přepážky obsluhované zaměstnanci letiště zpoplatnit [28]. ACI Europe [16] doporučuje zvážit implementaci technologie acoustic spotlight, která vysílá zvukový signál v úzkém paprsku, a mohla by pomoci s větším dodržováním rozestupů mezi osobami při čekání ve frontě.

4.2 Kontrola palubní vstupenky

Některá letiště aplikují kontrolu palubní vstupenky ještě před vstupem cestujících do prostoru bezpečnostní kontroly. Tyto kontroly byly v dobách před nástupem pandemie často prováděny zaměstnanci letiště. Nyní by se měly v co největší možné míře aplikovat automatizované a biometrické brány (Obrázek 4). Dle ACI Europe [16] by se ke kontrole dodržování principů physical distancing ve stísněných podmínkách dala využít technologie počítačového vidění a umělé inteligence, která by získávala data z již existující sítě letištních kamer. Výstupem by byla tzv. heat mapa, neboli teplotní mapa, zobrazující místa s největší koncentrací osob v daném prostoru. Senzory IoT by našly využití při monitorování hustoty osob v části terminálu prostřednictvím údajů o obsazenosti prostoru v reálném čase.



Obrázek 4: Automatizované brány pro kontrolu palubních vstupenek na letišti Mnichov [16]

4.3 Bezpečnostní kontrola

Aby se v prostoru bezpečnostní kontroly nehromadili lidé, je možné kontrolovat vstup cestujících do toho prostoru podle času odletu jejich letu. K tomu by se dal využít systém kontroly palubních vstupenek, který by dále pouštěl pouze cestující, kterým v určitém časovém horizontu začíná nástup do letadla [16]. ACI Europe rovněž doporučuje využití QR kódů, jejichž naskenováním by se cestující virtuálně zařadil do fronty na bezpečnostní kontrolu. Ve chvíli, kdy by na cestujícího přišla řada, by byl vyvolán, aby se dostavil k bezpečnostní prohlídce. Díky tomuto opatření by pasažéři mohli vyčkávat na provedení bezpečnostní kontroly ve vzdálenějších místech od místa samotné kontroly a nemuseli by čekat ve stísněných frontách. Rovněž se předpokládá vývoj nové generace zařízení používaných během bezpečnostní kontroly. Již dnes jsou na některých letištích implementována zařízení, která umožňují prohlížet zavazadla, aniž by z nich byla předem odstraněna elektronická zařízení a tekutiny [29]. Tato technologie je velmi užitečná nejen z hlediska zrychlení kontroly a plynulosti toku osob stanovištěm bezpečnostní kontroly, ale také z pohledu dodržování principů physical distancing.

4.4 Pasová kontrola

Pasové kontroly se provádějí nejen u odlétajících, ale také u přilétajících cestujících. Biometrické brány jsou dnes již považovány za standardní zařízení k ověření cestovních dokumentů cestujícího na letištích. S nástupem pandemické krize by se jejich význam mohl zvýšit. Na Letišti Václava Havla v Praze jsou tyto brány označeny jako EasyGo Gate a umožňují provedení bezobslužné hraniční kontroly. Aby mohl cestující absolvovat pasovou kontrolu prostřednictvím tohoto zařízení, musí disponovat biometrickým pasem s čipem vydaným v některé ze zemí EU, EHP nebo Švýcarska, a musí mu být více než 15 let [30]. Stejná technologie, kterou navrhuje asociace ACI Europe [16] používat v prostoru bezpečnostní kontroly, by našla uplatnění i u pasové kontroly. Cestující by se naskenováním QR kódu zařadil do virtuální fronty a následně by byl vyvolán ve chvíli, kdy by na něj přišla řada. Tím by se umožnilo čekat cestujícím dále od místa pasové kontroly a rozložit frontu do většího prostoru.

4.5 Nástup do letadla a výstup z letadla

Změny při procesu nástupu do letadla a výstupu z něj jsou rovněž nezbytné pro minimalizaci rizika přenosu infekční nemoci. Implementace biometrických zařízení používaných při nástupu do letadla by vedla k minimalizaci kontaktu mezi cestujícími a zaměstnanci letiště. Technologie Virtual Boarding by pomohla zajistit organizovaný nástup cestujících do letadla v závislosti na umístění sedadla pasažéra v letadle. Mezi prvními by do letadla nastupovali cestující sedící

v zadní části letadla. Cestujícím, kteří by patřili do příslušné skupiny, a měli by se seřadit do fronty, by přišla notifikace například prostřednictvím aplikace nainstalované v chytrém mobilním telefonu. Informace o aktuálně probíhajícím nástupu cestujících z dané části letadla by rovněž byla promítnuta na monitory v prostoru gatu. Prostřednictvím této technologie by bylo možné alespoň částečně omezit kontakt mezi cestujícími, kteří sedí v jiných částech letadla. Technologie mobilní aplikace s QR kódem, která je popsána v kapitole 4.4, by se rovněž dala využít při nástupu cestujících do letadla [16]. K zajištění funkčnosti procesu nástupu cestujících do letadla je nezbytné plánování kapacit v dostatečném předstihu, aby bylo možné v době odletu garantovat dodržování protiepidemických opatření. V případě, že cestující musejí cestou k letadlu nebo od něj využít autobusu, je třeba uvažovat dodržování dostatečných rozestupů i během cesty autobusem. Po každém použití autobusu je třeba jej vyčistit a vydezinfikovat, než bude znovu nasazen do provozu. Tato opatření způsobí nutnost rozšíření autobusových flotil letišť.

5. Významné technologie Smart Airport v boji proti pandemii a příklady aplikace

Ještě před příchodem pandemie koronaviru začala letiště s implementací moderních prvků koncepce Smart Airport. Primárním cílem chytrých letišť je dosáhnout optimální efektivity, odolnosti, udržitelnosti a současně nabídnout co nejlepší passenger experience. S příchodem pandemie koronaviru se ještě větší pozornost letišť obrátila k protipandemické odolnosti. Letiště v reakci na příchod pandemie koronaviru začala urychleně implementovat nové technologie, které spadají do koncepce Smart Airport, a pomáhají v boji proti šíření infekční nemoci v prostorách letiště. Příchod pandemie nemoci COVID-19 uspíšil nasazování moderních technologií, které nabízejí vyšší úroveň automatizace procesů. Některá letiště, například letiště Řím-Fiumicino, se označují jako COVID-free. Taková letiště podnikají nadstandardní kroky ve snaze co nejvíce minimalizovat možnost přenosu infekce. Tato kapitola přináší přehled technologií koncepce Smart Airport, které přispívají ke zvýšení protipandemické odolnosti letiště, a vedou ke snížení rizika nákazy mezi osobami na letišti. K jednotlivým technologiím jsou rovněž uvedeny příklady jejich využití na světových letištích.

5.1 Single Token

Technologie Single Token je považována za jeden z nejzásadnějších prvků koncepce Smart Airport blízké budoucnosti, který by navíc mohl přispět ke zvýšení zdravotní bezpečnosti cestování letadlem. Díky technologii Single Token je možné omezit kontakt mezi cestujícími a zaměstnanci letiště [31]. Již při rezervaci letenky nebo u letištního kiosku si cestující vytvoří svůj biometrický identifikátor, jehož součástí mohou být i informace o jeho zdravotním stavu či jiné doplňující informace. Poté během check-in procesu jsou informace ověřeny a spárovány s daty z cestovních dokladů cestujícího. Dále už se cestující neproказuje svými cestovními doklady, ale svým biometrickým identifikátorem. Může se jednat o obličejové rozpoznání, které se v současné době poměrně hojně využívá například u pasové kontroly. Pokud je ale jako platné protiepidemické opatření zavedeno povinné nošení roušek nebo respirátorů, pak by bylo rozpoznání cestujícího podle obličeje problematické. Dle ACI Europe [16] může být alternativně využito rozpoznání dle otisku prstu, které ale vyžaduje využití dotykového zařízení, což v pandemické situaci není příliš žádoucí. Z hlediska těchto opatření se jako nejvhodnější jeví implementace systémů rozpoznávajících oční duhovku.

Během dalších letištních procesů, například u odbavení zavazadla, na bezpečnostní kontrole nebo na pasové kontrole pak cestující projde ověřením totožnosti nebo potvrzením identity prostřednictvím svého biometrického identifikátoru. Asociace ACI Europe [16] doporučuje tento systém využít i při vstupu do salónek nebo při biometrických transakcích v letištních

obchodech nebo parkovištích. Dle organizace IATA [31] by mohl být biometrický identifikátor cestujícího použit i na jiném letišti, než na kterém byl tento údaj registrován.

Letiště v Hong Kongu připravuje implementaci koncepce Single Token. Na letišti jsou již instalovány čtyři automatizované brány e-security, které jsou prvním krokem implementace koncepce Single Token. Tyto brány využívají technologii rozpoznávání obličeje a jsou vybaveny zařízením ke čtení a skenování dokumentů, sloužícím k verifikaci odlétajících cestujících před jejich vstupem do neveřejného prostoru letiště. Předpokladem pro využití této technologie je, že cestující starší jedenácti let mají platný elektronický cestovní doklad. Aby byla koncepce Single Token ucelená, připravují se také e-boarding gaty. Přínosem této koncepce je mimo jiné plynulejší tok cestujících od odbavení na check-in až po nástup do letadla [32]. Dalším ze světových letišť, které implementuje technologii Single Token, je Incheon International Airport v Soulu [33].

Vzhledem k charakteru fungování technologie Single Token se dalo očekávat využití nástroje fungujícího na principu této koncepce při zvládnutí protiepidemických opatření na letišti. Digitální COVID certifikát EU využívající uchování informací prostřednictvím QR kódu je příkladem takového nástroje, který je prvním krokem k začlenění nové kontroly na letišti zaměřené na ověření zdravotních certifikátů cestujícího do koncepce Single Token.

5.2 Trasovací aplikace

Pomocí testování a protiepidemických opatření je možné snížit riziko nákazy infekční nemocí v prostředí letiště. Například během testovacího provozu COVID-free programu na letišti Řím-Fiumicino bylo na příletech ze dvou destinací v USA z celkem 3 824 přilétajících cestujících pozitivně testováno pouze 5 pasažérů. Jen u 0,13 % cestujících byl diagnostikován COVID-19 po přiletu do Říma [34]. Na tomto příkladu se dá ukázat, že riziko nákazy je možné minimalizovat, nikoliv však plně eliminovat. Z tohoto důvodu je nutné, aby letiště disponovalo informacemi o pohybu cestujících a o jejich kontaktech v prostoru letiště. Zpravidla se jedná o mobilní aplikace, které fungují na principu sledování okolních aktivních Bluetooth spojení. Takovou aplikaci vyvinula například společnost Google ve spolupráci s firmou Apple [35].

5.3 Umělá inteligence

Princip umělé inteligence je definován jako schopnost strojů napodobovat lidské schopnosti jako je uvažování, učení se, plánování a kreativita [36]. Výzkumná služba Evropského parlamentu EPRS řadí umělou inteligenci na první místo v žebříčku deseti technologií, které mají největší potenciál v boji s koronavirem. V současné době se umělá inteligence používá například při vyhodnocování a diagnostice nemoci COVID-19 na základě vizuálních změn plic při CT vyšetření [37]. Na letištích může najít uplatnění v podobě navigace cestujícího do jeho

cíle na základě znalosti jeho preferencí. Rovněž mohou být využity informace o zbývajícím čase do nástupu cestujícího do letadla, nákupní historii cestujícího, jeho zájmech na sociálních sítích nebo části dne. Z pohledu protiepidemických opatření je přínos umělé inteligence spolu s počítačovou vizí ve zpracování dat z letištní sítě kamer, jejichž výstupem jsou informace v podobě tzv. heat mapy, která zobrazí místa s vysokou koncentrací osob, kde nejsou dodržovány principy physical distancing. Taková místa se očekávají především v prostorách zavazadlových pásů nebo v prostorách letištních procesorů. Díky umělé inteligenci je rovněž možné sledovat historii pohybu osoby, která by mohla být využita při případném trasování kontaktů [16].

Letiště Incheon International Airport plánuje využití umělé inteligence v oblasti ATC. Tento projekt je nyní ve stádiu příprav [38]. Jednou z rychle se rozvíjejících technologií využívajících umělé inteligence jsou roboti. Na letišti Gerald R. Ford v USA slouží k dezinfekci letištních terminálů UVD Robot, který se po terminálu pohybuje v plně autonomním režimu. Robot vyzařuje UV-C záření, které dezinfikuje vzduch, povrchy a předměty. Toto zařízení dokáže zneškodnit 99,99 % bakterií, virů a jiných patogenů [39]. Výhodou této metody je, že není nutné používat žádné chemické prostředky, které by mohly způsobovat dráždivé reakce u osob. V oblasti robotů se ve světové špičce drží letiště Beijing Daxing, kde roboti pomáhají při bezpečnostních prohlídkách, v infocentrech a také obsluhují parkoviště.

5.4 Digital Twin

Digitální dvojče, neboli Digital Twin, je digitální model entity či systému z reálného světa [40]. Tato technologie se používá k zobrazení provozních dat v reálném čase, umožňuje rovněž modelování historických pohledů. Hlavní přínos spočívá v možnosti detailních predikcí zobrazených ve 3D rozložení, jejichž interpretace je snadná (*Obrázek 5*). V pandemické situaci může být technologie digitálního dvojčete užitečná pro monitorování klíčových prostor, kde se odehrávají letištní procesy, například bezpečnostní kontrola. Letiště by mohlo využít této technologie v případě modelování predikce počtu přilétajících cestujících v určitém časovém intervalu. Z modelu je patrné, v jakém okamžiku nastanou v určitých místech delší fronty, případně kde nebude možné dodržet principy physical distancing. Dále je možné v reálném čase sledovat provozní stav různých technických zařízení, například eskalátorů, a v případě nefunkčnosti jejich vliv na tok cestujících [16]. Na modelu zpracovaném pomocí technologie Digital Twin je rovněž možné modelovat a testovat různé scénáře, které na letišti mohou nastat, například vliv zpoždění letadel na obsazenost prostoru výdeje zavazadel apod.

Letiště v Kodani je jedním z letišť, na kterém se již technologie Digital Twin využívá. Slouží především k simulaci možných provozních scénářů a nalezení optimálního řešení dané situace. Rovněž je možné digitální dvojče využít k rychlejšímu rozhodování, protože koncepce

zpracovává data ze senzorů a z míry využití různých letištních zařízení, a umožňuje také automaticky reagovat na vybrané situace [41]. Dalším letištem, které vyvíjí vlastní digitální dvojče, je letiště v Hong Kongu [42].



Obrázek 5: Příklad zobrazení letiště pomocí technologie Digital Twin [16]

5.5 Nositelná elektronika

Mezi nositelnou elektroniku patří například chytré hodinky, sluchátka, brýle či helmy. Právě tato zařízení by mohla pomoci s účinnějším dodržováním platných protiepidemických opatření na letišti. Chytré hodinky by mohly cestujícímu ukazovat, jakou vzdálenost má udržovat od okolních osob, případně ho upozornit prostřednictvím varování nebo vibrací, že se ocitl v místě se zvýšenou koncentrací osob. Dle ACI Europe [16] mohou tato chytrá zařízení mezi sebou navzájem komunikovat a mohla by proto sloužit i k trasování kontaktů v případě, že by se na letišti vyskytla infikovaná osoba.

5.6 Samoobslužná zařízení

Samoobslužná zařízení a kiosky, například v podobě samoobslužných odbavovacích kiosků, se již na letištích poměrně běžně využívají. Tyto technologie přinášejí mnoho výhod jak pro letiště, tak pro cestující. Letiště mají benefit především z nižšího počtu potřebného personálu pro obsluhu těchto zařízení. Samoobslužná zařízení přinášejí cestujícím výhodu v podobě kratší čekací doby a větší kontroly nad vlastním odbavením a odbavením svého zavazadla [43]. Rovněž je minimalizován kontakt cestujících se zaměstnanci, což je v pandemické situaci považováno za zásadní benefit. Podobná zařízení se využívají také ke kontrole dokumentů, kdy ke ztotožnění cestujícího stačí přiložit biometrický pas ke čtečce, dále

k samoobslužnému nástupu do letadel nebo k odbavení reklamace na poškozené zavazadlo [44]. Drlijača *et al.* ve své studii *The Role and Influence of Industry 4.0 in Airport Operations in the Context of COVID-19* [28] zmiňuje, že další technologií umožňující samoobslužné odbavení cestujícího na let by byl systém umožňující tisk zavazadlových štítků v domácím prostředí. Po příjezdu na letiště by již nebylo nutné vyhledat samoobslužné zařízení k odbavení zavazadla, ale stačilo by naskenovat kód na již připraveném štítku a tímto proces odbavení dále zrychlit a zjednodušit.

Samoobslužné kiosky jsou již dnes na světových letištích poměrně běžné. Některá letiště již implementují novou generaci samoobslužných zařízení obohacenou o nové funkčnosti. V reakci na boj proti pandemii koronaviru představilo letiště v Singapuru novou generaci samoobslužných kiosků, které jsou osazeny senzory, takže cestující se nemusejí obrazovky dotýkat, ale stačí se pouze prstem přiblížit k vybranému místu. Senzory pohyb prstu v blízkosti obrazovky zaznamenají tak, jako kdyby se člověk daného místa skutečně dotkl. Tato technologie brání možnému přenosu viru prostřednictvím povrchu obrazovky. Pasová kontrola je provedena prostřednictvím automatických zařízení, která dokáží spárovat biometrický identifikátor cestujícího v podobě jeho obličeje nebo oční duhovky s cestovním dokladem [45]. Na letišti v Doha se testuje systém, který integruje údaje z pasu cestujícího, informace o jeho letu a samotný biometrický identifikátor do jednoho elektronického záznamu. Toto se děje na prvním kontrolním bodě, kterým je samoobslužný check-in kiosek, kde jsou pasažéři ztotožněni. Na bezpečnostní kontrole a při nástupu do letadla již procházejí automatickým procesem identifikace a verifikace [46]. Díky této technologii je minimalizován kontakt mezi cestujícími a zaměstnanci letiště a rovněž je zrychlen tok cestujících.

5.7 Monitorování polohy cestujících a toků cestujících

Vzhledem k nutnosti aplikovat protiepidemická opatření na letištích a omezit větší shlukování cestujících je nezbytné využívat nástroje k monitorování polohy cestujících. K tomu mohou sloužit mobilní aplikace nainstalované v chytrých zařízeních cestujících a aktivní nebo pasivní lokalizační zařízení instalovaná na vstupech do terminálu nebo určitých prostorů uvnitř terminálu. Tato opatření by umožnila vpustit do prostoru jen tolik cestujících, aby všichni mohli dodržovat doporučené rozestupy. V případě, že by cestující nedisponoval vlastním chytrým zařízením, mohly by být k sledování jeho pohybu využity například identifikační karty nebo jiná přenosná zařízení, která by měl cestující po celou dobu pobytu v terminálu u sebe. Výstupem z těchto systémů by byly tzv. heat mapy zobrazující podle barvy místa s různou koncentrací osob. Na základě získaných informací by mohla být v případě příliš vysoké koncentrace osob učiněna další opatření, například otevření další přepážky, přesměrování části cestujících do volných prostor nebo uzavření prostoru, aby se zamezilo vstupu dalších osob. Systém

monitorování toku cestujících by měl v reálném čase zobrazovat vizualizace pohybu cestujících, tvorby front a koncentraci osob v kritických místech terminálu. Rovněž by měl umožnit propojení s chytrými zařízeními, na která je možné cestujícím posílat notifikace a podrobnosti ohledně jejich pobytu v terminálu. Příkladem nasazení komplexní technologie monitorování polohy cestujících a také jejich zavazadel je upozornění cestujícího prostřednictvím letištních informačních tabulí nebo mobilní aplikace, aby si šel k zavazadlovému pásu vyzvednout své zavazadlo, které bylo právě vloženo na pás [16]. Pasažér by tedy mohl jít k pásu až v okamžiku, kdy je jeho zavazadlo již připraveno k vyzvednutí, a nemusel by čekat v davu s ostatními cestujícími.

Letiště v americkém Orlando se účastní testovacího provozu systému na monitorování koncentrace osob v prostorách gatů [47]. Systém zpracovaná data dále zobrazí na informační tabule rozmístěné po letišti. Na základě zobrazených zpráv s barevným rozlišením podle koncentrace osob v daných místech letiště se mohou cestující sami rozhodnout, kde budou čekat, a kdy se vydají ke gatu, aby mohli udržovat rozestupy od ostatních cestujících. Tato technologie umožňuje samoregulaci koncentrace osob v prostorách odletových čekáren.

5.8 Dynamická simulace toků cestujících

Mezinárodní rada letišť ACI Europe [16] doporučuje k identifikaci a predikci možných problematických míst a časových intervalů z hlediska příliš vysoké koncentrace cestujících využívat speciální simulační software. Simulace by měly umožňovat ověřit funkčnost nově navržených opatření, jejichž cílem je minimalizovat problémy s velkým množstvím osob nakumulovaných v jednom prostoru. Za kritická místa jsou v letištních prostorech považovány vstupy do prostoru terminálu, odletová a příletová hala v landside, prostor odbavovacích přepážek, bezpečnostní kontroly, prostory gatů a salóneků, pasové kontroly a výdeje zavazadel.

5.9 COVID-free koncepce

Vzhledem k závažnému průběhu jarní vlny pandemie koronaviru v Itálii v roce 2020 je logické, že s koncepcí COVID-free přišla v průběhu září 2020 právě italská letiště. Cílem tohoto konceptu je znovu získat důvěru turistů, kteří svými cestami výrazně podporují italskou ekonomiku. Vzhledem k tomu, že tento projekt aktivně rozlišuje cestující, kteří jsou negativní a pozitivní na nemoc COVID-19, dá se také řídit k projektům spadajícím do koncepce Smart Airport. COVID-free lety byly nejprve spuštěny mezi letištěm Řím-Fiumicino a Milán-Linate, později se provoz rozšířil i na linky do New Yorku a do Atlanty [48]. Těmito lety mohou cestovat pouze ti cestující, kteří buď podstoupí bezplatný test na COVID-19 přímo na letišti, nebo kteří doloží negativní výsledek testu ne starší než 72 hodin. Cestující se dostaví na letiště

s časovým předstihem 1,5 hodiny před odletem, aby se stihli podrobit výtěru z nosohltanu, a vyčkat na výsledky testů. V případě druhé možnosti, tedy doložení negativního výsledku testu provedeného mimo letiště, musí jít o test provedený buď metodou PCR nebo rychlý test pro průkaz antigenu koronaviru. Na tomto letu by tedy mělo platit, že všichni cestující mají negativní výsledek na nemoc COVID-19. Lidé, kteří jsou označeni za pozitivní, musejí letiště opustit, a získají poukaz na let v jiném termínu bez dalších příplatků [49]. Cestující, kteří nechtějí podstupovat test na koronavirus, mohou využít jiných linek, na kterých tato povinnost neplatí.

U transoceánských letů ze Spojených států amerických do Říma musí cestující přilétající z Ameriky podstoupit nejpozději 48 hodin před odletem PCR nebo antigenní test a poté po přiletu do Itálie musí absolvovat antigenní test. V případě, že testy vyjdou negativní, na cestujícího se nevztahuje podmínka karantény. Lety do New Yorku operuje společnost Alitalia a lety do Atlanty americká společnost Delta Air Lines [48]. Tento projekt přináší prvenství v bezplatném testování všech odlétajících pasažérů na dané lince [49]. Dosud některá letiště využívají model bezplatné možnosti testu na COVID-19 pro přilétající cestující.

V únoru 2021 byla zveřejněna zpráva s výsledky testovacího provozu COVID-free letů mezi New Yorkem a Římem a mezi Atlantou a Římem. Na přiletu do Itálie bylo pozitivně otestováno pouze 0,13 % cestujících a 0,31 % vzorků bylo vyhodnoceno jako falešně pozitivních. Po celou dobu testovacího provozu se podařilo celý proces průchodu cestujícího letištem udržet pod dvěma hodinami, což lze považovat za úspěch. Z průzkumu mezi cestujícími vyplynulo, že více než 90 % z nich by let COVID-free letem doporučovalo [34, 48].

Letiště Řím-Fiumicino uvádí, že na transoceánských linkách ze Spojených států amerických stoupla po zavedení režimu tzv. COVID-free obsazenost letadel o vyšší desítky procent. Konkrétně na lince Alitalia New York – Řím-Fiumicino se zvýšil počet cestujících o 142 %. U letu Alitalia Řím-Fiumicino – New York činil nárůst 73 % [48].

Testovací provoz výše popsaných protiepidemických opatření byl na letišti Řím-Fiumicino prodloužen až do září 2021. Tato opatření se chystají rovněž zavést na všech italských letištích. V prodlouženém testovacím provozu se plánuje zavedení COVID-free letů například do dalších destinací v USA, v Japonsku, Brazílii, Argentině, Spojených arabských emirátech, Kanadě, Číně a dalších. Další kroky římského letiště zahrnují plnou integraci předodletového testování cestujících na koronavirus do letištních služeb. Maximální cílovou kapacitou je 15 000 provedených testů za den. V plánu je rovněž digitalizace administrativních úkonů souvisejících s testováním cestujících prostřednictvím projektu Travel Health Portal. Jednalo by se o systém umožňující efektivní sběr a řízení certifikátů prokazujících negativitu cestujících. Dále by šlo o využívání QR kódů u informací souvisejících se zdravotním stavem

cestujících, které o nich letiště potřebuje znát. Poté, co by cestující podstoupil test na koronavirus, by si mohl stáhnout mobilní aplikaci AOKpass, do které by obdržel výsledek testu. Při nástupu do letadla by pak cestující naskenoval QR kód, který by potvrzoval jeho negativitu. Projekt by pomohl při případném trasování kontaktů nakažených osob. Výhledově by měly být do Travel Health Portal zaneseny také informace o očkování osob, kterým by mohlo být umožněno cestování letadlem [48]. Dále by také mělo být na letišti zprovozněno velkokapacitní očkovací centrum schopné naočkovat až 3 000 osob denně.

6. Model pro analýzu physical distancing na letištích obecně

6.1 Principy a zdroje obecného modelu

U tradičních letištních procesů dochází kvůli pandemické situaci k výrazným změnám. Physical distancing společně s nově zaváděnými kontrolami zdravotního stavu cestujících má významný vliv na kapacitu letištních prostorů. Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku toku přilétajících cestujících příletovými koridory letiště a analýzou vlivu nově zaváděných protiepidemických opatření na snížení kapacity těchto koridorů.

Jedním z hlavních přínosů této diplomové práce je naprogramování modelu, který podle načteného letového řádu, datového zdroje specifikujícího rozložení příletových koridorů a docházkovou dobu od jednotlivých gatů ke konci koridoru a parametrů zadaných uživatelem zobrazuje změny dostupné plochy na osobu v příletových koridorech letiště během čtyřhodinového časového intervalu dle výběru uživatele. Na základě výstupů modelu je možné stanovit, zda v koridorech lze nebo nelze dodržovat physical distancing. Model je určen k obecnému využití na letištích. Výhodou tohoto modelu je možnost vysoké míry přizpůsobení letišťům s různým rozložením příletových koridorů. Model byl vytvořen v programu Matlab R2019b. Uživatelské rozhraní je navrženo v grafickém rozhraní prostředí Matlabu GUI, k jehož vytvoření bylo využito nástroje GUIDE.

Po načtení datového souboru v požadovaném formátu je možné vyhodnotit dosažené hodnoty plochy na osobu až pro tři příletové koridory. Čtyřhodinový časový interval byl zvolen z důvodu pokrytí hlavních denních časových oken, například během dopolední nebo večerní špičky. Časový interval vybírá uživatel prostřednictvím pop-up menu.

V modelu se předpokládá, že cestující v koridoru netvoří kongesce, ale plynule koridorem procházejí. Model je naprogramován pro ideální podmínky, kdy cestující od vstupu do koridoru až do výstupu z koridoru procházejí bez zastavení či jiných zdržení. Neuvažují se situace, kdy se cestující z toku oddělí, aby například navštívili obchody. Cestující po výstupu z letadla vcházejí do koridoru v intervalech, které zadává uživatel v aplikaci jako časový odstup mezi cestujícími. Stanovením těchto odstupů mezi cestujícími se dosáhne rovnoměrných časových a prostorových rozestupů cestujících v koridoru. Stejně plynule, jak cestující do koridoru vstoupili, tak z něj vystupují, aby směřovali k výdeji zavazadel. Problematiku tvorby front po výstupu z koridoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví bere v potaz druhý naprogramovaný model, který je validován v prostředí Letiště Václava Havla v Praze (kapitola 7).

Pro spuštění obecného modelu je třeba načíst letový řád, pro který se mají vyhodnotit možnosti aplikace physical distancing v příletových koridorech. Letový řád musí být načten v požadovaném formátu tak, aby byl umožněn správný průběh programu. Dále je nutné vložit soubor s rozložením příletových koridorů, který obsahuje informace o tom, které gaty jsou u jednotlivých koridorů, a jak dlouhé jsou docházkové doby od jednotlivých gatů ke konci koridoru. Další vstupní údaje jsou zadány v uživatelském rozhraní. Podrobnostem k požadovanému formátu vstupních datových souborů je věnována následující kapitola 6.2.

6.2 Sběr a příprava dat

Datová sada, která je využita pro účely představení programu v této diplomové práci se skládá z dat získaných z veřejné letové databáze flightera.net [50], a byla zpracována v programu Microsoft Excel. Pro účely představení obecného modelu v této práci byl vybrán letový řád příletů na Letiště Václava Havla v Praze v období od 1. 4. 2019 do 7. 4. 2019. Vzhledem k charakteru modelu, který odpovídá uspořádání jednoho terminálu, byly z dat vyfiltrovány pouze přílety na Terminál 2. Do programu je možné nahrát jakýkoliv jiný soubor letového řádu a rozložení koridorů v požadovaném formátu a následně zobrazit dosažené hodnoty plochy na osobu v příletových koridorech pro různá letiště.

Datová sada z roku 2019 byla vybrána proto, aby prostřednictvím modelu mohla být ověřena kapacita příletového koridoru při aplikaci physical distancing v případě běžného leteckého provozu na úrovni roku 2019. Výstupem modelu je rovněž grafické znázornění dosažených hodnot plochy na osobu v příletových koridorech v čase, které prokáže, zda je nebo není možné v koridorech aplikovat physical distancing.

V období od 1. 4. 2019 do 7. 4. 2019 bylo v databázi flightera zaznamenáno celkem 762 letů pro zvolený letový řád. Pro každý let byly využity informace o datu příletu, času přistání a kapacitě letadla. Sloupce, které jsou použity v programu, jsou v obrázku vyznačeny červeným obdélníkem (*Obrázek 6*). Rozložení letového řádu v programu Microsoft Excel je uvedeno v obrázku na následující straně. Časový údaj v sekundách je základním referenčním časem v celém programu.

Letová databáze flightera.net neuvádí, k jakému gatu bylo letadlo přistaveno. K letům byly pro potřeby představení modelu náhodně přiděleny fiktivní gaty uvedené v druhém datovém zdroji, který je popsán dále v této kapitole.

Datum	Číslo letu	Airline	Destinace	Přilet	Skutečný přilet	Typ letounu (IATA)	Economy	Economy Plus	Business	First	Poznámka (divert, chybějící info atd.)	Schengen	Celkový počet PAX	Den v týdnu	Hodina	Minuta	Sekundy v dané hodině	Gate
-------	------------	---------	-----------	--------	-----------------	--------------------	---------	--------------	----------	-------	--	----------	-------------------	-------------	--------	--------	-----------------------	------

Obrázek 6: Ukázka struktury letového řádu z databáze flightera.net použitého v obecném modelu (vlastní dílo autorky na základě dat [50])

Z celkem 762 letů, které databáze flightera.net [50] zaznamenala v daném časovém intervalu, bylo nutné 18 záznamů ručně odstranit (*Tabulka 2*).

Tabulka 2: Procentuální podíl chybných záznamů ve vstupní databázi letového řádu

Důvod odstranění záznamu	Výskyt (počet letů)	Výskyt (%)
Neznámé letadlo / neznámá kapacita letadla	14	1,84
Divert letu	1	0,13
Zrušení letu	1	0,13
Helikoptéra	1	0,13
Duplikát	1	0,13
Celkem odstraněno záznamů	18	2,36

Kvůli neznámému nasazenému letadlu, a tedy neznámé kapacitě daného letu, bylo z celkového počtu 762 letů vyřazeno celkem 14 záznamů, což tvoří podíl 1,84 % z celé databáze. Jeden let cestou na pražské letiště divertoval a z tohoto důvodu u něj nebyl uveden skutečný čas přistání. Jeden let byl ve sledovaném období zrušen. U jednoho letu bylo uvedeno, že byl operován helikoptérou Airbus H-135. Protože vrtulníky nejsou u běžného terminálu odbavovány, byl tento let z databáze odstraněn. Jeden let se zcela shodnými údaji byl v databázi flightera.net uveden dvakrát, a proto byl duplikát z vlastního letového řádu odstraněn. Celkem tedy v databázi letového řádu v programu Microsoft Excel zůstalo 744 platných záznamů o letech, které byly dále zpracovány v Matlabu.

Druhým vstupním datovým zdrojem je seznam všech příletových gatů u jednotlivých koridorů. Ke každému z gatů je uvedena doba chůze od gatu ke konci příletového koridoru v sekundách. Struktura tohoto datového zdroje je zobrazena v následujícím obrázku (*Obrázek 7*). Jedná se o rozložení gatů fiktivního letiště. První sloupec obsahuje přehled gatů prvního koridoru, ke kterým mohou být přidělovány přilétající lety. Druhý sloupec přiřazuje ke každému z gatů docházkovou dobu od daného gatu ke konci příletového koridoru v sekundách. Následující dvě dvojice sloupců představují další dva koridory. V případě, že má být analýza physical distancing provedena pro letiště s méně než třemi koridory, vyplní se pouze příslušné dvojice sloupců. V modelu je možné provést analýzu aplikace physical distancing až pro tři koridory a libovolný počet gatů u každého z koridorů.

Pro potřeby ukázky fungování obecného modelu bylo zvoleno fiktivní rozložení letiště se dvěma koridory. V prvním koridoru se nachází 20 gatů a ve druhém koridoru je 7 gatů.

1G	80	21G	90	0	0
2G	100	22G	110	0	0
3G	120	23G	130	0	0
4G	140	24G	150	0	0
5G	160	25G	170	0	0
6G	180	26G	190	0	0
7G	200	27G	210	0	0
8G	220	0	0	0	0
9G	240	0	0	0	0
10G	260	0	0	0	0
11G	80	0	0	0	0
12G	100	0	0	0	0
13G	120	0	0	0	0
14G	140	0	0	0	0
15G	160	0	0	0	0
16G	180	0	0	0	0
17G	200	0	0	0	0
18G	220	0	0	0	0
19G	240	0	0	0	0
20G	260	0	0	0	0

Obrázek 7: Ukázka datového zdroje se dvěma fiktivními přiletovými koridory a dobami chůze od gatů ke konci koridoru

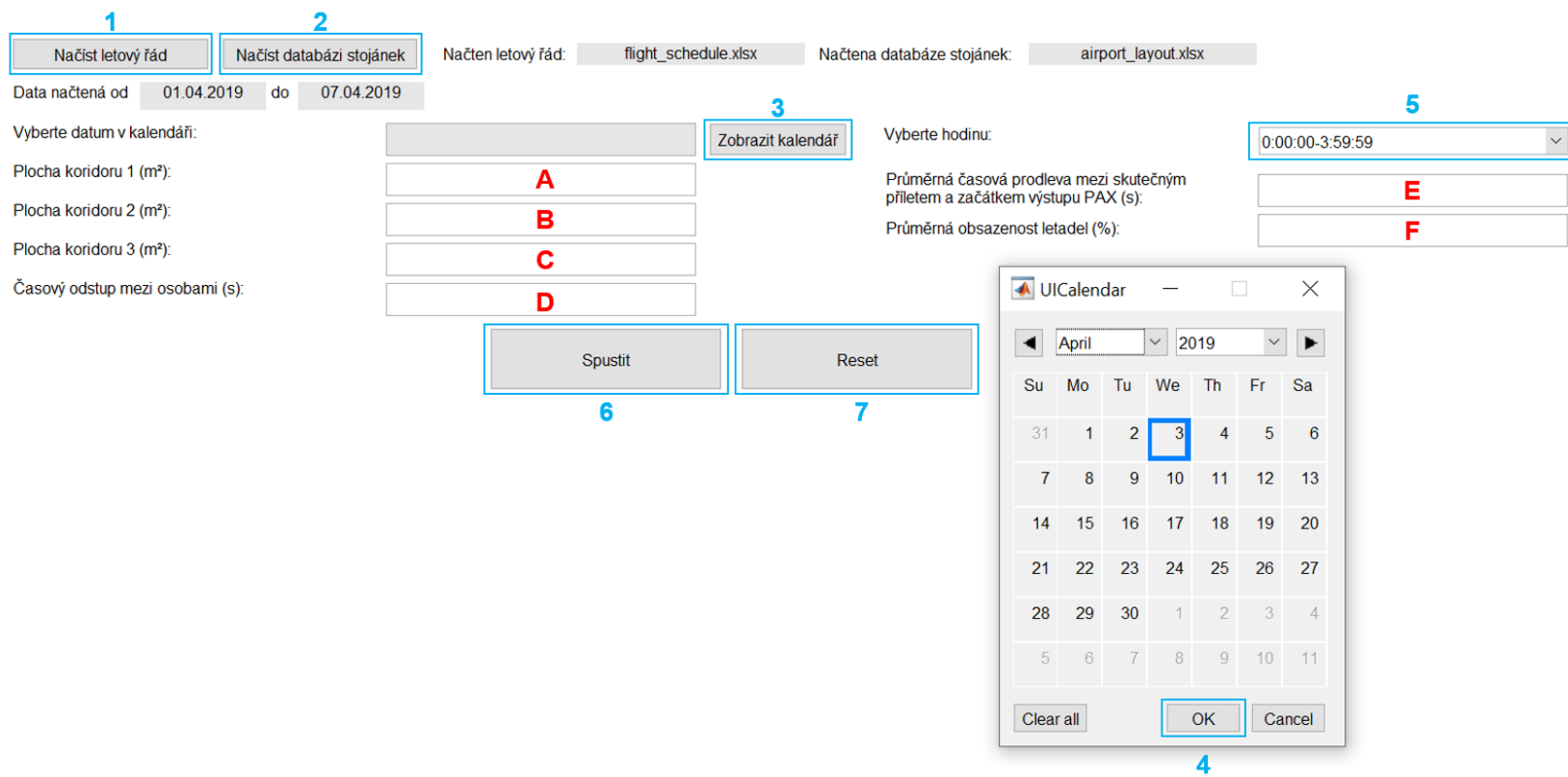
6.3 Uživatelské rozhraní aplikace

Aplikace umožňuje načtení požadovaného souboru letového řádu a databáze stání letadel s dobami chůze od jednotlivých gatů ke konci koridoru prostřednictvím tlačítek umístěných v levé horní části aplikace. Po stisknutí tlačítka *Načíst letový řád* uživatel nejprve vybere letový řád v požadovaném formátu a následně zvolí prostřednictvím tlačítka *Načíst databázi stojánek* druhý vstupní datový soubor. V případě, že byly oba soubory správně načteny, zobrazí se uživateli názvy obou souborů v polích napravo od těchto dvou tlačítek. V polích pod tlačítky se zobrazí informace o rozpětí dat v načteném letovém řádu, aby mohl uživatel snadněji vybrat datum pro provedení analýzy.

Aplikace dále obsahuje několik povinných polí, která musí být vyplněna před stisknutím tlačítka *Spustit*, a sedm tlačítek, příp. pop-up menu (Obrázek 8). Pole jsou v obrázku označena červeně písmeny od A do F a tlačítka, příp. pop-up menu, jsou označena modře čísly od 1 do 7. Pokud některé z polí zůstane nevyplněné, nebo je vyplněné hodnotou mimo stanovené meze, tak se po stisknutí tlačítka *Spustit* uživateli zobrazí chybový dialog s pokynem k doplnění nebo opravě příslušného parametru. Vyplnitelná pole umožňují, aby uživatel mohl využít program pro potřeby modelování daných prostor na různých letištích.

- 1 – tlačítko pro výběr požadovaného letového řádu z adresáře.
- 2 – tlačítko pro výběr požadované databáze stání letadel s dobami chůze od jednotlivých gatů ke konci přiletového koridoru.

- 3 – tlačítko pro zobrazení kalendáře umožňujícího výběr data, pro které se má provést analýza.
- 4 – tlačítko pro potvrzení volby data.
- 5 – pop-up menu, ze kterého uživatel vybere požadovaný časový interval.
- 6 – tlačítko pro spuštění programu. Po stisknutí tohoto tlačítka se ve spodní části aplikace zobrazí výsledný graf modelu a současně se vypíše minimální dosažená plocha na osobu v jednotlivých koridorech během vybraného časového intervalu.
- 7 – tlačítko pro resetování obsahu polí a grafu. Aplikace se uvede do výchozího nastavení.
- A – pole pro zadání plochy příletového koridoru 1 v m². Povolený rozsah hodnot pro toto pole je 1 až 10 000 m².
- B – pole pro zadání plochy příletového koridoru 2 v m², pokud je tento koridor načten ve vstupním datovém zdroji. Povolený rozsah hodnot pro toto pole je 1 až 10 000 m².
- C – pole pro zadání plochy příletového koridoru 3 v m², pokud je tento koridor načten ve vstupním datovém zdroji. Povolený rozsah hodnot pro toto pole je 1 až 10 000 m².
- D – pole pro zadání požadovaného časového odstupu mezi osobami v sekundách. Při zadání odstupu 2 s je při standardní rychlosti chůze 1,25 m/s vzdálenost mezi dvěma za sebou jdoucími cestujícími rovna 2,5 m, což je z pohledu physical distancing dostačující hodnota. Zadaná hodnota nesmí být menší nebo rovná nule a nesmí být větší než 15 sekund.
- E – pole pro zadání průměrné doby mezi skutečným časem přistání a počátkem výstupu cestujících z letadla v sekundách. Povolený rozsah hodnot je 1 až 1 200 s.
- F – pole pro zadání průměrné obsazenosti letadel v procentech.



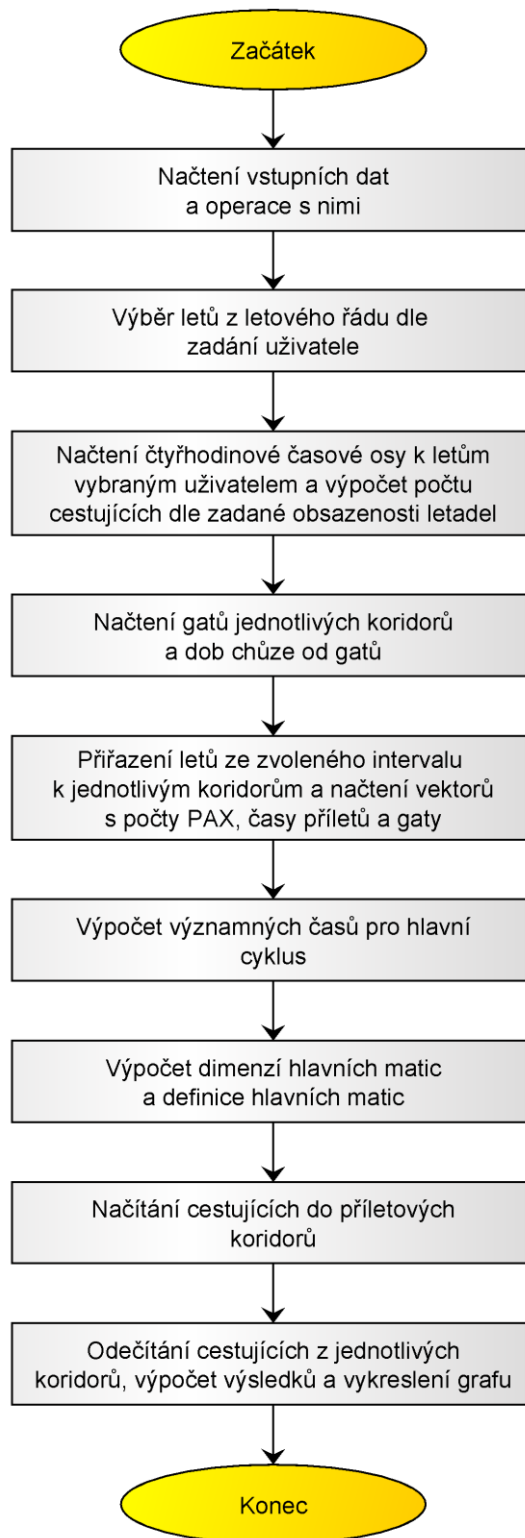
Obrázek 8: Uživatelské rozhraní obecného modelu

6.4 Princip funkce modelu

Program je možné rozdělit na devět základních částí zobrazených v blokovém schématu (Obrázek 9). Program začíná načtením a úpravami potřebných vektorů ze dvou datových zdrojů popsaných v kapitole 6.2. Dále jsou načteny vstupní parametry zadané uživatelem v aplikaci. Pokud je nahrán datový zdroj s rozložením příletových gatů u jednotlivých koridorů tak, že celkový počet koridorů je menší než tři, je u nevyužitých koridorů uvedena v poli *Plocha koridoru* hodnota 0. Výsledný graf je zobrazen pouze pro takový počet koridorů, který je vyplněn v datovém zdroji. Po načtení vstupních parametrů proběhne cyklus, který kontroluje, zda jsou požadované parametry vyplněny, a zda uživatel zadal hodnoty parametrů v povolených mezích. V případě, že je v uživatelském zadání nalezena chyba, zobrazí se chybová hláška s upozorněním, které pole je třeba upravit. Skript pokračuje vyhledáním letů v načteném letovém řádu podle výběru data a časového intervalu. K daným letům jsou vytvořeny vektory s informacemi, které jsou nezbytné pro další průběh programu. Další část skriptu je věnována výpočtu časové osy dle čtyřhodinového intervalu vybraného uživatelem. Vzhledem k tomu, že v načteném letovém řádu je ke každému letu zaznamenáno, v kolikáté sekundě dané hodiny let přistál, je třeba pro každou další hodinu čtyřhodinového intervalu zvýšit tuto hodnotu o 3 600. Dále jsou načteny vektory se všemi příletovými gaty a dobami chůze od těchto gatů až ke konci koridoru a následně jsou lety z vybraného časového intervalu rozděleny podle toho, k jakému koridoru byly přistaveny. Program pokračuje cykly, ve kterých se do vektorů načítají významné časové okamžiky pro každý let, které následně slouží v hlavním cyklu ke stanovení počátku vstupu cestujících do příletových koridorů, času odchodu prvního cestujícího každého letu z koridoru a času odchodu posledního cestujícího každého letu z koridoru.

Jádrem programu jsou tři matice, jejichž dimenze jsou stanoveny na základě počtu příletů ke každému z koridorů před průběhem hlavních cyklů. Výpočty ke každému příletovému koridoru se provádějí v samostatných maticích. V hlavním cyklu probíhá načítání cestujících do koridorů v závislosti na časové ose a následně po uplynutí doby chůze koridorem každého cestujícího se cestující z koridoru odečítají. Pro každý časový okamžik je proveden výpočet dosažené plochy na osobu v každém příletovém koridoru. Na závěr programu je pro každý příletový koridor vykreslen graf závislosti dosažené plochy na osobu v čase. Červeně jsou zvýrazněny dosažené minimální hodnoty.

Podrobný vývojový diagram tohoto modelu je umístěn v příloze (*Příloha 1*).



Obrázek 9: Blokové schéma fungování obecného modelu

6.5 Výstupy modelu

Výstupem obecného modelu je grafické zobrazení dosažené hodnoty plochy na osobu v jednotlivých příletových koridorech. Dosažená minima jsou kromě červeného zvýraznění v grafu vypsána pro jednodušší interpretaci výsledků také v textové podobě v pravé části okna uživatelského rozhraní. Výstupy modelu lze využít k posouzení možností dodržování physical distancing v příletových koridorech letiště.

Pro potřeby představení obecného modelu jsou veškeré vstupní údaje včetně ploch koridorů a databáze stání letadel fiktivní s výjimkou letového řádu získaného z veřejné letové databáze flightera.net [50], který odpovídá příletům na Letiště Václava Havla v Praze. Do modelu je možné nahrát letový řád jakéhokoliv jiného letiště v požadovaném formátu.

Následující obrázky (*Obrázek 10*, *Obrázek 11*) představují vyhodnocení plochy na osobu v příletových koridorech pro konkrétní zadání. Graf byl vykreslen pro středu 3. 4. 2019 od 8:00 do 11:59 hodin. Uspořádání terminálu bylo zvoleno dvoukoridorové, jak je popsáno v kapitole 6.2. Mezi cestujícími vstupujícími z letadel do koridorů byly zadány časové odstupy 2 sekundy. Průměrná časová prodleva mezi skutečným časem příletu a začátkem výstupu cestujících byla zadána 270 sekund. V simulaci byla zvolena průměrná obsazenost letadel 76 %.

V uvedeném časovém období letového řádu převzatého ze serveru flightera.net [50] přiletělo 35 letů s celkem 3783 cestujícími, z toho 25 letů s 2767 cestujícími bylo přistaveno k prvnímu koridoru a 10 letů s 1016 cestujícími ke druhému koridoru.

Z grafu lze vyčíst, že k prvnímu koridoru, který je vykreslen fialovou barvou, byla na rozdíl od druhého koridoru během zvoleného čtyřhodinového intervalu rovnoměrně přistavována přilétající letadla. V prvním koridoru bylo dosaženo minimální hodnoty plochy na osobu před 11. hodinou, kdy tato hodnota klesla na $5,31 \text{ m}^2/\text{os}$. V druhém koridoru byla nejnižší hodnota plochy na osobu dosažena po 10. hodině, kdy tato hodnota činila $2,8 \text{ m}^2/\text{os}$.

Organizace EUROCONTROL považuje za zdravotně bezpečnou plochu pro osobu 2 m^2 [2]. Na základě výstupů z grafu lze hodnotit, že za daných vstupních podmínek byly tyto požadavky dodrženy.

Načten letový řád:
 Načtena databáze stojánek:

Data načtená od do

Vyberte datum v kalendáři:
 Vyberte hodinu:

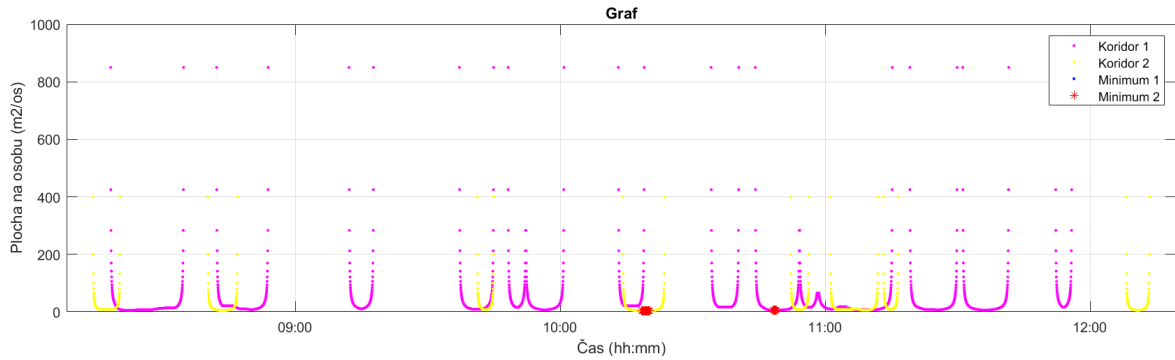
Plocha koridoru 1 (m²):
 Průměrná časová prodleva mezi skutečným přiletem a začátkem výstupu PAX (s):

Plocha koridoru 2 (m²):
 Průměrná obsazenost letadel (%):

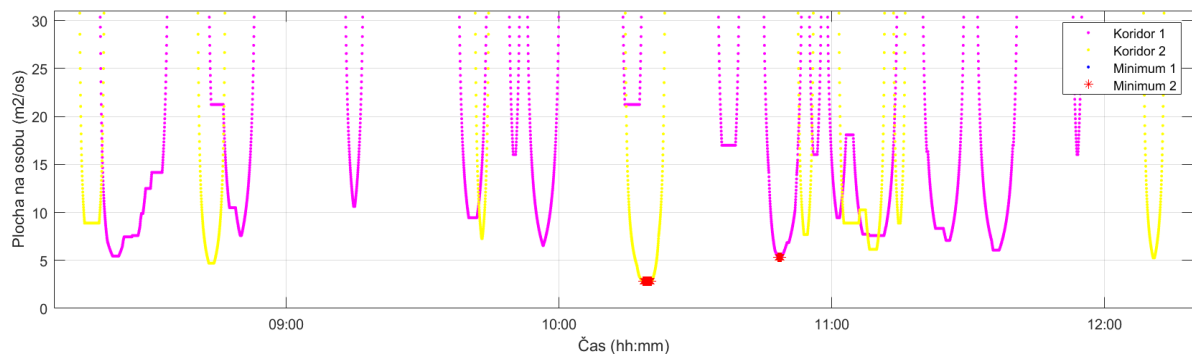
Plocha koridoru 3 (m²):

Časový odstup mezi osobami (s):

Nejnižší dosažená plocha na osobu v koridoru 1: 5.31 m²/os
Nejnižší dosažená plocha na osobu v koridoru 2: 2.8 m²/os



Obrázek 10: Grafický výstup obecného modelu



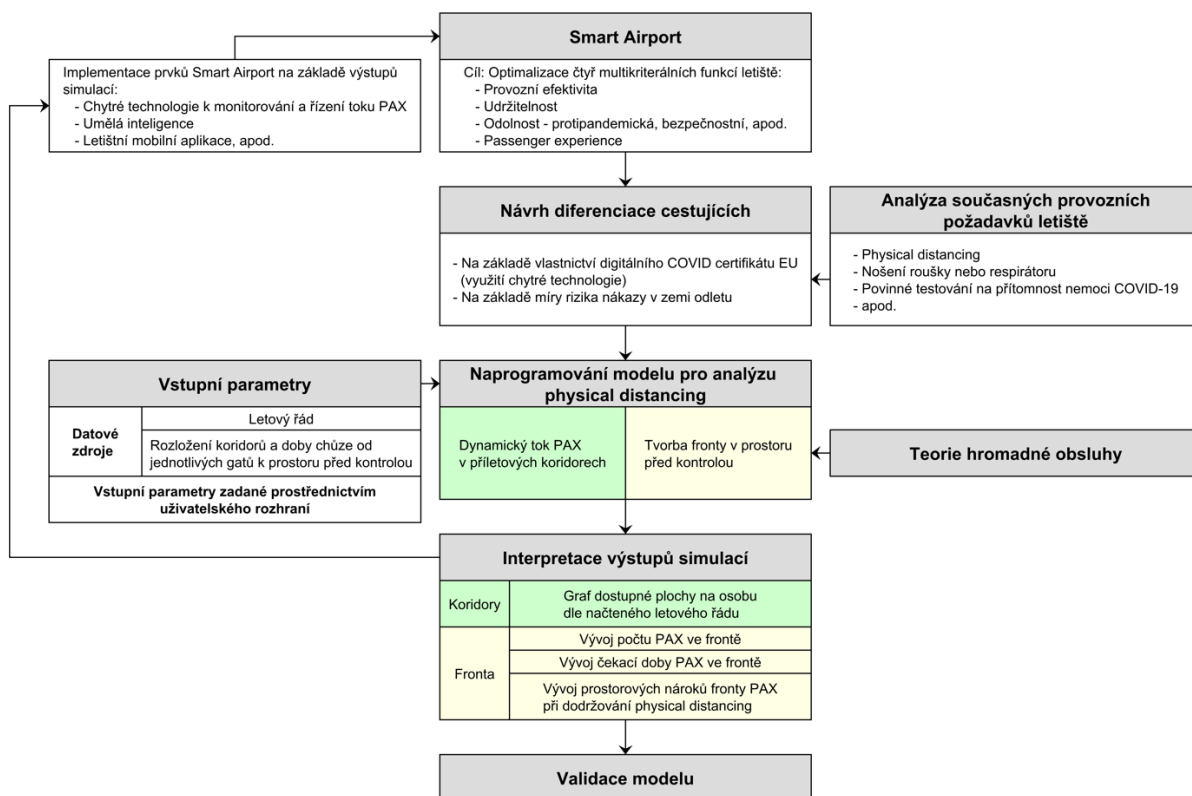
Obrázek 11: Detailní pohled na grafický výstup obecného modelu umožňující posouzení dosažených minim

7. Model pro analýzu physical distancing na Letišti Václava Havla v Praze

7.1 Principy, zdroje a metodologický postup vývoje modelu

Model pro analýzu physical distancing na Letišti Václava Havla v Praze vytvořený v programovém prostředí Matlab simuluje pohyb cestujících v Terminálu 2 od okamžiku jejich vstupu do příletového koridoru do provedení namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví zavedené s ohledem na současnou pandemickou krizi. Tato příletová kontrola, jejíž provoz byl zahájen po nástupu pandemie v roce 2020, vede ke zpomalení toku cestujících v příletových prostorách letiště, a může způsobovat hromadění cestujících v prostoru před kontrolou. Cílem modelu je simulovat možnosti aplikace principů physical distancing v prostorách příletových koridorů v Terminálu 2 a v prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví v závislosti na vstupních datových zdrojích a parametrech zadaných uživatelem, kde tvorbu front ovlivňuje propustnost obslužných míst kontroly.

Na následujícím obrázku (*Obrázek 12*) je schematicky znázorněn metodologický postup využitý při vývoji modelu. Jedním ze základních předpokladů modelu je použití diferenciací cestujících podle vlastnictví digitálního COVID certifikátu EU, navržené v kapitole 3.1. Způsob kontroly tohoto certifikátu cestujících lze považovat za formu chytré technologie spadající do koncepce Smart Airport, neboť k načtení platnosti certifikátu se využívá čtečka QR kódu. Organizace EUROCONTROL předpokládá, že doba obsluhy u kontroly prováděné načtením QR kódu je čtyřikrát kratší než manuální kontrola dokumentů v tištěné podobě [2]. S diferenciací cestujících a analýzou physical distancing v letištních příletových koridorech rovněž úzce souvisí problematika současných provozních požadavků letiště.



Obrázek 12: Metodologický postup vývoje modelu

Model lze rozdělit na dvě základní části, které se od sebe odlišují principem toku cestujících. První část se týká příletových koridorů letiště. V Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze jsou tři příletové koridory: C, D a koridor BUS pro obsluhu cestujících přijíždějících od letadla k terminálu autobusem. V těchto koridorech se předpokládá dynamický tok cestujících od příletových gatů, příp. od vstupu z místa zastavení autobusu, směrem k prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví, která je umístěna před výdejem zavazadel. Cestující vcházejí do koridoru po časových intervalech, které zadává uživatel v aplikaci. Tento časový interval zaručuje, že jsou mezi cestujícími dodržovány prostorové rozestupy. Pravděpodobnost, zda do koridoru vstupují cestující jednotlivě, ve dvojici nebo trojici je generována náhodně, což přibližuje model realitě, protože páry a rodiny chodí po letišti společně, a nedodržují mezi sebou prostorové rozestupy.

Druhá část modelu je věnována prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví. Vzhledem k povaze této kontroly, která byla v době vypracování diplomové práce v Terminálu 2 prováděna manuálně příslušníky Policie ČR, již v tomto prostoru nelze tok cestujících považovat za dynamický, neboť zde docházelo k hromadění cestujících přicházejících ze všech tří příletových koridorů. Z tohoto důvodu byla na tento prostor aplikována teorie hromadné obsluhy.

Pro spuštění programu je nezbytné nahrát dva datové zdroje a vyplnit vstupní parametry v uživatelském rozhraní programu. Prvním datovým zdrojem je letový řád, pro který má být provedena simulace. V této práci byly využity letové řády příletů na Letiště Václava Havla v Praze v červenci 2019, 2020 a 2021. Měsíc červenec byl zvolen z důvodu validace modelu na letovém řádu v hlavní letní sezóně. Druhým datovým zdrojem je soubor s rozložením gatů v jednotlivých koridorech a dobami chůze od jednotlivých gatů k prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví. Další vstupní parametry, jako například počet obslužných míst kontroly a jejich propustnost, časové odstupy mezi cestujícími nebo požadovanou plochu na osobu při aplikaci physical distancing, zadává uživatel prostřednictvím uživatelského rozhraní, které je detailně popsáno v kapitole 7.3.

Grafické výstupy modelu jsou zobrazeny pro uživatelem zvolený čtyřhodinový úsek vybraného dne. Tento časový interval je dostatečně dlouhý pro provedení analýzy během odpolední nebo večerní špičky. Uživatel může vybrat čtyřhodinový úsek začínající vždy po dvou překrývajících se hodinách tak, aby mohl být ve výpočtech a grafickém zobrazení kontinuálně pokryt celý den.

Výstupem modelu jsou čtyři grafy, z nichž první vykresluje dosažené hodnoty plochy na osobu v m^2/os v příletových koridorech během zvoleného časového intervalu, a zbylé tři grafy se týkají prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví. Na základě výstupů simulací lze posoudit možnosti aplikace dalších prvků Smart Airport, které mohou přispět ke snížení zátěže letištních příletových prostor a k umožnění dodržování physical distancing i v případě návratu letištního provozu k hodnotám z doby před příchodem pandemie.

Pro potřeby simulací provedených v této diplomové práci byl využit předpoklad potřebné plochy pro dodržování physical distancing $2 \text{ m}^2/\text{os}$ [2]. Tento údaj byl převzat z analýzy organizace EUROCONTROL.

7.2 Teorie hromadné obsluhy

Teorie hromadné obsluhy byla v modelu aplikována z důvodu hromadění cestujících před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví. Teorie hromadné obsluhy je odvětví aplikované matematiky, které se zabývá činnostmi systémů, ve kterých se opakovaně objevují požadavky na vykonání posloupnosti operací. Tyto operace zpravidla bývají náhodné z pohledu jejich vzniku a okamžiku výskytu. Teorie hromadné obsluhy má za cíl navrhnout a optimalizovat systém hromadné sítě a analyzovat stávající systém s případným návrhem jeho optimalizace. Optimalizace se

navrhují na základě určení vztahu mezi známými parametry systému a charakteristikami ovlivňujícími kvantitu a kvalitu systému. Mezi sledované charakteristiky patří například délka fronty nebo ztracený čas osob ve frontě [51, 52, 53]. Teorii hromadné obsluhy lze řešit analyticky nebo simulačně. V této diplomové práci je problematika hromadné obsluhy osob řešena simulační metodou. Výstupy modelu jsou vyhodnocovány v intervalech časového odstupu mezi cestujícími, který zadává uživatel v aplikaci. Při standardní rychlosti chůze 1,25 m/s lze jako ideální časový odstup mezi cestujícími uvažovat 2 sekundy, které znamenají vzdálenost mezi dvěma za sebou jdoucími osobami v délce 2,5 metru.

Pro analýzu stochastického frontového systému je třeba identifikovat několik vstupních parametrů. *Intenzita vstupního toku* λ je definována jako střední hodnota počtu zákazníků vstupujících do systému za časovou jednotku. V simulačním modelu situovaném do prostorů Terminálu 2 pražského letiště je intenzita vstupního toku funkcí času. Čas je diskretizován intervaly časového odstupu (pro zajištění physical distancing obvykle 2 s) a pro tyto intervaly je určována intenzita ze znalosti počtu přilétajících cestujících a znalosti okamžiku příchodu jednotlivých cestujících do fronty. Dalším vstupním parametrem je *intenzita obsluhy* μ , která udává střední počet zákazníků obslužených jednou linkou za předpokladu, že je linka plně vytížená. Tento vstupní parametr zadává uživatel v aplikaci před spuštěním programu společně s počtem obslužných míst.

Systémy hromadné obsluhy se kvůli jednotnému systematickému popisu označují dle Kendallovy klasifikace:

A / B / C / D / E

Písmeno *A* vyjadřuje pravděpodobnostní rozdělení příchodů požadavků do systému hromadné obsluhy. Písmeno *B* vyjadřuje pravděpodobnostní rozdělení doby obsluhy zákazníka. Většinou platí předpoklad, že vstupní tok a trvání obsluhy se označují stejným písmenem, protože oba parametry mají stejné rozdělení. Písmenem *C* se označuje počet obslužných linek, tedy počet požadavků, které mohou být obsluhovány současně. Písmeno *D* vyjadřuje kapacitu zásobníku, jde o číslo udávající maximální počet zákazníků ve frontě. Pokud není velikost zásobníku omezena, píše se na čtvrtou pozici v Kendallově klasifikaci znak ∞ . Posledním znakem, označeným písmenem *E*, je frontový režim, který popisuje, v jakém pořadí je fronta odbavována. Nejběžnějším režimem, který je využit také pro simulaci v této diplomové práci, je FIFO (First In – First Out), ve kterém se zákazníci řadí do fronty v pořadí, v jakém se do ní zařadili. A podle tohoto pořadí jsou také obsluhováni. Mezi další typy frontových režimů patří například P-FIFO, kde se zákazníci dělí na více typů podle jejich priority, nebo LIFO (Last In – First Out), kde jsou zákazníci obsluhováni v opačném pořadí, než v jakém do systému přišli [51].

Pro aplikaci teorie hromadné obsluhy v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze bylo přijato několik předpokladů. Vzhledem k tomu, že kontrola je prováděna v příletovém prostoru letištního terminálu, je z letového řádu známo, kolik přilétajících cestujících musí být obslouženo. Z tohoto pohledu se jedná o deterministické příchody cestujících, dle Kendallovy klasifikace by tedy byl model označen jako $D/M/n/\infty/FIFO$, kde D vyjadřuje pravidelné deterministické příchody cestujících do fronty, M znamená exponenciální rozložení doby obsluhy, n vyjadřuje počet obslužných míst, znak ∞ znamená neomezenou délku fronty a $FIFO$ je daný frontový režim. Vzhledem ke skutečnosti, že přilétající cestující z jednotlivých letů jsou v programu během krátkých časových intervalů náhodně vpouštěni do příletových koridorů a následně do fronty buď jednotlivě nebo po dvojicích nebo trojicích, přibližuje se model klasifikaci $M/M/n/\infty/FIFO$, kde první M vyjadřuje Poissonův proces příchodů, a druhé M znamená exponenciální rozložení doby obsluhy.

Z pohledu problematiky teorie hromadné obsluhy umožňuje program provést analýzu vývoje počtu osob ve frontě, čekací doby obslužených osob a vývoje prostorových nároků fronty při aplikaci principů physical distancing ve zvoleném čtyřhodinovém úseku vybraného dne pro zadané vstupní parametry teorie hromadné obsluhy. Uživatel může provést analýzu pro dva typy obslužných míst s různými hodnotami intenzity obsluhy. Díky tomu je možné simulovat vývoj fronty v případě využití pomalejší manuální kontroly a rychlejší automatické kontroly například s využitím skenování QR kódů v rámci digitálních COVID certifikátů EU. Uživatel může zadat různý počet pomalých obslužných míst a různý počet rychlých obslužných míst. Rovněž propustnost obslužného místa je možné zadat jednotlivě pro každý typ obslužného místa.

Princip simulačního modelu spočívá v kumulativním načítání příchozích osob do fronty. Cestující jsou zařazeni do fronty po uplynutí doby potřebné pro průchod příslušným příletovým koridorem, která je dána dobou chůze od konkrétního příletového gatu daného letu, kterým cestující přiletěli, k prostoru před kontrolou. Cestující jsou z fronty odečítáni na základě pravděpodobnosti vycházející ze zjištěného rozdělení doby obsluhy pro dva typy obslužných míst. Doba strávená v systému je zjišťována prostřednictvím výpočtu rozdílu času příchodu cestujícího do systému a času jeho odchodu. Zde je aplikován princip frontového režimu First In – First Out. Předpokládá se, že cestující jsou obsluhováni v pořadí, v jakém do fronty přicházejí.

Na základě výsledků výpočtů teorie hromadné obsluhy je možné stanovit, jak vývoj délky fronty cestujících ovlivní prostorové nároky fronty v případě dodržování požadované plochy pro physical distancing v prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví.

Model byl validován na základě měření provedeného přímo v místě zkoumání v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. Proces vyhodnocení a validace modelu je popsán v kapitole 7.9.

7.3 Uživatelské rozhraní aplikace

Aplikace umožňuje uživateli nahrát do modelu požadované vstupní datové zdroje ve formátu .xlsx nebo .xls a zvolit, pro který den a časový úsek se má simulace provést. Dále je možné prostřednictvím aplikace zadat požadované vstupní parametry pro uplatnění teorie hromadné obsluhy. Uživatelské rozhraní je zobrazeno v obrázku (Obrázek 13). Tlačítka a pop-up menu jsou v obrázku zvýrazněna a popsána modrou barvou. Pole, do kterých uživatel zadává požadované hodnoty, jsou vyznačena červeně. Veškeré interaktivní součásti aplikace jsou popsány v následující části kapitoly.

- 1 – tlačítko pro výběr požadovaného letového řádu z adresáře.
- 2 – tlačítko pro výběr požadované databáze stání letadel s dobami chůze od jednotlivých gatí ke konci příletového koridoru.
- 3 – tlačítko pro zobrazení kalendáře sloužícího k výběru data, pro které se má provést simulace.
- 4 – tlačítko pro potvrzení volby data.
- 5 – pop-up menu, ze kterého uživatel vybere požadovaný časový interval.
- 6 – tlačítko pro spuštění programu. Po stisknutí tohoto tlačítka se ve spodní části aplikace zobrazí výsledný graf modelu a vypíše se minimální dosažená plocha v m^2/os v koridoru během vybraného časového intervalu.
- 7 – tlačítko pro resetování obsahu polí a grafu. Aplikace se uvede do výchozího nastavení.
- A – pole pro zadání počtu obslužných míst s propustností zadanou v poli B. Hodnota je v programu omezena na rozpětí od 1 do 50 obslužných míst.
- B – pole pro zadání propustnosti obslužných míst, jejichž počet je zadán v poli A. Hodnota je v programu omezena na rozpětí od 1 do 2 000 osob/hod/obslužné místo.
- C – pole pro zadání počtu obslužných míst s propustností zadanou v poli D. Hodnota je v programu omezena na rozpětí od 1 do 50 obslužných míst.
- D – pole pro zadání propustnosti obslužných míst, jejichž počet je zadán v poli C. Hodnota je v programu omezena na rozpětí od 1 do 2 000 osob/hod/obslužné místo.
- E – pole pro zadání požadované plochy na osobu při aplikaci physical distancing v prostoru před kontrolou. Hodnota je omezena na rozpětí od 1 do 10 m^2/os .
- F – pole pro zadání časových odstupů mezi osobami vstupujícími do koridoru. Hodnota je v programu omezena na rozpětí od 1 do 15 sekund.

1 Načíst letový řád
 2 Načíst databázi stojánek
 Načten letový řád: cervenec2020.xlsx
 Načtena databáze stojánek: databaze_stojanky.xlsx

Data načtená od 01.07.2020 do 31.07.2020

Vybte datum v kalendáři:
3 Zobrazit kalendář
 Vybte hodinu: 5 0:00:00-3:59:59

Počet obslužných míst A s propustností B (os/hod/obslužné místo)

Počet obslužných míst C s propustností D (os/hod/obslužné místo)

Požadovaná plocha na osobu (m²/os) E

Časový odstup mezi osobami (s): F

6 Spustit 7 Reset

UICalendar

July 2020

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
28	29	30	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8

Clear all
 4 OK
 Cancel

Obrázek 13: Uživatelské rozhraní modelu pro analýzu physical distancing na Letišti Václava Havla v Praze

Pole s tmavě šedým pozadím se vyplní automaticky. Jedná se o dvě pole napravo od tlačítek pro nahrání vstupních datových zdrojů umístěných v levém horním okraji aplikace. V případě, že dojde k úspěšnému nahrání vstupních datových souborů, zobrazí se uživateli informace, že byly nahrány soubory s danými názvy. Uživateli se také zobrazí informace o rozpětí dat z načteného letového řádu. Na základě znalosti rozpětí načtených dat může uživatel vybrat v kalendáři požadované datum pro analýzu. Datum, vybrané prostřednictvím kalendáře, se zobrazí v poli nalevo od tlačítka *Zobrazit kalendář*.

V případě, že uživatel nevybere vstupní datové zdroje, nebo vybrané zdroje nejsou v požadovaném formátu, zobrazí se uživateli chybová hláška s pokyny pro správné načtení souborů. Chybová hláška se rovněž zobrazí v případě, že uživatel stiskne tlačítko *Spustit*, přičemž alespoň jedna hodnota zadaná uživatelem v polích je mimo stanovené rozpětí, záporná nebo je pole nevyplněné.

7.4 Princip funkce modelu

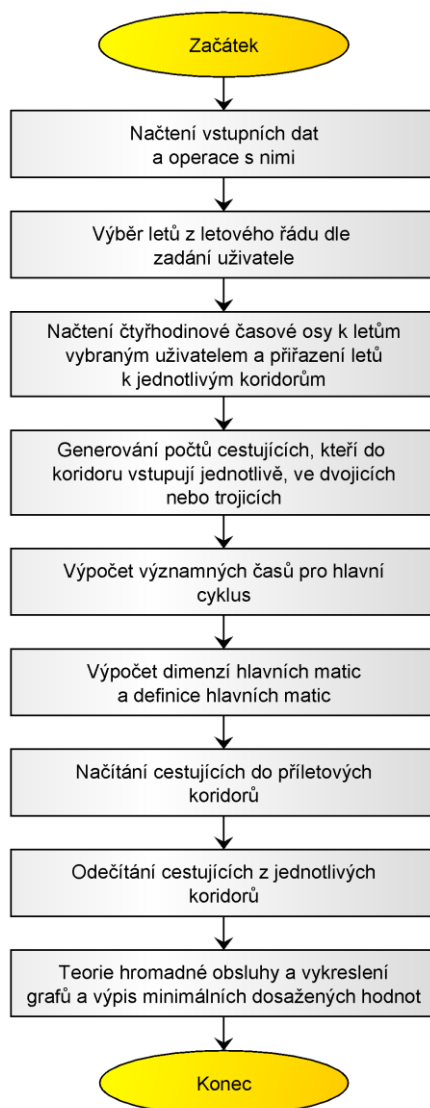
Program lze rozdělit na devět základních částí (*Obrázek 14*). Program začíná výběrem dvou vstupních datových zdrojů, které musí mít uživatel uložené v požadovaném formátu ve zdrojové složce. Po načtení těchto datových zdrojů proběhne kontrola formátu. V případě, že je načten soubor ve špatném formátu, je uživateli zobrazeno upozornění na chybu. Hláška se spustí také v situaci, kdy uživatel jeden ze souborů nevybere. Poté uživatel vyplní prostřednictvím aplikace vstupní údaje popsané v kapitole 7.3. Po stisknutí tlačítka *Spustit* proběhne kontrola zadaných vstupních parametrů a případně se uživateli zobrazí hláška s upřesněním chybného parametru. Pokud jsou parametry zadány ve správném formátu, pokračuje program vyhledáním letů odpovídajících výběru uživatele. Ke každému z letů je zaznamenán vektor s počtem cestujících, s příletovým gatem a informací o času přistavení letadla na stání letadla. V dalším kroku probíhá načtení čtyřhodinové časové osy ke každému z letů. Vzhledem k tomu, že u každého letu je ve vstupním datovém zdroji uveden čas přistavení letadla na stání letadla v sekundách dané hodiny, je třeba pro každou další hodinu čtyřhodinového intervalu zvýšit tuto hodnotu o 3 600. Dále je v programu provedeno rozdělení příletů ze zvoleného časového úseku k jednotlivým koridorům.

Aby model co nejvíce odpovídal reálné situaci na letišti, kdy pasažéři cestují buď jednotlivě nebo chodí po letišti v páru či s rodinou, je v další části programu určeno prostřednictvím funkce *randi* rozdělení cestujících na ty, kteří vstupují do koridoru jednotlivě, ve dvojici nebo ve trojici. Program pokračuje výpočtem významných časů, které jsou poté použity v hlavních cyklech. Tyto časy se počítají pro každý z koridorů jednotlivě. Následně jsou vypočítány dimenze hlavních matic.

Během prvního hlavního cyklu se cestující z přilétajících letadel načítají do koridorů. Druhý cyklus slouží k odečítání cestujících z koridorů po uplynutí doby chůze od konkrétních příletových gatů ke konci koridoru. Během tohoto cyklu jsou vypočítány dosažené hodnoty plochy na osobu v příletových koridorech.

Následující část programu je zaměřena na aplikaci teorie hromadné obsluhy. Nejprve je proveden výpočet intenzity obsluhy pro oba typy obslužných míst. Uživatel zadává tuto veličinu jako propustnost jednoho obslužného místa za hodinu. V programu se provádí přepočítání této vstupní hodnoty na hodnotu odpovídající všem obslužným místům daného typu. Příchozí cestující jsou kumulativně načítáni do fronty, ze které jsou po splnění podmínky postupně odečítáni. V závěrečné fázi programu je provedeno vykreslení všech čtyř výsledných grafů a uveden výpis dosažených minimálních hodnot plochy v m^2/os v jednotlivých koridorech.

Podrobný vývojový diagram tohoto modelu je umístěn v příloze (*Příloha 2*).

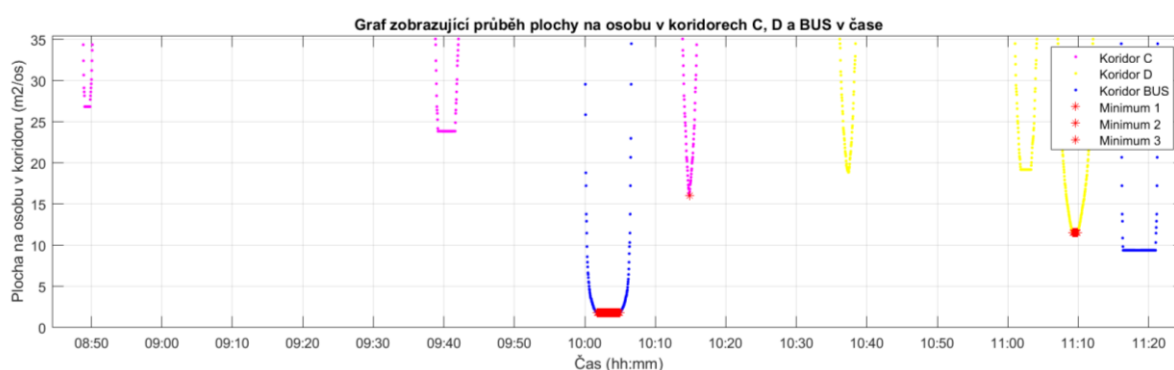


Obrázek 14: Blokové schéma fungování modelu pro Letiště Václava Havla v Praze

7.5 Popis struktury výstupů modelu

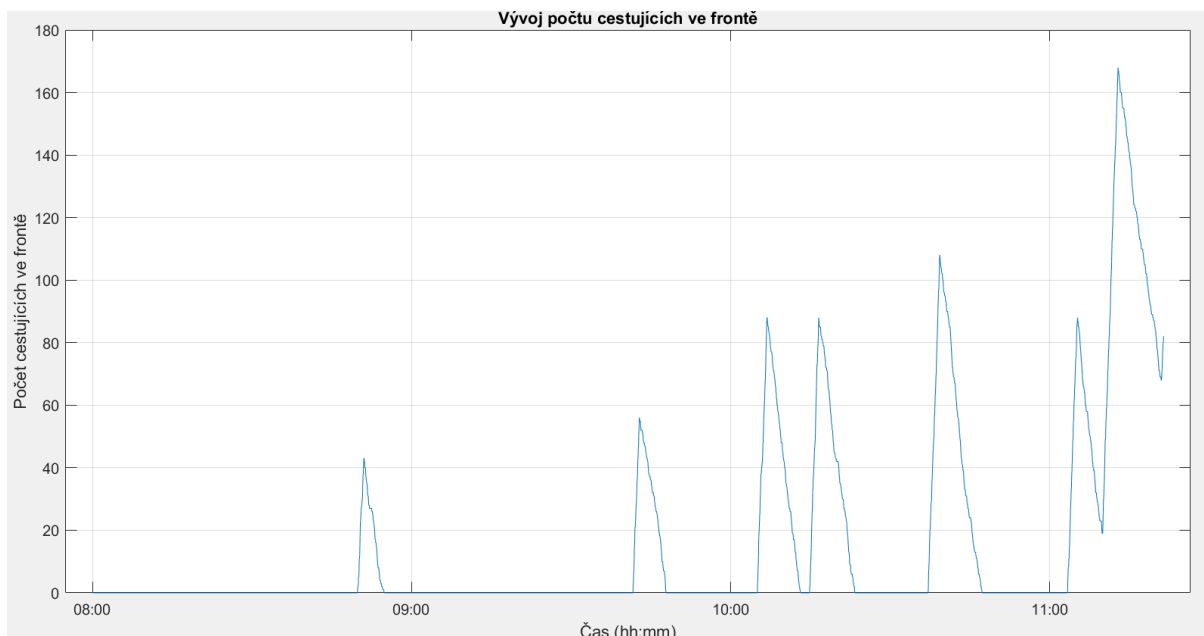
Výstupem modelu jsou čtyři grafy, které slouží k vyhodnocení možností aplikace physical distancing v příletových prostorách Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. Jednotlivé grafické výstupy modelu a jejich interpretace jsou popsány v této kapitole. Popis výstupů modelu v této kapitole slouží k tomu, aby mohl čtenář snadněji interpretovat výsledky simulací modelu popsané v kapitolách 7.6 a 7.7. Z tohoto důvodu nejsou u jednotlivých grafů v této kapitole uvedeny konkrétní vstupní parametry, neboť cílem je pouze popsat způsob interpretace výsledků modelu.

Graf vykreslující průběh dosažené plochy na osobu v příletových koridorech Terminálu 2 v závislosti na čase se zobrazuje přímo v okně uživatelského rozhraní pod poli pro zadání vstupních parametrů. Na ose x je časová osa dle výběru uživatele. Na ose y je vypočítaná dosažená hodnota plochy na osobu v m^2/os . V grafu se vykreslují výsledky pro všechny tři příletové koridory. Dosažené hodnoty v každém z koridorů jsou zobrazeny odlišnou barvou, podle které mohou být jednotlivé koridory identifikovány v legendě. Červeně jsou v grafu zvýrazněny nejnižší dosažené hodnoty plochy v m^2/os pro každý z koridorů. Tyto hodnoty jsou navíc zobrazeny i v číselné podobě pro snadnější vyhodnocení výsledků. Pro jednodušší interpretaci minimálních hodnot plochy na osobu je možné graf přibližovat. Měřítko grafu bylo zvoleno tak, aby byla rozlišovací schopnost plochy na osobu od 0 do 35 m^2/os (Obrázek 15). Z grafu je patrné, že nejnižších hodnot plochy na osobu bylo dosaženo v koridoru, kterým procházejí cestující přijíždějící od letadel k terminálu autobusem. Tento koridor má nejmenší plochu, proto je zde předpoklad pro aplikaci physical distancing složitější.



Obrázek 15: Detail grafu dosažené plochy na osobu v příletových koridorech

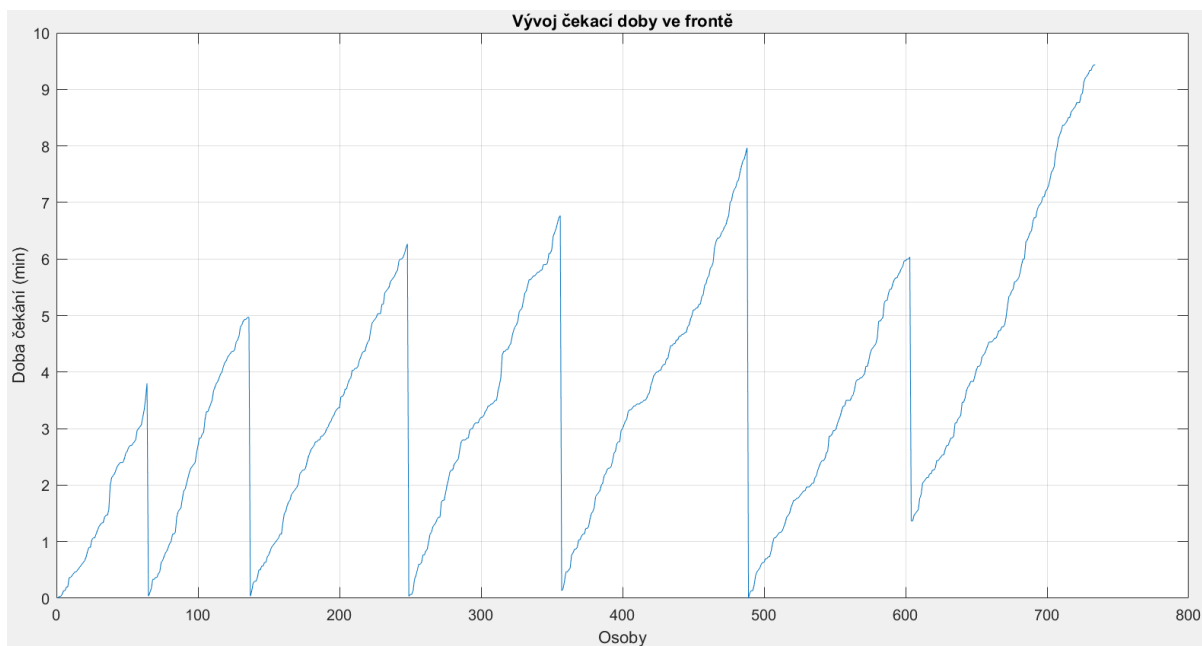
Graf zobrazující vývoj počtu cestujících ve frontě před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví je zobrazován v samostatném okně (Obrázek 16). V grafu na ose x je čas korespondující se zvoleným čtyřhodinovým intervalem. Na ose y je počet cestujících zařazených ve frontě.



Obrázek 16: Graf vývoje fronty

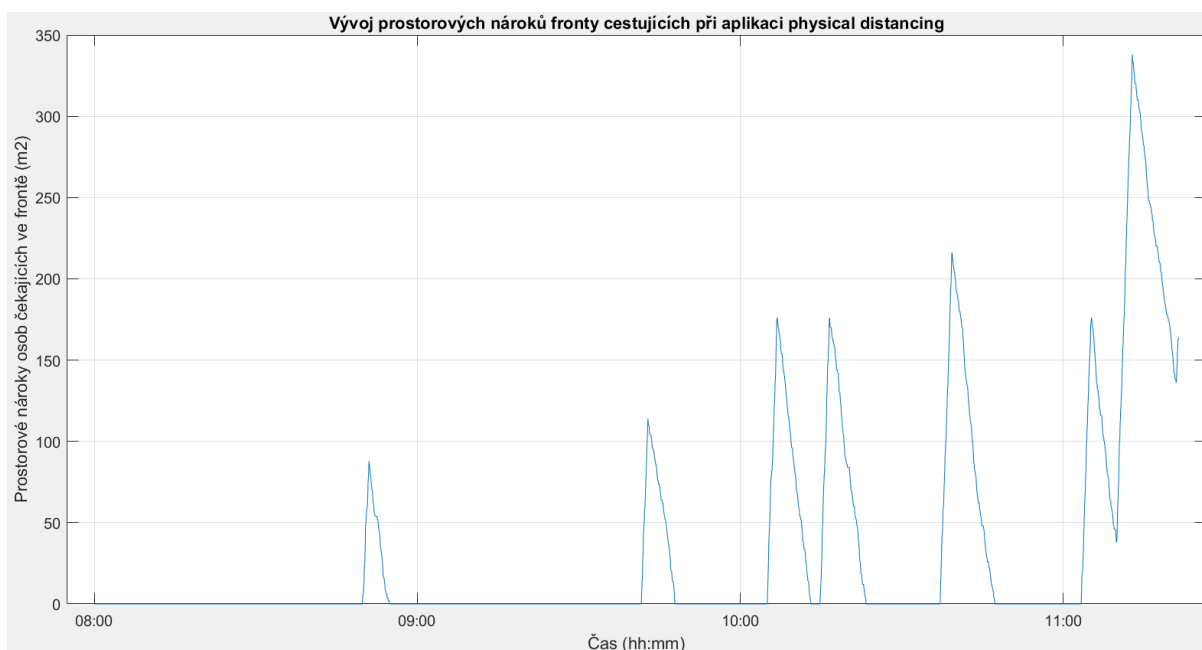
Graf zobrazující vývoj čekací doby ve frontě před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví (Obrázek 17) se zobrazuje v samostatně otevřeném okně. Čekací doba se dá stanovit pouze pro osoby, které jsou v daném časovém intervalu obslouženy. Cestující, kteří přiletěli během daného čtyřhodinového intervalu, ale nestihli být v tomto intervalu obslouženi, se dočkají obsluhy během dalšího intervalu.

Jednotlivé nárůsty čekací doby jsou způsobeny příchodem cestujících z přilétajících letů. Prudké poklesy čekací doby po dosažení lokálních maxim jsou způsobeny tím, že po obslužení všech cestujících ve frontě nastává prodleva, kdy po určitou dobu nepřiletěl žádný let, a tak se do fronty žádný cestující nezařadil. S příchodem dalších cestujících přicházejících po této prodlevě proto čekací doba narůstá opět od nuly. V případě, že přiletí více letadel během krátkého časového úseku, a fronta se nestihne mezi jednotlivými přílety zcela odbavit, projeví se pokles čekací doby jen částečně. V grafu je tento trend patrný po 600. obsloužené osobě.



Obrázek 17: Graf vývoje čekací doby ve frontě

Posledním výstupem modelu je **graf vývoje prostorových nároků fronty před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví (Obrázek 18)**. Tento grafický výstup slouží k vyhodnocení vlivu physical distancing na prostorovou náročnost fronty. Vzhledem k tomu, že neexistuje shoda na konkrétní hodnotě plochy na osobu jako bezpečné plochy pro physical distancing, zadává uživatel požadovanou plochu na osobu pro physical distancing dle svých požadavků. V grafu je na ose x uveden zvolený časový úsek a na ose y je hodnota potřebné plochy v m^2 pro dodržování physical distancing.



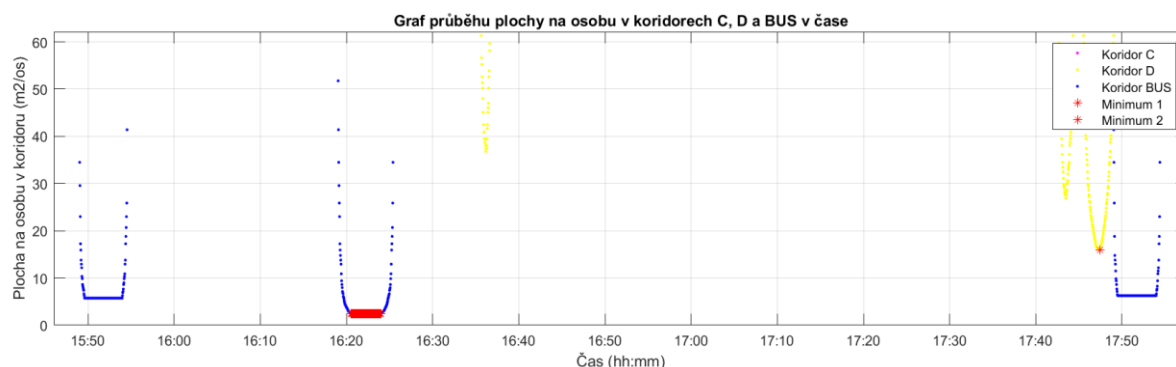
Obrázek 18: Graf vývoje prostorových nároků fronty při aplikaci physical distancing

7.6 Simulace vlivu physical distancing na využití kapacity příletových koridorů

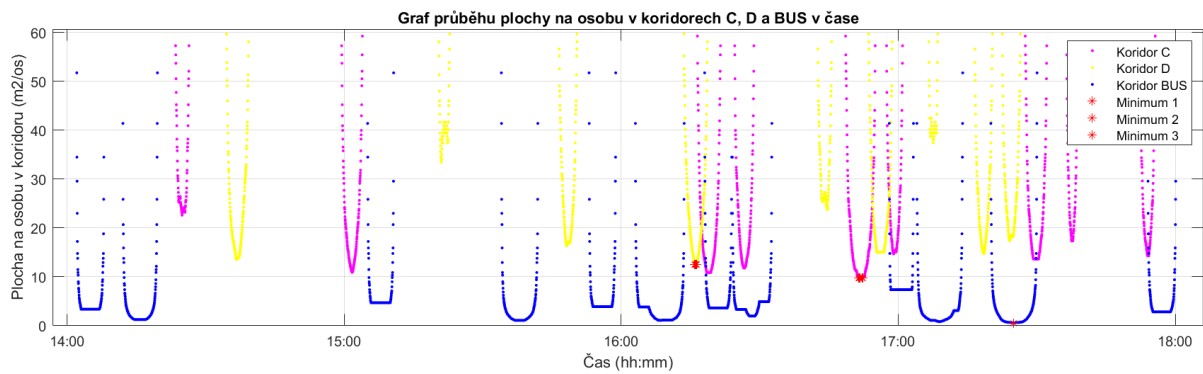
Simulace analyzuje vliv protiepidemického opatření physical distancing na využití kapacity příletových koridorů v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. Simulace byla v naprogramovaném modelu provedena pro letový řád dnů 22. 7. 2020 a 2019 (seřazeno od nižšího letového provozu k vyššímu) od 14:00 do 17:59 hodin. Letový řád roku 2019 simuluje návrat k plnému leteckému provozu z doby před příchodem pandemie. Letový řád pro červenec 2021 obsahuje předpokládané plánované přelety, u kterých nejsou přiřazeny příletové gaty, proto nebylo možné provést porovnání situace v koridorech, ale pouze ve frontě před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví (kapitola 7.7). Reálný letový řád z července 2021 nebylo možné vzhledem k termínu odevzdání diplomové práce využít.

Dne 22. 7. 2020 bylo ve zkoumaném časovém úseku odbaveno šest přilétajících letů, tři byly odbaveny u koridoru D a zbylé tři u koridoru BUS. Nejnižší hodnota plochy na osobu v koridoru D by činila $17,53 \text{ m}^2/\text{os}$, v koridoru BUS by tato hodnota činila $2,49 \text{ m}^2/\text{os}$ (Obrázek 19). Při předpokladu, že plocha $2 \text{ m}^2/\text{os}$ je pro physical distancing mezi osobami dostačující [2], by oba koridory požadavkům vyhověly.

Dne 22. 7. 2019 bylo ve zkoumaném časovém intervalu odbaveno celkem 35 přilétajících letů, z toho deset letů bylo přistaveno ke koridoru C, devět ke koridoru D a 16 ke koridoru BUS. Nejnižší hodnota dosažené plochy na osobu v koridoru C by činila $10,17 \text{ m}^2/\text{os}$, v koridoru D $12,48 \text{ m}^2/\text{os}$ a v koridoru BUS $0,57 \text{ m}^2/\text{os}$ (Obrázek 20). V koridorech C a D by byly dostatečné prostorové možnosti k dodržování physical distancing. V koridoru BUS by physical distancing nebylo možné dodržovat. Plocha tohoto koridoru je malá, zatímco počet odbavených letů u tohoto koridoru byl vysoký.



Obrázek 19: Graf dosažené plochy na osobu v příletových koridorech 22. 7. 2020



Obrázek 20: Graf dosažené plochy na osobu v příletových koridorech 22. 7. 2019

Simulace prokázala, že v koridorech C a D v analyzovaném dnu letového řádu 2020 i 2019 by byly vhodné podmínky pro dodržování physical distancing (*Tabulka 3*). Pro koridor C nemohlo být pro letový řád 2020 provedeno vyhodnocení, protože ve zkoumaném časovém intervalu nebylo k tomuto koridoru přistaveno žádné přilétající letadlo. Vzhledem k malému množství letů, které byly během letního letového řádu 2020 odbaveny, se však dá předpokládat, že v koridoru C by nebyly s dodržováním physical distancing problémy. Problematickým koridorem by mohl být pouze koridor BUS, který ve spojení s letovým řádem pro rok 2019 vykazoval nízké dosažené hodnoty plochy na osobu. Minimum by činilo 0,57 m²/os. V případě, že by se letecký provoz vrátil k plnému provozu z dob před příchodem pandemie, a bylo by současně nezbytné dodržovat physical distancing, bylo by pravděpodobně nevyhnutelné nasadit opatření ke snížení zátěže koridoru BUS.

Tabulka 3: Výsledky simulace physical distancing v příletových koridorech

	Physical distancing v koridoru C	Physical distancing v koridoru D	Physical distancing v koridoru BUS
22. 7. 2020	Nelze stanovit*	Ano	Ano
22. 7. 2019	Ano	Ano	Ne

* Ve zkoumaném časovém úseku nebyl u koridoru C odbaven žádný let

7.7 Analýza vlivu zavedení digitálního COVID certifikátu EU na tvorbu fronty při aplikaci physical distancing

Pro účel analýzy vlivu physical distancing na kapacitu prostoru před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví v Terminálu 2 pražského letiště byl využit letový řád příletů v červenci 2020 a předpokládaný letový řád pro červenec 2021. Cílem bylo analyzovat, jak se projeví rostoucí letový provoz a nový způsob provádění této kontroly na prostorové nároky fronty v příletovém prostoru před kontrolou při aplikaci physical distancing, a jaký to bude mít dopad na tvorbu fronty cestujících před kontrolou. Pro analýzu byl rovněž využit letový řád příletů v červenci 2019, na kterém lze

sledovat vliv zavedení namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví na tok cestujících při návratu k výkonům letecké dopravy z doby před příchodem pandemie.

V modelu byly provedeny celkem tři simulace, z nichž každá je založena na jiném předpokladu způsobu provádění namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví (*Tabulka 4*). V simulacích jsou analyzovány dva typy obslužných míst této kontroly, kdy každý typ kontroly je určen pro jiný segment cestujících (kapitola 3.1). První typ kontroly je určen pro cestující bez digitálního COVID certifikátu EU. Druhý typ kontroly slouží k obsluze cestujících disponujících tímto certifikátem.

První simulace je zaměřena na porovnání letových řádů v letech 2020 a 2021 při využití čtyř obslužných míst, jejichž propustnost činí 180 osob/hod/obslužné místo. U této konfigurace obslužných míst se dá předpokládat tvorba delších front, a tedy větší nároky na potřebnou plochu pro čekající cestující při aplikaci physical distancing. Tento typ kontroly je určen pouze pro cestující bez digitálního COVID certifikátu EU. Do této simulace nebyl zahrnut letový řád z roku 2019, který simuluje návrat k leteckému provozu z doby před příchodem pandemie. Nepředpokládá se, že by při návratu k předcovidovému leteckému provozu byl využíván pouze tento manuální způsob provádění namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví, ale byly by ve větší míře využity digitální COVID certifikáty EU. Druhá simulace modeluje situaci, kdy 57 % cestujících disponuje digitálním COVID certifikátem EU. Způsob odbavení těchto cestujících lze díky využití QR kódu a technologií k jeho zpracování považovat za chytrý. Tito cestující procházejí kontrolou, při které je načten QR kód jejich certifikátu, a tedy doba jejich obsluhy je výrazně nižší než u ostatních cestujících, kteří tento certifikát nemají, a musejí podstoupit manuální způsob kontroly. Poslední simulace pracuje s předpokladem, že 80 % cestujících má digitální COVID certifikát EU, a zbylých 20 % jej nemá. Druhá a třetí simulace byla provedena rovněž pro letový řád z roku 2019, který simuluje vliv kontroly cestujících na tok cestujících při návratu k předcovidovému letovému provozu za dodržování physical distancing.

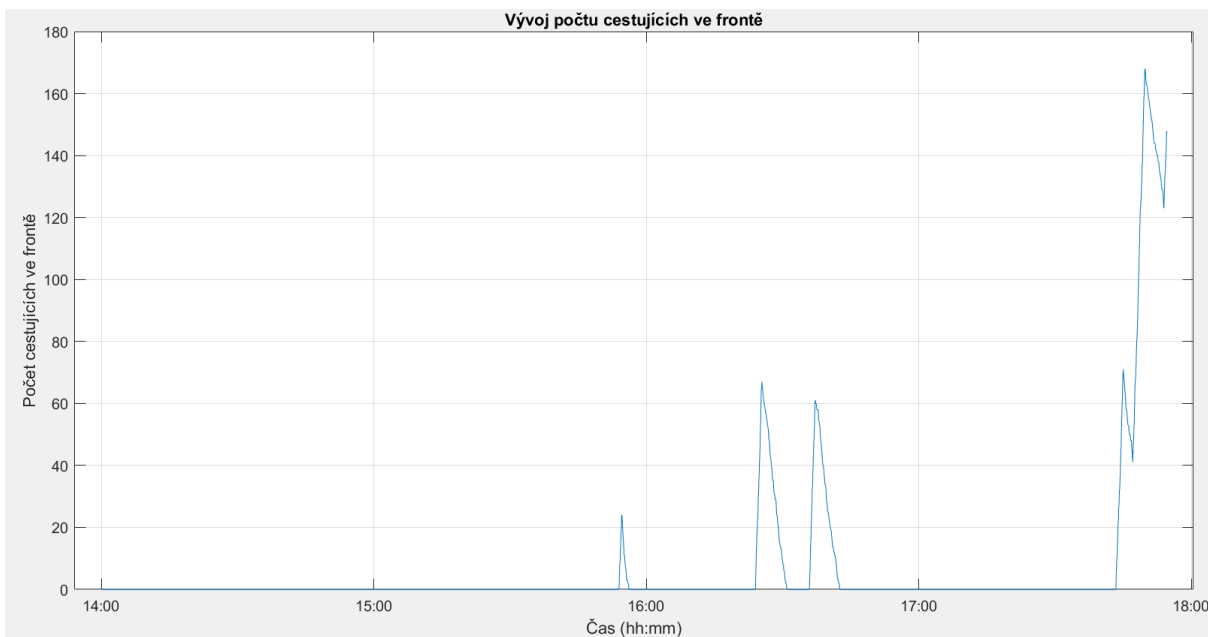
Tabulka 4: Přehled provedených simulací s jednotlivými vstupními parametry

	Manuální obslužná místa (počet obsl. míst x propustnost obsl. místa/hod)	Obslužná místa pro digitální COVID certifikáty EU (počet obsl. míst x propustnost obsl. místa/hod)	Letový řád (seřazeno vzestupně podle počtu přiletů)	Nároky na physical distancing (m ² /os)
Simulace 1 Bez digitálních COVID certifikátů EU	4 x 180	Ne	Červenec 2020	2
			Červenec 2021	
Simulace 2 57 % PAX s digitálním COVID certifikátem EU	3 x 180	1 x 720	Červenec 2020	2
			Červenec 2021	
			Červenec 2019	
Simulace 3 80 % PAX s digitálním COVID certifikátem EU	2 x 180	2 x 720	Červenec 2020	2
			Červenec 2021	
			Červenec 2019	

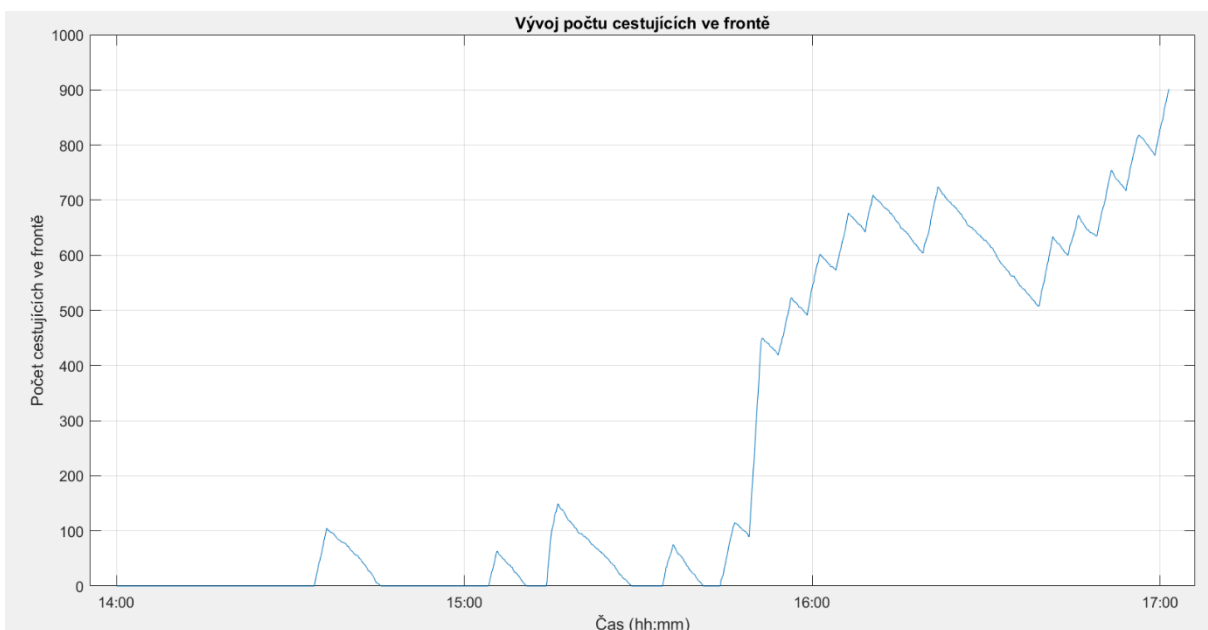
7.7.1 Simulace 1

Tato simulace je zaměřena na detailní analýzu vlivu manuálního způsobu provádění namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví na tvorbu fronty a prostorové nároky cestujících čekajících ve frontě při aplikaci physical distancing. Každé obslužné místo je v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze obsluhováno jedním příslušníkem Policie ČR. Organizace EUROCONTROL předpokládá délku trvání tohoto způsobu provádění kontroly 20 sekund, což odpovídá propustnosti 180 osob/hod/obslužné místo [2]. Pro simulaci jsou uvažována čtyři obslužná místa s touto propustností. Simulace byla provedena pro letový řád dne 22. 7. 2020 a předpokládaný letový řád dne 22. 7. 2021 vždy v časovém úseku od 14:00 do 17:59 hodin. Mezi osobami byly nastaveny časové odstupy v délce 2 sekund.

Při porovnání vývoje počtu cestujících ve frontě vychází, že dne 22. 7. 2020 by se tvořily kratší fronty. Nejvíce osob, téměř 180, by bylo zařazeno ve frontě před 18. hodinou (Obrázek 21). Dne 22. 7. 2021 bylo ve zkoumaném časovém intervalu odbaveno 19 přilétajících letů. Počet cestujících ve frontě by začal před 17. hodinou narůstat, až by dosáhl 901 osob ve frontě (Obrázek 22). V grafu pro letový řád roku 2021 na časové ose není zobrazen celý interval až do 17:59 hodin, protože graf se vykresluje do okamžiku vstupu všech cestujících z posledního letu daného intervalu do fronty. To znamená, že v druhém grafu (Obrázek 22) během poslední hodiny zvoleného intervalu nepřiletělo žádné letadlo.

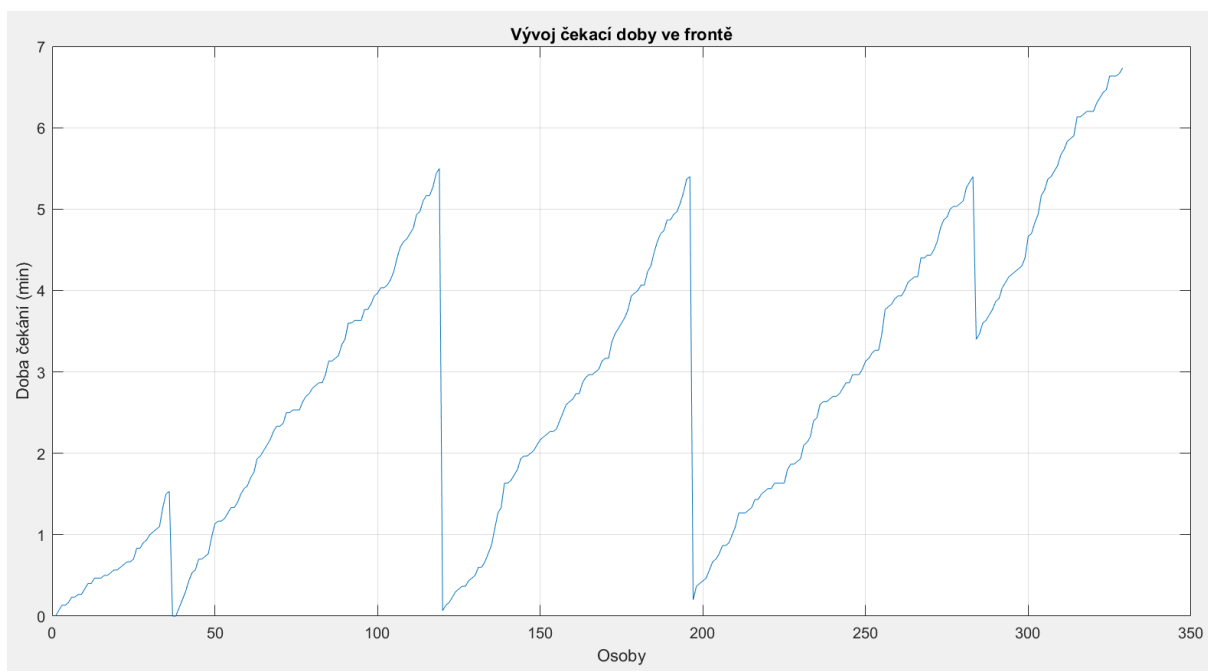


Obrázek 21: Simulace 1 - vývoj počtu cestujících ve frontě 22. 7. 2020

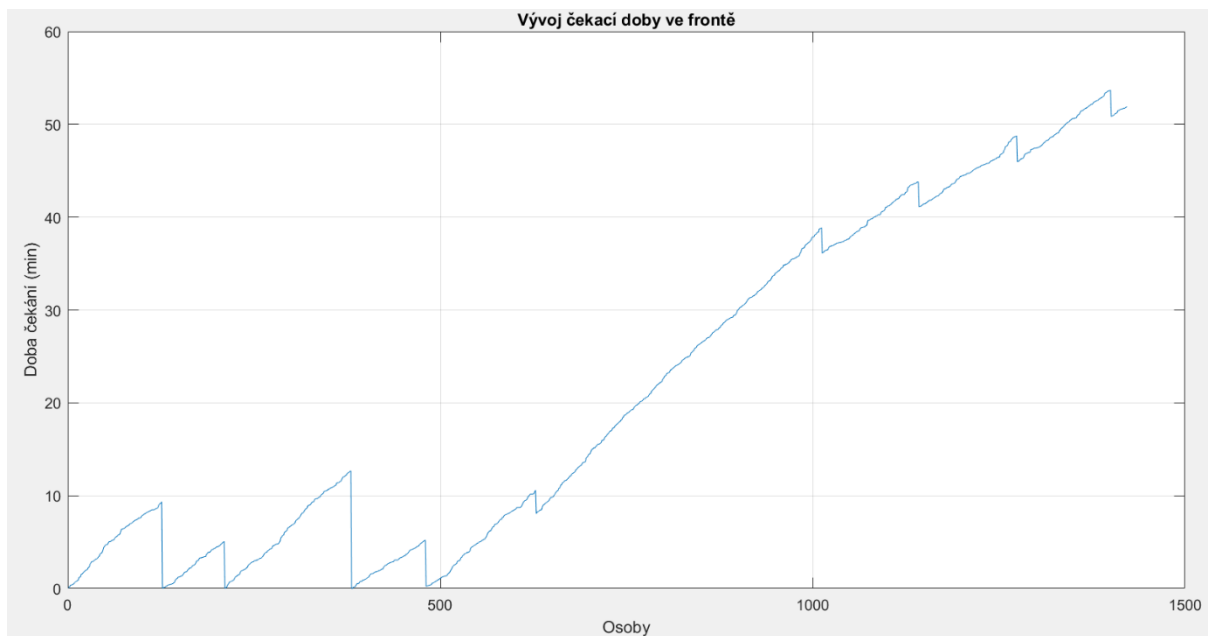


Obrázek 22: Simulace 1 - vývoj počtu cestujících ve frontě 22. 7. 2021

Z porovnání grafů vývoje čekací doby ve frontě vyplývá, že zatímco čekací doba dne 22. 7. 2020 by nepřesáhla 7 minut (Obrázek 23), dne 22. 7. 2021 by čekací doba ve frontě přesáhla 50 minut (Obrázek 24).

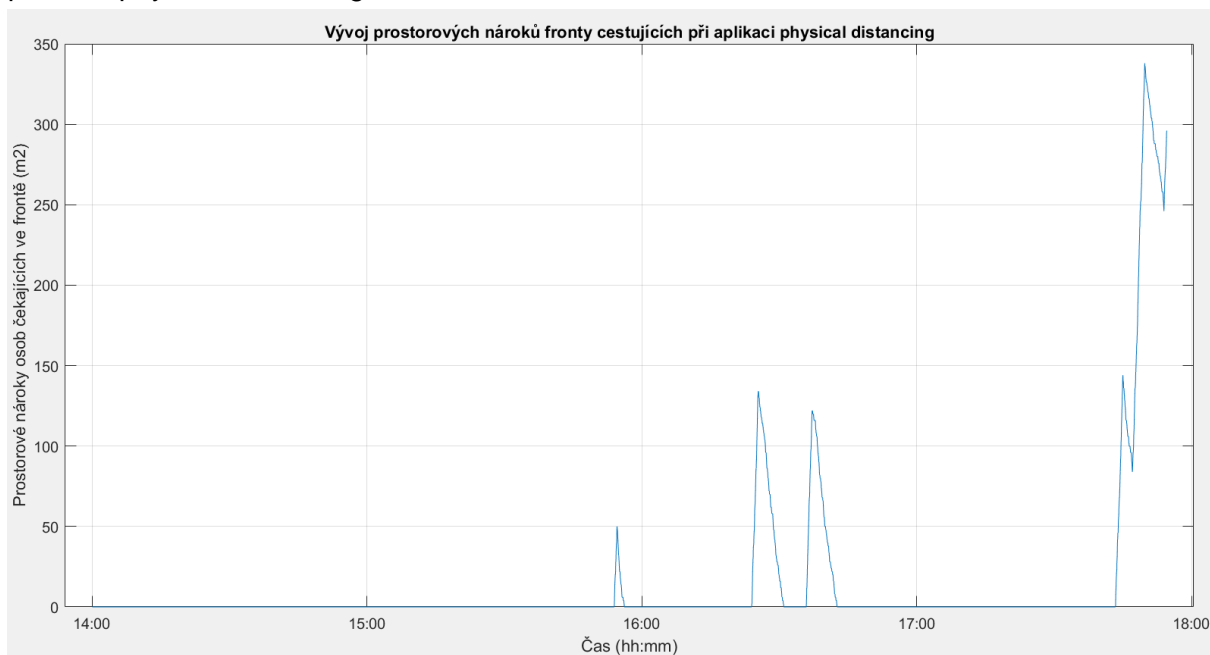


Obrázek 23: Simulace 1 - vývoj čekací doby ve frontě 22. 7. 2020

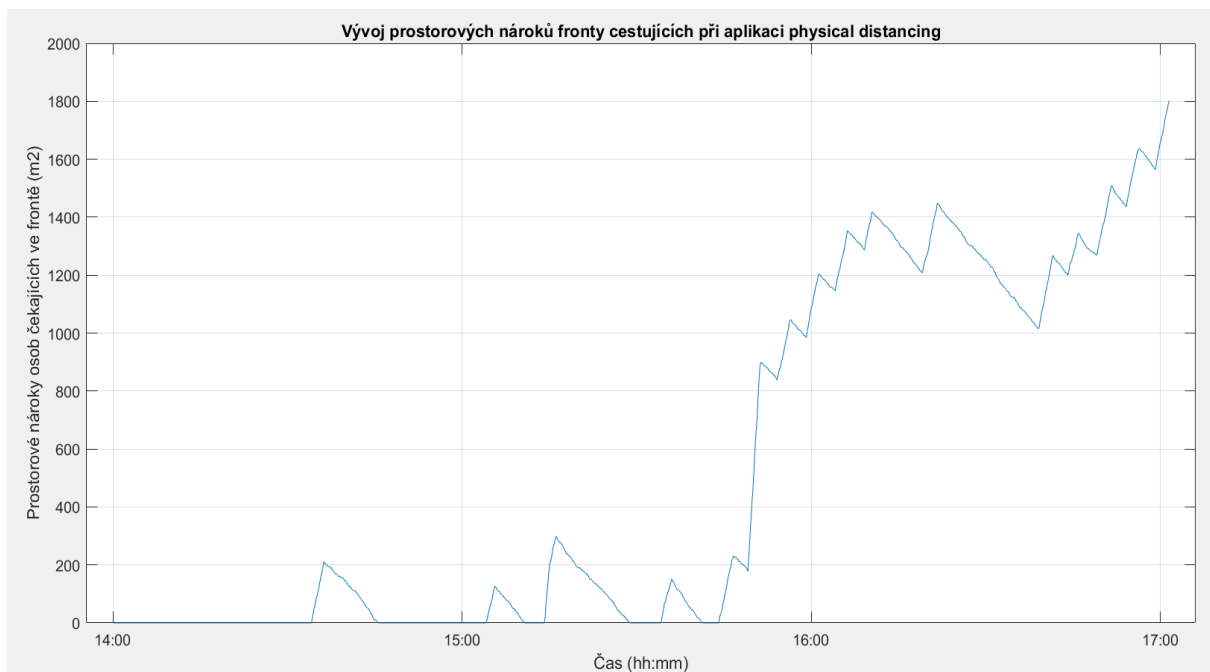


Obrázek 24: Simulace 1 - vývoj čekací doby ve frontě 22. 7. 2021

Z provedené analýzy vývoje prostorových nároků fronty cestujících při dodržování physical distancing 2 m²/os vyplývá, že zatímco během zkoumaného časového úseku dne 22. 7. 2020 by činily maximální prostorové nároky cestujících ve frontě téměř 350 m² (Obrázek 25), o rok později by již tato hodnota činila přes 1 800 m² (Obrázek 26). Jedná se o více než pětinasobný nárůst plochy, kterou by bylo potřeba cestujícím ve frontě poskytnout, aby mohli dodržovat pravidla physical distancing.



Obrázek 25: Simulace 1 – prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2020



Obrázek 26: Simulace 1 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2021

V tabulce jsou shrnuty výsledky analýzy provedené simulace (*Tabulka 5*). Ze simulace vyplynulo, že dne 22. 7. 2020 by ve zkoumaném časovém úseku činily maximální prostorové nároky fronty cestujících při aplikaci physical distancing 336 m². Pro předpokládaný letový řád roku 2021 by prostorové nároky fronty cestujících za stejných vstupních parametrů činily 1 802 m². Z porovnání vyplývá, že situace ve frontě před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví se u letových řádů roků 2020 a 2021 výrazně liší. V roce 2020 byl počet příletů nižší než počet plánovaných příletů v letovém řádu roku 2021, což se projevilo také v nárůstu prostorových nároků fronty před kontrolou.

Tabulka 5: Shrnutí výsledků analýzy simulace 1

	Maximální počet osob ve frontě	Maximální čekací doba	Maximální prostorové nároky fronty při aplikaci physical distancing (m ²)
22. 7. 2020	168	6 min 45 s	336
22. 7. 2021	901	53 min 40 s	1802

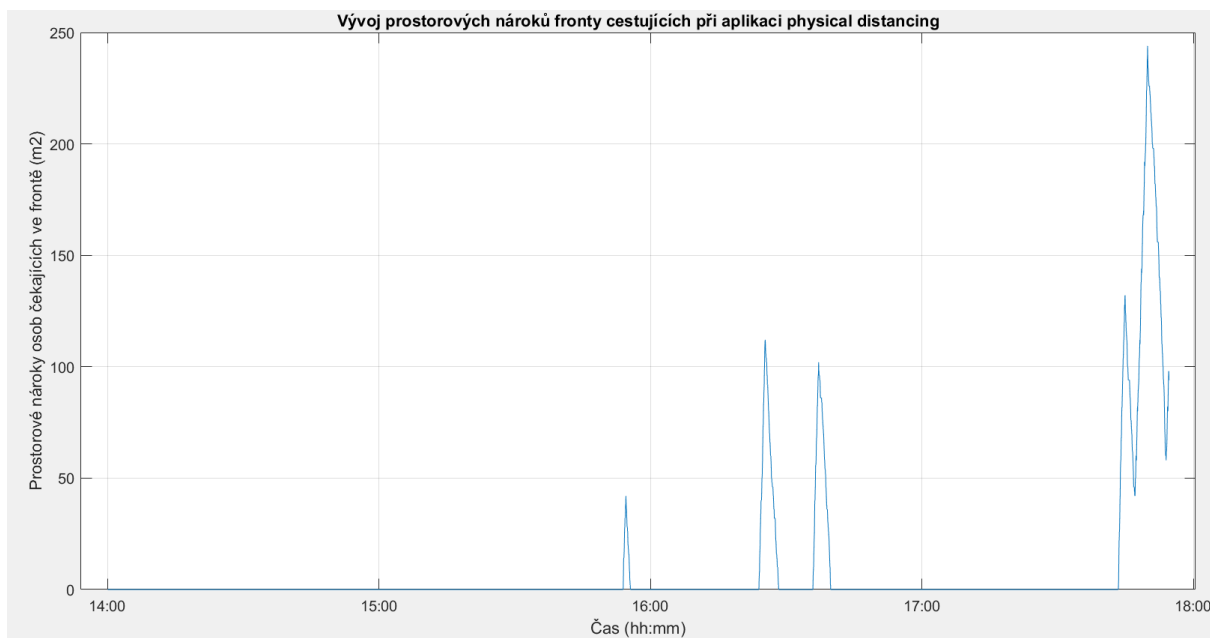
7.7.2 Simulace 2

Tato simulace analyzuje vliv physical distancing na frontu před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví při využití tří pomalých obslužných míst s propustností 180 osob/hod/obslužné místo a jednoho rychlého obslužného místa s propustností 720 osob/hod/obslužné místo pro cestující s digitálním COVID certifikátem EU. Simulace byla provedena pro letový řád dne 22. 7. roků 2020 (nejnižší letecký provoz), 2021 (předpokládaný letový řád) a 2019 (nejvyšší letecký provoz). Letový řád roku 2019 simuluje vliv výše popsané konfigurace obslužných míst kontroly při návratu k leteckému provozu z doby před pandemií.

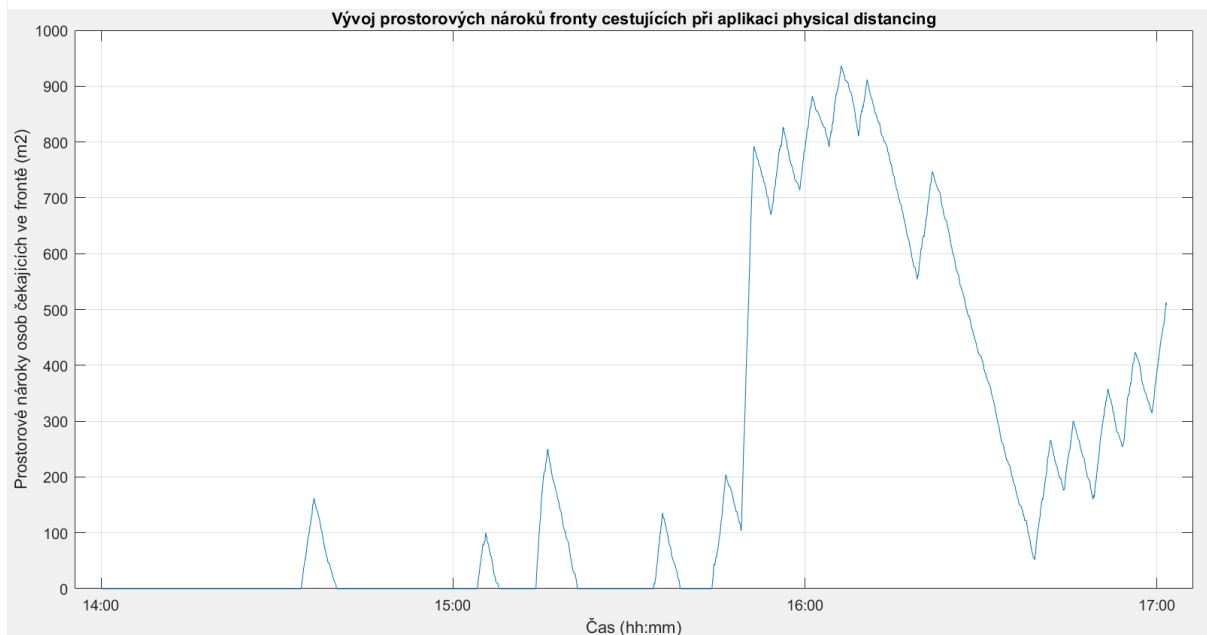
Pro zkoumaný den a časový úsek letového řádu roku 2020 byl zjištěn největší počet 120 cestujících ve frontě a nejvyšší čekací doba by nepřesáhla 5 minut. Pro dodržování physical distancing by cestující potřebovali ve frontě 240 m² plochy (*Obrázek 27*).

Analýza zkoumaného dne a časového úseku předpokládaného letového řádu 2021, který obsahuje o 13 příletů více než stejné období letového řádu roku 2020, prokázala maximální počet 467 cestujících ve frontě a nejdelší čekací dobu 22 minut 8 sekund. Pro potřeby physical distancing cestujících ve frontě by bylo potřeba 934 m² plochy (*Obrázek 28*).

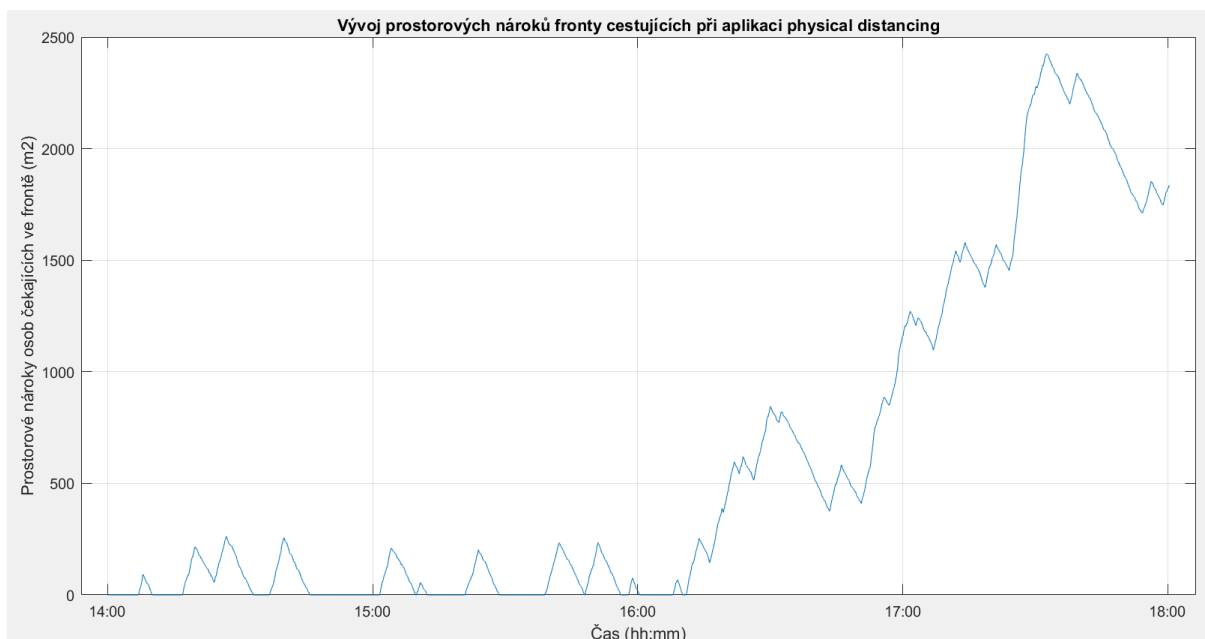
Poslední analýza byla provedena pro stejný den a časový úsek letového řádu pro rok 2019. Vzhledem k tomu, že v analyzovaném období přiletělo ještě o 16 letů více než ve stejném období letového řádu roku 2021, činil by maximální počet cestujících ve frontě 1 212. Nejdelší čekací doba by dosáhla téměř 37 minut. Pro dodržení physical distancing cestujících ve frontě by bylo potřeba 2 424 m² volné plochy (Obrázek 29).



Obrázek 27: Simulace 2 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2020



Obrázek 28: Simulace 2 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2021



Obrázek 29: Simulace 2 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2019

Simulace prokázala, že s postupným nárůstem leteckého provozu se nároky cestujících čekajících ve frontě před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví na plochu umožňující dodržovat physical distancing zvyšují (Tabulka 6). Konfigurace tří obslužných míst s propustností 180 osob/hod/obslužné místo a jednoho obslužného místa s propustností 720 osob/hod/obslužné místo by pro zkoumaný den a časový úsek letového řádu 2020 zaručila maximální čekací dobu, která nepřesahuje 5 minut. Pro předpokládaný letový řád 2021, který již počítá s větším leteckým provozem na letišti, by se maximální čekací doba zvýšila až na 22 minut 8 sekund. V případě letového řádu pro rok 2019 představujícího návrat k počtu letů z období před příchodem pandemie by se čekací doba zvýšila na téměř 37 minut. Rovněž plocha potřebná pro cestující ve frontě při physical distancing se zvyšuje, až by pro letový řád roku 2019 dosáhla hodnoty 2 424 m².

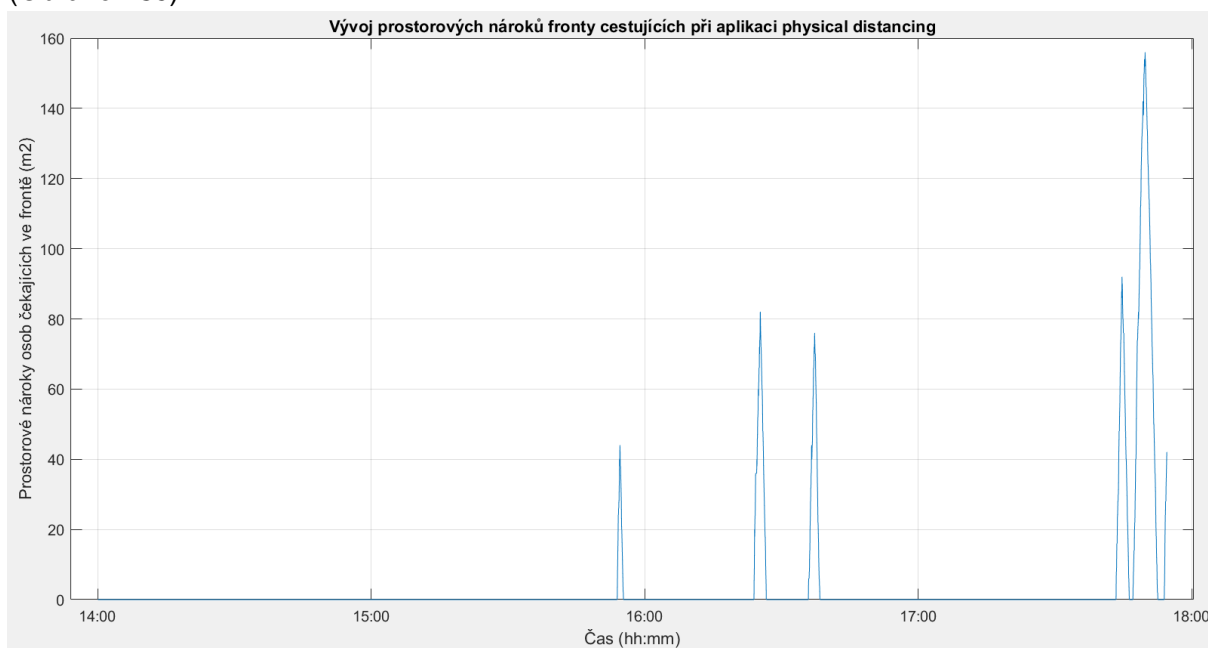
Tabulka 6: Shrnutí výsledků analýzy simulace 2

	Maximální počet osob ve frontě	Maximální čekací doba	Maximální prostorové nároky fronty při aplikaci physical distancing (m ²)
22. 7. 2020	120	4 min 56 s	240
22. 7. 2021	467	22 min 8 s	934
22. 7. 2019	1212	36 min 56 s	2424

7.7.3 Simulace 3

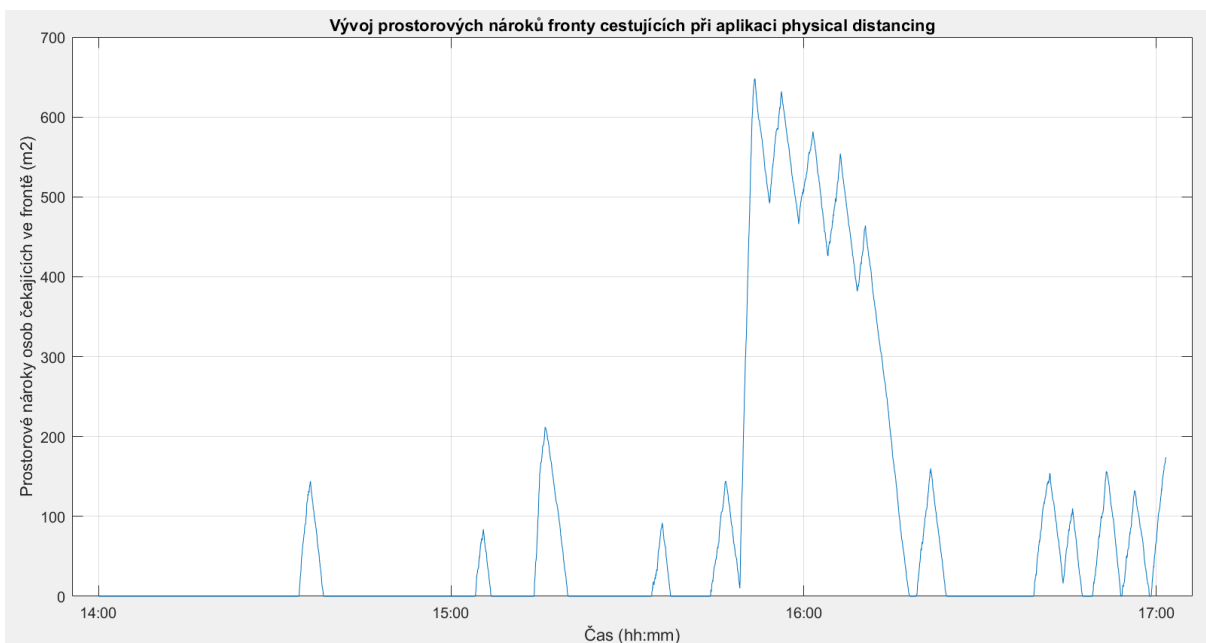
Tato simulace je zaměřena na analýzu vlivu physical distancing ve frontě před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví při využití 2 pomalejších obslužných míst kontroly s propustností 180 osob/hod/obslužné místo a 2 rychlejších obslužných míst s propustností 720 osob/hod/obslužné místo. Předpokladem pro využití této konfigurace obslužných míst je, že 80 % cestujících disponuje digitálním COVID certifikátem EU. Simulace byla provedena pro letový řád dne 22. 7. roku 2020, 2021 a 2019 (seřazeno od nejnižšího leteckého provozu k nejvyššímu).

Výsledky analýzy pro letový řád roku 2020 ukázaly, že před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví by se tvořily jen velmi krátké fronty cestujících. Ve frontě by bylo v jednu chvíli zařazeno maximálně 77 osob, čekací doba by ve zkoumaném časovém úseku nepřesáhla 3 minuty. Aby mohli cestující ve frontě dodržovat physical distancing 2 m²/os [2], potřebovali by k tomu nejvíce 154 m² plochy (Obrázek 30).



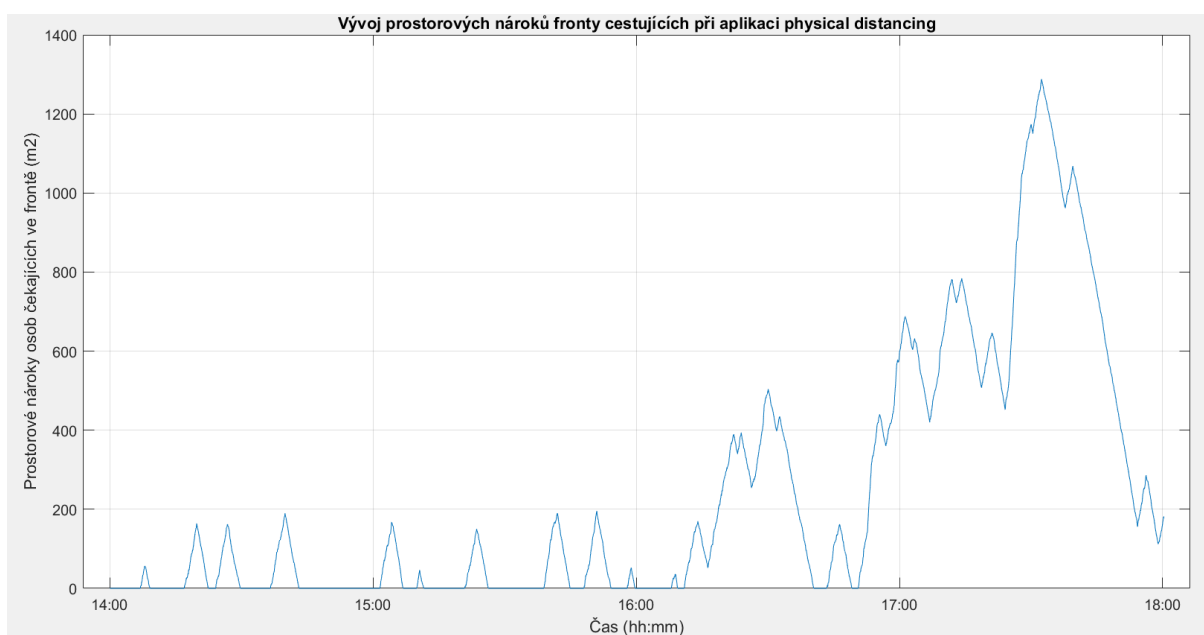
Obrázek 30: Simulace 3 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2020

Analýza předpokládaného letového řádu roku 2021 ukázala, že fronta před kontrolou při výše popsané konfiguraci obslužných míst by se tvořila zejména okolo 16. hodiny, kdy během 30 minut přiletělo osm letů. Nejvyšší počet cestujících ve frontě by činil 324 osob, maximální čekací doba by dosáhla téměř 11 minut. Prostorové nároky v místě před kontrolou by musely činit 648 m², aby cestující mohli dodržovat physical distancing (Obrázek 31).



Obrázek 31: Simulace 3 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2021

Podle analýzy provedené pro letový řád roku 2019, který simuluje návrat k plnému leteckému provozu z období před příchodem pandemie, vychází, že před danou konfigurací obslužných míst by se vlivem většího počtu přilétajících letů před 17. hodinou začala tvořit fronta cestujících, která by okolo 17:30 dosáhla maximální délky 643 cestujících. Cestující by však na odbavení u namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví nemuseli čekat déle než 22 minut. K dodržení physical distancing mezi cestujícími čekajícími ve frontě by bylo třeba 1 286 m² plochy (Obrázek 32).



Obrázek 32: Simulace 3 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2019

Z výsledků simulace vyplývá, že s tím, jak jednotlivé letové řády pro roky 2020, 2021 a 2019 obsahují větší počty příletů, se prostorové nároky fronty cestujících při physical distancing zvyšují (*Tabulka 7*). Analyzovaná konfigurace obslužných míst však pro letové řády roků 2020 a 2021 zaručuje čekací dobu méně než 11 minut. V případě, že by tato konfigurace obslužných míst byla použita v případě návratu k leteckému provozu z doby před pandemií, činila by maximální čekací doba před provedením kontroly 21 minut 12 sekund.

Tabulka 7: Shrnutí výsledků analýzy simulace 3

	Maximální počet osob ve frontě	Maximální čekací doba	Maximální prostorové nároky fronty při aplikaci physical distancing (m ²)
22. 7. 2020	77	2 min 46 s	154
22. 7. 2021	324	10 min 54 s	648
22. 7. 2019	643	21 min 12 s	1286

7.8 Vyhodnocení simulací

V modelu byly provedeny tři simulace, které analyzovaly vliv počtu obslužných míst namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví a jejich propustnosti na vývoj počtu cestujících ve frontě před kontrolou a na prostorové nároky fronty při dodržování physical distancing v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze (*Tabulka 8*). První simulace analyzovala situaci se čtyřmi pomalými obslužnými místy s propustností 180 osob/hod/obslužné místo pro den 22. 7. letového řádu roku 2020 a předpokládaného letového řádu roku 2021. Tato simulace prokázala, že s využitím předpokládaného letového řádu roku 2021 by byl počet osob ve frontě vyšší než 900, a prostorové nároky fronty by při dodržování physical distancing dosáhly 1 802 m². Tyto vysoké hodnoty mohou být sníženy zavedením rychlejších obslužných míst pro cestující disponující digitálním COVID certifikátem EU, jak je analyzováno ve druhé a třetí simulaci.

Druhá simulace analyzovala situaci se třemi pomalými obslužnými místy a jedním rychlým obslužným místem pro cestující s digitálním COVID certifikátem EU, které má propustnost 720 osob/hod/obslužné místo. Z výsledků simulace vyplývá, že tato konfigurace obslužných míst by se na vývoji počtu cestujících ve frontě projevila pozitivně.

Ještě lepších výsledků vývoje fronty by bylo možné dosáhnout při využití 2 pomalých a 2 rychlých obslužných míst kontroly, kdy by se prostorové nároky fronty cestujících při physical distancing pro jednotlivé letové řády ještě výrazně snížily (*Tabulka 8*).

Tabulka 8: Vyhodnocení výsledků simulací

	Simulace 1		Simulace 2		Simulace 3	
	Bez digitálních COVID certifikátů EU		57 % PAX s digitálním COVID certifikátem EU		80 % PAX s digitálním COVID certifikátem EU	
	Max. počet osob ve frontě	Max. prostorové nároky fronty při physical distancing (m ²)	Max. počet osob ve frontě	Max. prostorové nároky fronty při physical distancing (m ²)	Max. počet osob ve frontě	Max. prostorové nároky fronty při physical distancing (m ²)
22. 7. 2020	168	336	120	240	77	154
22. 7. 2021	901	1802	467	934	324	648
22. 7. 2019	-*	-*	1212	2424	643	1286

* Simulace 1 nebyla provedena pro 22. 7. 2019

V následující tabulce (*Tabulka 9*) je procentuálně shrnut vliv zavedení rychlých obslužných míst pro cestující s digitálním COVID certifikátem EU na prostorové nároky fronty cestujících před namátkovou pobytovou kontrolou dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví při dodržování physical distancing. Z vyhodnocení vyplývá, že již předpoklad využití jednoho rychlého obslužného místa (kapitola 7.7.2) by se výrazně pozitivně projevil na prostorových nárocích fronty cestujících čekajících na provedení kontroly. Pro letový řád roku 2021 by byl tento vliv patrnější vzhledem k vyššímu počtu příletů než v letovém řádu roku 2020. Při využití 2 rychlých obslužných míst by byl pokles prostorových nároků ještě vyšší, pro analyzovaný den letového řádu roku 2020 dosahuje 54,2 %, pro letový řád roku 2021 činí 64,0 % a pro letový řád roku 2019 dosahuje 47,0 %.

Tabulka 9: Procentuální vyhodnocení prostorových nároků fronty při aplikaci physical distancing u jednotlivých simulací

	Simulace 1 Bez digitálních COVID certifikátů EU	Simulace 2 57 % PAX s digitálním COVID certifikátem EU	Simulace 3 80 % PAX s digitálním COVID certifikátem EU
22.7.2020	100 %	-28,6 %	-54,2 %
22.7.2021	100 %	-48,2 %	-64,0 %
22.7.2019	-*	100 %	-47,0 %

* Simulace 1 nebyla provedena pro 22. 7. 2019

7.9 Vyhodnocení a validace modelu

K validaci modelu a ověření reálné doby obsluhy jednoho cestujícího u manuálního způsobu provádění namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva zdravotnictví bylo provedeno měření v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. Měření se uskutečnilo dne 30. 6. 2021 ve čtyřhodinovém časovém úseku.

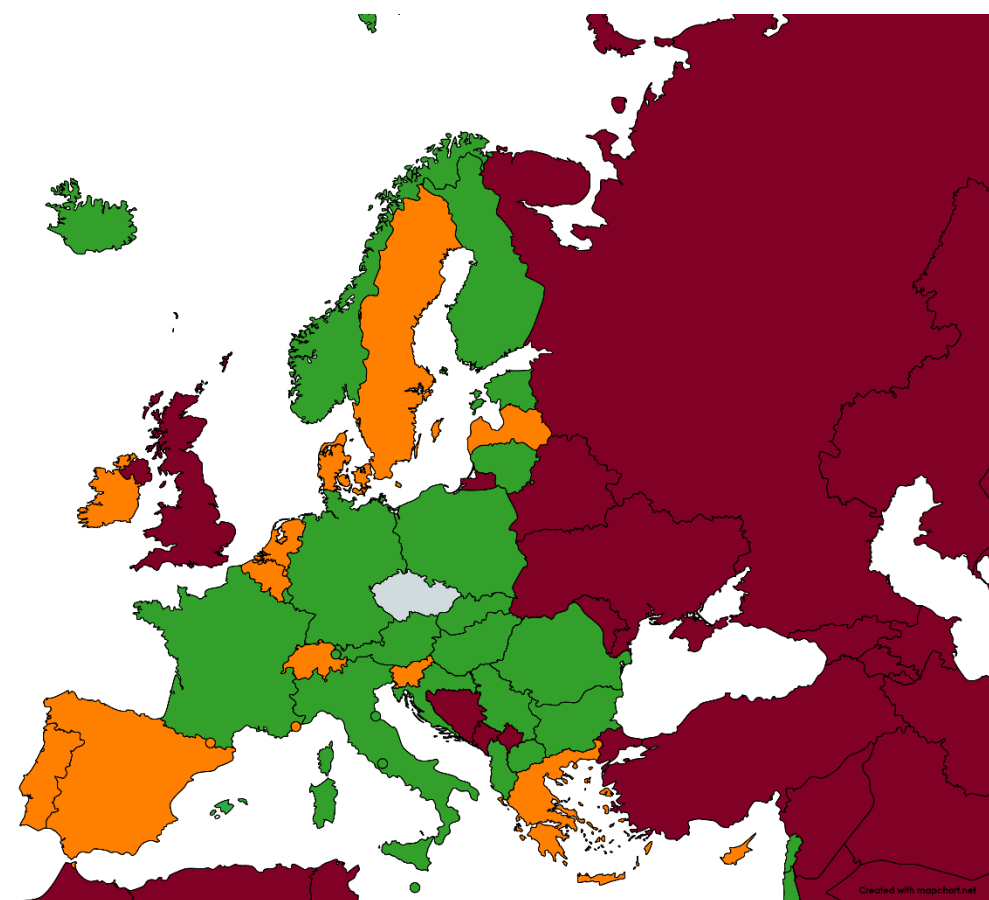
Z naměřených hodnot doby obsluhy jednoho cestujícího byl vypočítán aritmetický průměr. Na základě této hodnoty byla stanovena propustnost obslužného místa za hodinu, která byla následně nastavena jako vstupní parametr do modelu. V době měření byli cestující odbavováni formou manuální kontroly. Validace byla provedena porovnáním výstupů modelu s hodnotami čekací doby naměřenými přímo na místě zkoumání.

Vzhledem k vlivu platných protiepidemických opatření a zařazení jednotlivých zemí do skupiny dle míry rizika nákazy na dobu obsluhy jednoho cestujícího je nutné uvést, jaká pravidla byla platná v den provádění měření.

Do České republiky bylo možné dne 30. 6. 2021 přicestovat bez omezení z kategorie zemí s nízkým rizikem nákazy, která se označuje zelenou barvou. Před návratem ze zemí se středním rizikem nákazy, které jsou vyznačeny oranžovou barvou, platila pro osoby cestující hromadnou dopravou povinnost vyplnit příjezdový formulář a absolvovat antigenní nebo PCR test ještě před návratem do České republiky. Osoby, které se hromadnou dopravou vracely ze zemí s vysokým rizikem nákazy, označovaných červenou barvou, musely před návratem do České republiky vyplnit příjezdový formulář a zároveň měly povinnost podstoupit antigenní nebo PCR test ještě před přiletem do České republiky. Po vstupu na území České republiky museli cestující z těchto zemí podstoupit PCR test do 5 dnů od příjezdu. Do doby výsledku testu museli cestující zůstat v samoizolaci. Cestující ze zemí s velmi vysokým rizikem nákazy, které se označují tmavě červenou barvou, museli vyplnit příjezdový formulář a absolvovat antigenní nebo PCR test ještě před návratem do České republiky. Po přiletu do

České republiky platila pro tyto cestující povinnost podstoupit PCR test, a to nejdříve 5. den a nejpozději 14. den po vstupu na území České republiky. Do doby výsledku testu musely tyto osoby zůstat v samoizolaci [54]. Mapa zemí rozlišených podle míry rizika nákazy je zobrazena v obrázku (Obrázek 33).

Validace modelu byla provedena na třech letech: FR4091 (z Budapešti), LH1396 (z Frankfurtu) a AF1082 (z Paříže). Všechny tři lety přiletěly na Letiště Václava Havla v Praze z letiště v zemi s nízkým rizikem nákazy, tj. zelené kategorie. To však automaticky neznamená, že všichni cestující na palubě měli právo vstoupit na území České republiky bez omezení. Těmito lety mohli přiletět transferoví cestující, jejichž zemí pobytu byla země s vyšší mírou rizika nákazy, a tedy se na ně vztahovaly přísnější podmínky.



Obrázek 33: Země podle míry rizika nákazy dle opatření platných v ČR dne 30. 6. 2021 [54]

V průběhu zkoumání bylo naměřeno 77 hodnot doby obsluhy jednoho cestujícího. Minimální hodnota doby obsluhy byla 1,53 sekundy, maximální hodnota činila 113,56 sekund. V den měření za výše popsaných protiepidemických opatření, která byla ke dni 30. 6. 2021 platná, činila průměrná doba obsluhy jednoho cestujícího 10,44 sekund na základě výpočtu z naměřených dat. Tato doba obsluhy jednoho cestujícího odpovídá propustnosti 345 cestujících za hodinu u jednoho obslužného místa. Během měření na místě provádění namátkové pobytové kontroly dodržování protiepidemických opatření Ministerstva

zdravotnictví bylo ke každému z přilétajících letů zjištěno, jaká je nejvyšší čekací doba cestujících z daného letu ve frontě před kontrolou. V modelu byla provedena simulace pro stejný den a časový úsek a následně byl model validován porovnáním výstupu simulace s reálně naměřenými hodnotami.

Simulace byla provedena pro zjištění vývoje fronty cestujících ze tří letů, které na Terminál 2 Letiště Václava Havla v Praze přiletěly dne 30. 6. 2021 v časovém úseku mezi 12:00 a 15:59 hodin. Výstupy byly simulovány pro čtyři obslužná místa s propustností 345 osob/hod/obslužné místo. Mezi cestujícími byly nastaveny časové odstupy 2 sekundy a pro physical distancing byl zvolen předpoklad 2 m²/os [2]. Výsledky validace jsou shrnuty v následující tabulce (*Tabulka 10*).

Tabulka 10: Výsledky validace modelu

	Čekací doba cestujících letu FR4091	Čekací doba cestujících letu LH1396	Čekací doba cestujících letu AF1082
Výstupy simulace	3 min 24 s	2 min 8 s	2 min 4 s
Reálné hodnoty	3 min	2 min	2 min
Rozdíl reálných hodnot od výstupů simulace	-11,77 %	-6,25 %	-3,23 %

Limitace modelu, která způsobuje, že v simulaci vycházejí delší čekací doby cestujících ve frontě, spočívá v předpokladu, že u kontroly jsou cestující odbavováni jednotlivě. Během měření na letišti bylo zjištěno, že pasažéři, kteří cestují v jedné skupině, jsou u kontroly nezřídka odbaveni společně. V realitě dále ovlivňují odbavování cestujících u kontroly různé nesystematické vlivy, které v modelu není možné postihnout, jako například měnící se doba obsluhy jednoho cestujícího u obslužného místa. Vezmou-li se v potaz tyto limitace, validace prokázala, že odchylka reality od modelu dosáhla průměrně -7,08 %.

8. Diskuse

Pro ověření možnosti aplikace physical distancing na letištích byly v programovém prostředí Matlab vytvořeny dva modely. První model byl navržen tak, aby jej bylo možné uplatnit na letištích obecně. Druhý naprogramovaný model je zaměřen na Terminál 2 Letiště Václava Havla v Praze a umožňuje oproti prvnímu modelu navíc simulaci vlivu physical distancing na prostorové nároky fronty před novou kontrolou přilétajících cestujících, kterou bylo kvůli pandemii nemoci COVID-19 potřeba zavést. Model rovněž umožňuje posouzení vlivu zavedení rychlejších obslužných míst pro cestující, kteří disponují digitálním COVID certifikátem EU, na vývoj délky fronty a na prostorové nároky fronty při dodržování physical distancing.

Ve vytvořeném modelu pro Terminál 2 Letiště Václava Havla v Praze byly provedeny simulace vlivu physical distancing na využití kapacity příletových koridorů a prostorových nároků fronty při aplikaci opatření physical distancing pro stejný den tří různých letových řádů roků 2020, 2021 a 2019. Letový řád roku 2019 simuluje návrat k leteckému provozu z doby před příchodem pandemie a je možné na něm ověřit, jak by současná protiepidemická opatření ovlivnila tok přilétajících cestujících příletovými prostory, a jak velké prostory by byly nezbytné pro aplikaci physical distancing.

Provedené simulace prokázaly, že pro aplikaci physical distancing by byly v příletových koridorech C a D pro stejný den letových řádů roků 2020 a 2019 vhodné podmínky. V koridoru BUS by bylo možné physical distancing dodržovat pro letový řád roku 2020. V případě letového řádu pro rok 2019 by bylo u tohoto koridoru dosaženo minimálních hodnot plochy na osobu menších než bezpečná plocha $2 \text{ m}^2/\text{os}$, stanovená organizací EUROCONTROL. Tento koridor je specifický tím, že jeho plocha je v porovnání s koridory C a D menší, a počet příletů u tohoto koridoru je vysoký, neboť jsou zde odbavováni cestující z letů odstavených na vzdálených stánkách letadel. K eliminaci rizika nákazy v koridoru BUS lze doporučit aplikaci opatření, která by například umožňovala cestující do koridoru vpouštět až po jeho vyprázdnění, nebo dopravit cestující z letadel ke koridorům C a D, kde výstupy modelu prokázaly příznivější podmínky pro dodržování physical distancing. Tok cestujících v příletových koridorech Terminálu 2 pražského letiště je považován za dynamický, což bylo ověřeno i při fyzické návštěvě příletových koridorů. V určitých případech, obzvláště při simulaci vlivu příletové kontroly cestujících prováděné výhradně pomalými obslužnými místy pro cestující bez digitálních COVID certifikátů EU za plného leteckého provozu, by mohlo dojít k hromadění cestujících ve frontě, která by následně mohla zasahovat až do příletových koridorů. Nepředpokládá se však, že by tato situace měla nastat, protože při případném návratu leteckého provozu k hodnotám z doby před pandemií by již řada cestujících využívala digitální

COVID certifikáty EU, které umožňují rychlejší odbavení cestujících. Nabízí se rovněž možnost, že při návratu k plnému leteckému provozu již budou uplatňovány zcela nové nástroje a postupy, které nebudou způsobovat zpomalení toku cestujících, a následnou tvorbu kongesce, nebo nebude nutné vzhledem k pozitivnímu vývoji pandemické situace uplatňovat žádná protiepidemická opatření. V takovém případě by tok cestujících nebyl vůbec zpomalován a situace by se vrátila do podoby před příchodem pandemie.

Výstupy simulací prokázaly, že v případě návratu k leteckému provozu z doby před pandemií by kontrola prováděná třemi pomalejšími obslužnými místy a jedním rychlejším obslužným místem pro cestující s digitálním COVID certifikátem EU způsobila vznik fronty cestujících, kteří by k dodržování physical distancing vyžadovali plochu téměř 2 500 m² (kapitola 7.7.2). Doba odbavení této fronty by činila téměř 37 minut. Pokud by cestující měli k dispozici dvě pomalejší a dvě rychlejší obslužná místa, bylo by pro cestující ve frontě potřeba pouze 1 286 m², a tedy zavedení jednoho rychlejšího obslužného místa navíc by se projevilo v poklesu potřebné plochy pro cestující dodržující physical distancing o 47 %. Doba odbavení této fronty by činila necelých 22 minut, jedná se o časovou úsporu 15 minut.

Pozitivní vliv zavedení vyššího počtu rychlejších obslužných míst pro cestující s digitálním COVID certifikátem EU lze ukázat rovněž na letovém řádu pro rok 2021. V první simulaci, kdy žádní cestující nedisponují tímto certifikátem, a jsou tedy odbavováni výhradně u pomalejších obslužných míst, bylo dosaženo maximálních prostorových nároků fronty při dodržování physical distancing v hodnotě 1 802 m². Druhá simulace provedená pro tři pomalejší obslužná místa a jedno rychlejší obslužné místo pro cestující disponující digitálním COVID certifikátem EU prokázala, že maximální prostorové nároky fronty za předpokladu dodržování physical distancing by se snížily na 934 m², což znamená pokles o 48,2 %. Třetí simulace uvažovala dvě pomalejší a dvě rychlejší obslužná místa. V takové situaci by maximální prostorové nároky fronty při aplikaci physical distancing činily pouhých 648 m². Zavedení dvou pomalejších a dvou rychlejších obslužných míst by snížilo prostorové nároky fronty cestujících o 64 % oproti stavu bez digitálních COVID certifikátů EU.

V případě, že by se počet rychlejších obslužných míst pro cestující s digitálním COVID certifikátem zvýšil, fronta by se odbavovala rychleji, a také její nároky na prostor by se snížily, což je pro letiště jedním z hlavních cílů, neboť letiště nebyla pro dodržování physical distancing navrhována. Na základě výstupů simulací lze zhodnotit, že digitální COVID certifikáty EU mají na tvorbu fronty a míry prostorových nároků fronty cestujících při dodržování physical distancing výrazně pozitivní vliv. Pro letový řád roku 2020 by zavedení dvou obslužných míst pro cestující disponující tímto certifikátem snížilo prostorové nároky fronty při aplikaci physical distancing o 54,2 % oproti stavu bez digitálních COVID certifikátů EU. Pro letový řád roku 2021

by pokles činil 64 %. Z výsledků simulací vyplývá, že diferenciací cestujících podle vlastnictví digitálního COVID certifikátu EU, popsaná v kapitole 3.1, by tedy mohla najít v řízení letištního provozu své významné uplatnění. Pokud se bude letecká doprava rychle zotavovat z pandemické krize a bude i nadále potřeba aplikovat protiepidemická opatření a dodatečné kontroly cestujících, měl by být kladen důraz na co nejvyšší preferenci využívání digitálních COVID certifikátů EU s ohledem na rychlejší čas odbavení jednoho cestujícího prostřednictvím načtení QR kódu z certifikátu cestujícího. Právě digitální COVID certifikáty EU jsou jedním z chytrých nástrojů, které mají potenciál umožnit dosažení propustnosti letištních koridorů a prostorů jako v době před příchodem pandemie i v případě zachování dodatečných kontrol cestujících, jak prokázaly simulace provedené v této diplomové práci.

Model slouží k ověřování simulací scénářů s využitím rozdílných vstupních parametrů, například různých letových řádů, požadavků na physical distancing nebo počtu a propustnosti obslužných míst kontroly. V případě, že simulace prokáže, že počet cestujících v příletových prostorách letiště převyšuje jejich kapacitu, je možné využít některé z chytrých technologií, popsané v kapitole 5, které mohou pomoci s efektivnějším využíváním prostorů terminálu. Jedná se především o technologie, které monitorují míru využití kapacity vybraných prostorů, především v letištních rezervoárech⁷, například v prostoru před příletovou kontrolou cestujících nebo v odletových čekárnách. Na základě výsledků monitorování lze například aplikovat technologii zobrazující přilétajícím cestujícím aktuální a předpokládanou čekací dobu před kontrolou. Pokud by byla fronta dlouhá a nebylo by možné v ní dodržovat physical distancing, bylo by možné cestující motivovat tak, aby raději strávili nějaký čas nakupováním, stravováním nebo byli jinak zvýhodněni například prostřednictvím slevového kuponu v letištní mobilní aplikaci, než aby se šli rovnou zařadit do fronty.

Model by mohl být na letišti prakticky využit a mohl by být postupně doplňován o nové funkce, které by zohledňovaly vývoj provozních požadavků letiště. Práci by bylo možné dále rozvíjet v oblasti podrobnějšího statistického prozkoumání odchylek modelu a reality.

⁷ Rezervoáry jsou letištním subsystémem zahrnujícím čekárny a místa, kde se hromadí čekající cestující [20].

9. Závěr

Problematika koncepce Smart Airport a vlivu protiepidemických opatření na tok cestujících v příletových prostorách letišť je v současné době velmi aktuální. Cílem této diplomové práce je propojit tyto oblasti a prozkoumat možnosti jejich vzájemného působení. S příchodem pandemie nemoci COVID-19 se projevila potřeba nových provozních požadavků letišť souvisejících s nutností aplikace protiepidemických opatření. Z tohoto důvodu se dal očekávat vznik nových nástrojů pro zjednodušení cestování. Příkladem takového nástroje se stal digitální COVID certifikát EU zavedený v červenci 2021. Tento certifikát lze vzhledem k charakteru přenosu informací prostřednictvím QR kódu zařadit k prvkům koncepce Smart Airport. Pro potřeby diplomové práce byl naprogramován model, který zkoumá vliv zavedení obslužných míst příletové kontroly cestujících disponujících digitálním COVID certifikátem EU na možnosti aplikace physical distancing a na prostorové nároky fronty cestujících před touto kontrolou při dodržování physical distancing. K této zcela nové problematice je prozatím dostupných relativně málo informací a nástrojů. Diplomová práce proto nabízí možnosti řešení současných provozních požadavků letišť prostřednictvím simulací a chytrých technologií v podobě QR kódů, které představují první krok pro integraci do technologie Single Token.

Diplomová práce je zaměřena na fenomén Smart Airport, který vychází z koncepce Smart Cities. Vzhledem k rychlému rozvoji, jakým v současné době Smart Airport prochází, se dá předpokládat, že prvky této koncepce najdou zcela jistě využití při zvyšování protipandemické odolnosti letišť, která je jednou z multikriteriálních funkcí letiště. První část práce se zabývá definicí a hlavními cíli koncepce Smart Airport. Dále je tato část práce věnována vývoji a klasifikaci Smart Airport podle úrovně technologické vyspělosti a architektury této koncepce. V práci jsou analyzovány současné provozní požadavky letiště, které vyplývají z výskytu pandemie onemocnění COVID-19, a nutnosti zavést protiepidemická opatření ke snížení míry rizika přenosu nemoci na letišti. Dále je věnován prostor popisu problematiky současné diferenciaci cestujících a nově identifikovaných segmentů, návrhu diferenciaci cestujících na základě vlastnictví digitálního COVID certifikátu EU a návrhu diferenciaci podle míry rizika nákazy v zemi odletu cestujících. Diferenciaci cestujících podle vlastnictví digitálního certifikátu EU slouží rovněž jako jeden ze vstupních předpokladů pro vytvoření modelu pro analýzu physical distancing. Práce rovněž popisuje možnosti využití prvků koncepce Smart Airport při změnách procesů na letišti souvisejících s protiepidemickými opatřeními a analyzuje nejvýznamnější technologie Smart Airport v boji proti pandemii včetně případových studií implementace jednotlivých technologií na konkrétních světových letištích.

Hlavní přínos práce spočívá ve vytvoření dvou modelů pro analýzu physical distancing na letištích naprogramovaných v prostředí Matlab. První model je určen pro analýzu možností

dodržování principů physical distancing v příletových koridorech na letištích obecně. Model je možné využít pro letiště s různou konfigurací příletových koridorů a gatů.

Druhý model je situován do prostředí příletových prostorů Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze. V uživatelském rozhraní je možné měnit vstupní parametry modelu, například propustnost jednotlivých typů obslužných míst nebo požadovanou plochu na osobu potřebnou k dodržování physical distancing. Model umožňuje provádění detailních simulací toků cestujících příletovými koridory a zabývá se také vlivem zavedení příletové kontroly na tvorbu fronty cestujících před touto kontrolou a na prostorové nároky fronty při dodržování physical distancing. K řešení problematiky vzniku front před kontrolou byla využita teorie hromadné obsluhy. V modelu je možné analyzovat vliv dvou typů obslužných míst této kontroly, které mají odlišnou propustnost cestujících. Uplatňuje se zde diferenciacce cestujících podle vlastnictví digitálního COVID certifikátu EU navržená v kapitole 3.1. Tento certifikát je jedním z chytrých nástrojů umožňujících rychlejší odbavení cestujících u kontroly. Byly provedeny tři simulace, které jsou detailně popsány v kapitole 7.7.

Provedené simulace prokázaly, že prostorové nároky fronty cestujících při dodržování physical distancing před kontrolou by se pro analyzovaný den letového řádu pro rok 2021 v Terminálu 2 Letiště Václava Havla v Praze snížily o 64 % za předpokladu, že 80 % cestujících by disponovalo digitálním COVID certifikátem EU. Je možné stanovit, že za předpokladu, kdy by 80 % cestujících disponovalo tímto certifikátem, lze physical distancing v prostorách před kontrolou dodržovat. U jiných simulací, provedených v této diplomové práci, se toto nedá vzhledem k dokumentům a informacím, které byly v době psaní diplomové práce k dispozici, s jistotou stanovit. Z tohoto důvodu byly výstupy simulací posuzovány z hlediska vlivu digitálních COVID certifikátů na prostorové nároky fronty před kontrolou. Z výsledků simulací vyplývá, že zavedení digitálních COVID certifikátů EU má výrazně pozitivní vliv na vývoj délky fronty cestujících před kontrolou. Tyto certifikáty mají potenciál zvýšit propustnost letiště, zlepšit podmínky pro dodržování physical distancing a umožnit návrat leteckého provozu k hodnotám z doby před příchodem pandemie. Model byl validován porovnáním výstupů simulací s reálnými parametry naměřenými přímo v místě řešení. Validace prokázala, že odchylka reality od naprogramovaného modelu činila -7,08 %, což se vzhledem k různým nesystematickým vlivům, které průběh tvorby fronty cestujících v realitě ovlivňují, dá považovat za úspěšný výsledek.

Seznam použité literatury

- [1] Evropská komise, „Digitální certifikát EU COVID,“ 2021. [Online]. [cit. 2021-07-02]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/safe-covid-19-vaccines-europeans/eu-digital-covid-certificate_cs
- [2] EUROCONTROL, „Impact Assessment Of COVID-19 Measures on Airport Performance,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/impact-assessment-covid-19-measures-airport-performance>
- [3] Burns & McDonnell, „New Technology is Taking Off,“ 2016. [Online]. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.burnsmcd.com/insightsnews/publications/benchmark/2016-no-3/new-technology-is-taking-off>
- [4] M. Svítek, V. Řehoř, P. Vittek, a T. Dvořáková, „Smart Airports - Developing Demand Side System Services,“ in 2021 Smart City Symposium Prague (SCSP), 2021, doi: 10.1109/scsp52043.2021.9447382 [Online]. [cit. 2021-06-30]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1109/SCSP52043.2021.9447382>
- [5] European Green Vehicles Initiative, „Sustainable and Smart Mobility Strategy – European Transport on Track for the Future,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-06-30]. Dostupné z: <https://egvi.eu/mediaroom/sustainable-and-smart-mobility-strategy-european-transport-on-track-for-the-future/>
- [6] D. Coll (ACI Insights), „Defining Customer Experience: How Airports Can Own the Passenger Journey,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://blog.aci.aero/defining-customer-experience-how-airports-can-own-the-passenger-journey/>
- [7] M. Miller *et al.*, „A Primer to Prepare for the Connected Airport and the Internet of Things,“ 2019. [Online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/338488031_A_Primer_to_Prepare_for_the_Connected_Airport_and_the_Internet_of_Things_httpwwwtrborgMainBlurbs178306aspx
- [8] Y. Wang, J. Zhan, X. Xu, L. Li, P. Chen, a M. Hansen, „Measuring the resilience of an airport network,“ Chinese Journal of Aeronautics, roč. 32, č. 12, s. 2694–2705, pro. 2019, doi: 10.1016/j.cja.2019.08.023. [Online]. [cit. 2021-02-10] Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cja.2019.08.023>
- [9] Tomorrow City, „Is This the End of Control Tower? This is What Smart Airports Look Like,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://tomorrow.city/a/smart-airports/>

- [10] M. Blondel, M. Zintel, H. Suzuki *et al.*, „Airports 4.0: Impact of Digital Transformation on Airport Economics,“ 2015. [Online]. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/2015-05-Arthur_D_Little_T_T-Impact_of_Digital_on_Airport_Business_Model.pdf
- [11] Business Traveller, „Alitalia Launches Covid-free Flights Between Rome and New York,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.businesstraveller.com/business-travel/2020/12/07/alitalia-launches-flights-to-new-york/>
- [12] Airport Urbanism, „What is a Smart Airport?,“ 2019. [Online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: <https://airporturbanism.com/articles/what-is-a-smart-airport>
- [13] J.-B. Nau, F. Benoit (Wavestone), „Smart Airport: How Technology is Shaping the Future of Airports,“ 2017. [Online]. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.wavestone.com/app/uploads/2017/12/Smart-Airport-2017.pdf>
- [14] A. Rajapaksha a Dr. N. Jayasuriya, „Smart Airport: A Review on Future of the Airport Operation,“ GJMBR, s. 25–34, 2020, doi: 10.34257/gjmbravol20is3pg25. [Online]. [cit. 2021-01-16]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.34257/GJMBRAVOL20IS3PG25>
- [15] IATA, „One ID,“ [Online]. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/programs/passenger/one-id/>
- [16] ACI Europe, „Guidelines for a Healthy Passenger Experience at Airports,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/downloads/publications/ACI%20EUROPE%20GUIDELINES%20FOR%20A%20HEALTHY%20PASSENGER%20EXPERIENCE%20AT%20AIRPORTS.pdf>
- [17] The Lancet Respiratory Medicine, „COVID-19 Transmission Up In the Air,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: [https://www.thelancet.com/journals/lanres/article/PIIS2213-2600\(20\)30514-2/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanres/article/PIIS2213-2600(20)30514-2/fulltext)
- [18] EASA & ECDC, „COVID-19 Aviation Health Safety Protocol,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/EASA-ECDC_COVID-19_Operational-guidelines-for-management-of-passengers-issue-2.pdf
- [19] M. Hussey (ACI Insights), „Physical Distancing Measures in Airports – Taking Steps In the Right Direction,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://blog.aci.aero/physical-distancing-measures-in-airports-taking-steps-in-the-right-direction/>
- [20] R. Ščurek, „Studie analýzy rizika protiprávních činů na letišti“, 2009. Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava [Online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z:

https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/060/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/analyzy_rizika_letisti.pdf

[21] Global Barometer, „Consumer Reactions to COVID-19,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: https://tolunacorporate.com/wp-content/uploads/2020/07/04_globalbarometer_wave4.pdf

[22] Accenture, „How Will COVID-10 Change the Retail Consumer?,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-125/Accenture-COVID-19-Retail-Consumer-Resarch-Wave-Four-POV.pdf

[23] L. Blanchly, „Airports Must Prepare For ‘A Different Type of Traveler‘ After COVID,“ 2020. Aviation Week [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://aviationweek.com/air-transport/airports-routes/airports-must-prepare-different-type-traveler-after-covid?elq2=6f704ffe9cab4e6b9540fa9d3f8e7ece>

[24] ICAO, „Guidelines for Air Travel through the COVID-19 Public Health Crisis“. [Online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.icao.int/covid/cart/Pages/CART-Take-off.aspx>

[25] U.S. Departments of Transportation, Homeland Security, and Health and Human Services, „Runway to Recovery: The United States Framework for Airlines and Airports to Mitigate the Public Health Risks of Coronavirus,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-07/Runway_to_Recovery_07022020.pdf

[26] European Commission, „Travel During the Coronavirus Pandemic,“ 2021. [Online]. [cit. 2021-07-15]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/travel-during-coronavirus-pandemic_en

[27] Ministerstvo zdravotnictví České republiky, „Seznam zemí podle míry rizika nákazy,“ 2021. [cit. 2021-07-15]. Dostupné z: <https://koronavirus.mzcr.cz/seznam-zemi-podle-miry-rizika-nakazy/>

[28] M. Drljača, I. Štimac, M. Bračić, a S. Petar, „The Role and Influence of Industry 4.0. in Airport Operations in the Context of COVID-19,“ Sustainability, roč. 12, č. 24, s. 10614, pro. 2020, doi: 10.3390/su122410614. [Online]. [cit. 2021-03-30] Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3390/su122410614>

[29] Future Travel Experience, „New Cabin Baggage Screening Equipment on Trial at London Southend Airport,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.futuretravelexperience.com/2020/09/new-cabin-baggage-screening-equipment-on-trial-at-london-southend-airport/>

- [30] Letiště Václava Havla v Praze, „EasoGo Gate“. [Online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/faq-easygo-gate>
- [31] IATA, „Why Governments and the Aviation Industry Have to Prepare Together for the Next Golden Age of Air Travel“. [Online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.iata.org/contentassets/7daf1b47076e4930b8118fea56f1bde0/single-token-pax-facilitation.pdf>
- [32] Ch. Au Young, „Hong Kong International Airport: Facing the Future of Security,“ 2019. International Airport Review. [Online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.internationalairportreview.com/article/79434/hong-kong-future-security/>
- [33] International Airport Review, „Smart Airport Plan: Making the Future of the Airport a Reality,“ 2019. [Online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.internationalairportreview.com/article/105438/smart-airport-plan-making-the-future-of-the-airport-a-reality/>
- [34] ACI Europe, „‘It’s About Saving Both Lives and Livelihoods’ Says ACI EUROPE, as Rome Airport Reveals Robust Results for COVID-19 Tested Flights,“ 2021. [Online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.aci-europe.org/media-room/299-it-s-about-saving-both-lives-and-livelihoods-says-aci-europe-as-rome-airport-reveals-robust-results-for-covid-19-tested-flights.html>
- [35] K. Leswing, „States Are Finally Starting To Use the Covid-tracking Tech Apple and Google Built – Here’s Why,“ 2020. CNBC [Online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.cnbc.com/2020/10/03/covid-app-exposure-notification-apple-google.html>
- [36] Evropský parlament – zpravodajství, „Co je umělá inteligence a jak ji využíváme?,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20200827STO85804/umela-inteligence-definice-a-vyuziti>
- [37] European Parliament, „Ten Technologies to Fight Coronavirus,“ 2020. European Parliament Research Service [Online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2020/641543/EPRS_IDA\(2020\)64154_3_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2020/641543/EPRS_IDA(2020)64154_3_EN.pdf)
- [38] Future Travel Experience, „Incheon Airport Presses Ahead With AI, Biometrics and Big Data Plans Amid Global COVID-19 Pandemic,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.futuretravelexperience.com/2020/05/incheon-airport-presses-ahead-ai-biometrics-big-data/>

- [39] Future Travel Experience, „Ford Airport Trials UV Cleaning Robot and Footwear Sanitising Station,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.futuretravelexperience.com/2020/08/ford-airport-trials-uv-cleaning-robot-footwear-sanitising-station/>
- [40] L. Lacko, „Digital Twins: Jak fungují digitální dvojčata,“ 2020. Business World. [Online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://businessworld.cz/bezpecnost/celkove-naklady-na-vlastneni-hardwaru-15348>
- [41] M. Ørsted, „Improving Airport Decision Making with the Digital Twin Concept,“ 2019. International Airport Review. [Online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.internationalairportreview.com/article/101388/digital-twin-concept-data-airport-operations/>
- [42] A. Sharon, „HKIA Develops Digital Twin,“ 2019. [Online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://opengovasia.com/hkia-develops-digital-twin/>
- [43] Ch. Wilson, „What Airport Self Service Means for the Future,“ 2020. International Airport Review. [Online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.internationalairportreview.com/article/105098/what-self-service-means-for-the-future/>
- [44] IATA, „Fast Travel Program“. [Online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/programs/passenger/fast-travel/>
- [45] Changi Airport, „Enhanced Precautionary Measures Against COVID-19 At Changi Airport,“ 2021. [Online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.changiairport.com/en/airport-guide/Covid-19/Covid-19-measures.html>
- [46] Future Travel Experience, „Hamad Airport Adopts New C2 Security Screening Technology,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.futuretravelexperience.com/2020/07/hamad-airport-adopts-new-c2-security-screening-technology/>
- [47] Orlando International Airport, „Orlando International Airport Testing Crowd Density Monitoring System,“ 2020. [Online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.orlandoairports.net/press/2020/12/15/orlando-international-airport-testing-crowd-density-monitoring-system/>
- [48] M. Troncone, „Covid-Tested Flights: The Way Forward – Aeroporti di Roma’s Case,“ 2021. ACI Europe Webinar. [Online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.aci->

europa.org/downloads/resources/Covid-Tested%20Flights%20-%20The%20Way%20Forward%20-%20Aeroporti%20di%20Romas%20case.pdf

[49] R. A. Hughes, „Italy’s COVID-Free Flights: 30-Minute Testing In a Bid To Boost the Airline Industry,“ 2020. Forbes. [Online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/rebeccahughes/2020/09/17/italys-covid-free-flights-30-minute-testing-in-a-bid-to-boost-the-airline-industry/#4903ec4f7a9a>

[50] Flightera – Aviation Tracker and Flight Data Website. [Online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.flightera.net/en/>

[51] Š. Voráčová, „Teorie hromadné obsluhy“. Výukový materiál k předmětu Teorie hromadné obsluhy [Online]. [cit. 2021-06-15]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/department/k611/pedagog/K611THO.html>

[52] I. Adan, J. Resing, „Queueing Systems,“ 2015. Eindhoven University of Technology, Department of Mathematics and Computing Science. [Online]. [cit. 2021-06-15]. Dostupné z: <https://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf>

[53] R. B. Cooper, „Introduction to Queueing Theory, Second Edition,“ 1981. Florida Atlantic University. Elsevier North Holland, Inc. [Online]. [cit. 2021-06-15]. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/department/k611/pedagog/K611THO_soubory/IntroToQueueingTheory_Cooper.pdf

[54] Ministerstvo zdravotnictví České republiky, „Ministerstvo zdravotnictví aktualizovalo cestovatelský semafor, Kanárské ostrovy budou nově v červené kategorii,“ 25.6.2021. [Online]. [cit. 2021-08-06]. Dostupné z: <https://koronavirus.mzcr.cz/ministerstvo-zdravotnictvi-aktualizovalo-cestovatelsky-semafor-kanarske-ostrovy-budou-nove-v-cervene-kategorii/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Architektura koncepce Smart Airport (vlastní dílo autorky na základě [10])

Obrázek 2: Značky pro upozornění cestujících na dodržování rozestupů [19]

Obrázek 3: Simulace situace před příletovou kontrolou v období před pandemií a po pandemii [2]

Obrázek 4: Automatizované brány pro kontrolu palubních vstupenek na letišti Mnichov [16]

Obrázek 5: Příklad zobrazení letiště pomocí technologie Digital Twin [16]

Obrázek 6: Ukázka struktury letového řádu z databáze flightera.net použitého v obecném modelu (vlastní dílo autorky na základě dat [50])

Obrázek 7: Ukázka datového zdroje se dvěma fiktivními příletovými koridory a dobami chůze od gatů ke konci koridoru

Obrázek 8: Uživatelské rozhraní obecného modelu

Obrázek 9: Blokové schéma fungování obecného modelu

Obrázek 10: Grafický výstup obecného modelu

Obrázek 11: Detailní pohled na grafický výstup obecného modelu umožňující posouzení dosažených minim

Obrázek 12: Metodologický postup vývoje modelu

Obrázek 13: Uživatelské rozhraní modelu pro analýzu physical distancing na Letišti Václava Havla v Praze

Obrázek 14: Blokové schéma fungování modelu pro Letiště Václava Havla v Praze

Obrázek 15: Detail grafu dosažené plochy na osobu v příletových koridorech

Obrázek 16: Graf vývoje fronty

Obrázek 17: Graf vývoje čekací doby ve frontě

Obrázek 18: Graf vývoje prostorových nároků fronty při aplikaci physical distancing

Obrázek 19: Graf dosažené plochy na osobu v příletových koridorech 22. 7. 2020

Obrázek 20: Graf dosažené plochy na osobu v příletových koridorech 22. 7. 2019

Obrázek 21: Simulace 1 - vývoj počtu cestujících ve frontě 22. 7. 2020

Obrázek 22: Simulace 1 - vývoj počtu cestujících ve frontě 22. 7. 2021

Obrázek 23: Simulace 1 - vývoj čekací doby ve frontě 22. 7. 2020

Obrázek 24: Simulace 1 - vývoj čekací doby ve frontě 22. 7. 2021

Obrázek 25: Simulace 1 – prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2020

Obrázek 26: Simulace 1 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2021

Obrázek 27: Simulace 2 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2020

Obrázek 28: Simulace 2 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2021

Obrázek 29: Simulace 2 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2019

Obrázek 30: Simulace 3 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2020

Obrázek 31: Simulace 3 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2021

Obrázek 32: Simulace 3 - prostorové nároky fronty při physical distancing 22. 7. 2019

Obrázek 33: Země podle míry rizika nákazy dle opatření platných v ČR dne 30. 6. 2021 [54]

Seznam tabulek

Tabulka 1: Dosavadní diferenciacce cestujících a nová vrstva týkající se zdravotního aspektu cesty (vlastní dílo autorky na základě [16])

Tabulka 2: Procentuální podíl chybných záznamů ve vstupní databázi

Tabulka 3: Výsledky simulace physical distancing v příletových koridorech

Tabulka 4: Přehled provedených simulací s jednotlivými vstupními parametry

Tabulka 5: Shrnutí výsledků analýzy simulace 1

Tabulka 6: Shrnutí výsledků analýzy simulace 2

Tabulka 7: Shrnutí výsledků analýzy simulace 3

Tabulka 8: Vyhodnocení výsledků simulací

Tabulka 9: Procentuální vyhodnocení prostorových nároků fronty při aplikaci physical distancing u jednotlivých simulací

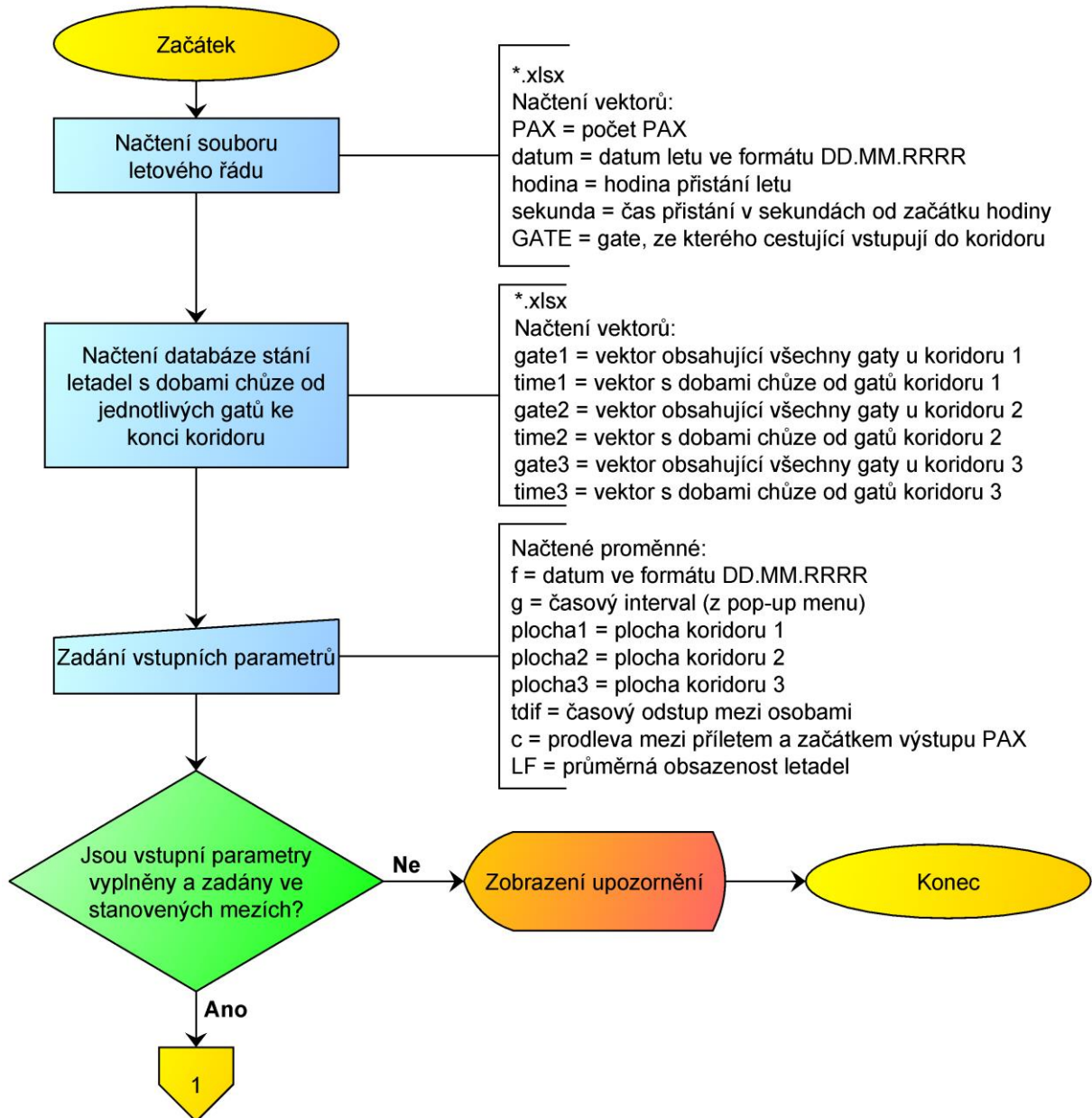
Tabulka 10: Výsledky validace modelu

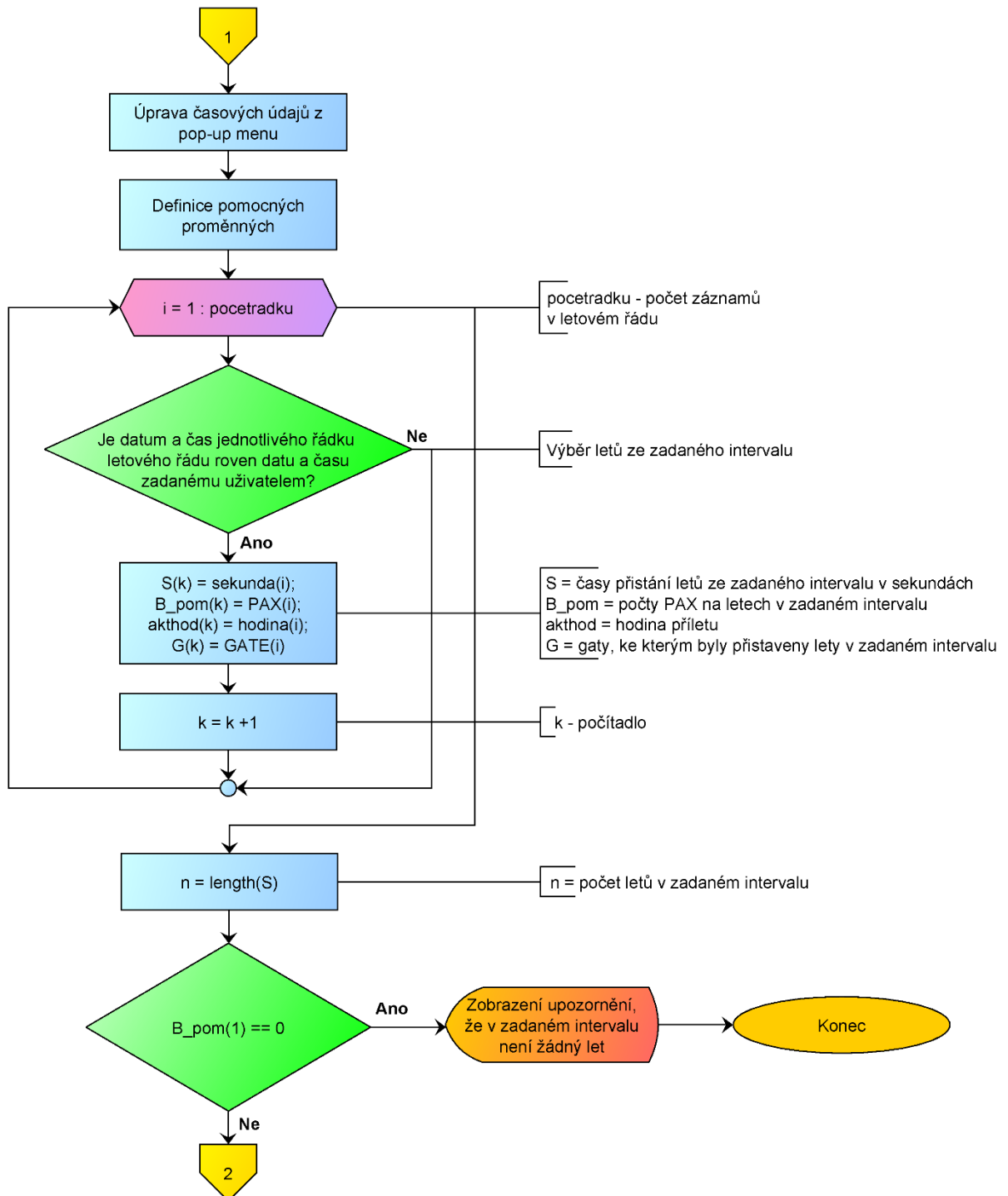
Seznam příloh

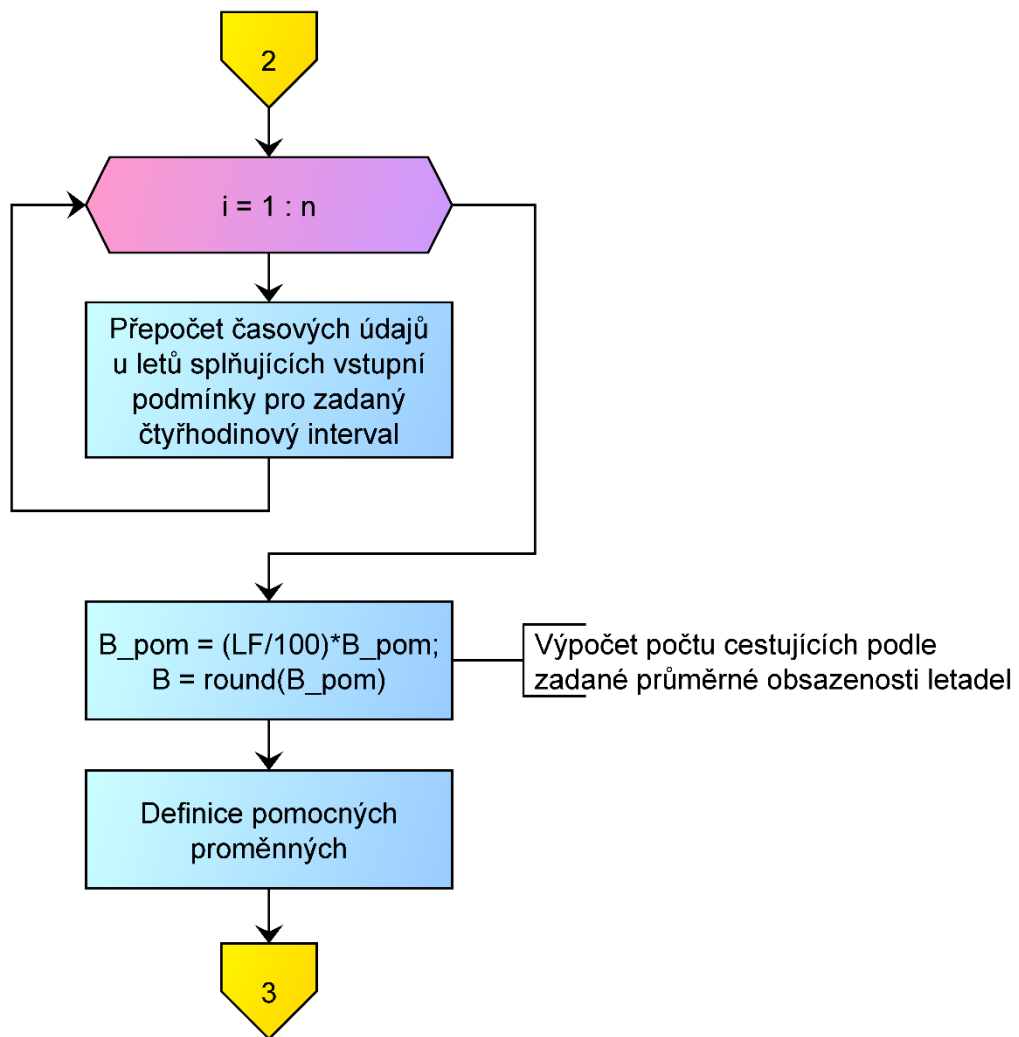
Příloha 1: Vývojový diagram modelu pro analýzu physical distancing na letištích obecně

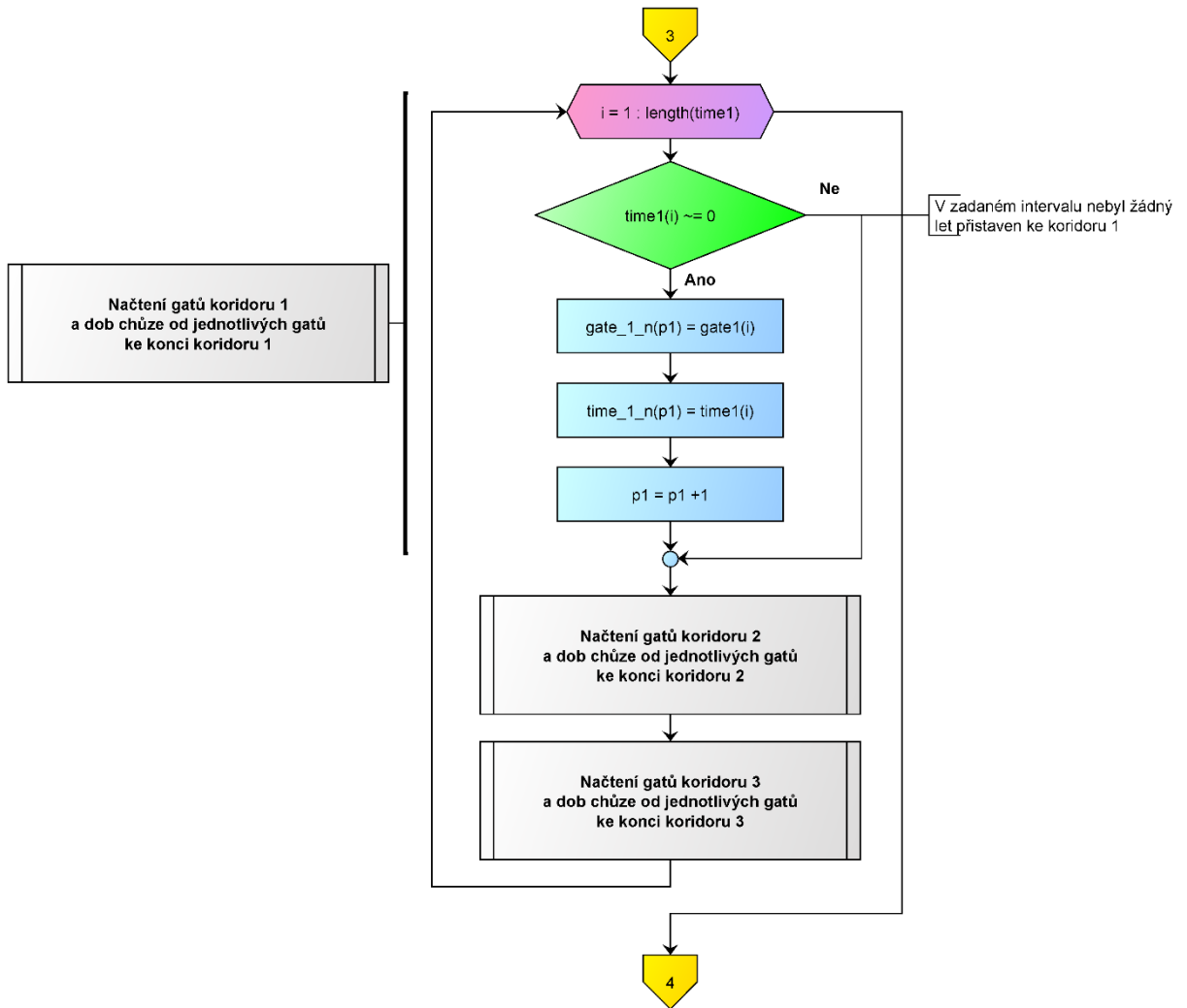
Příloha 2: Vývojový diagram modelu pro analýzu physical distancing na Letišti Václava Havla
v Praze

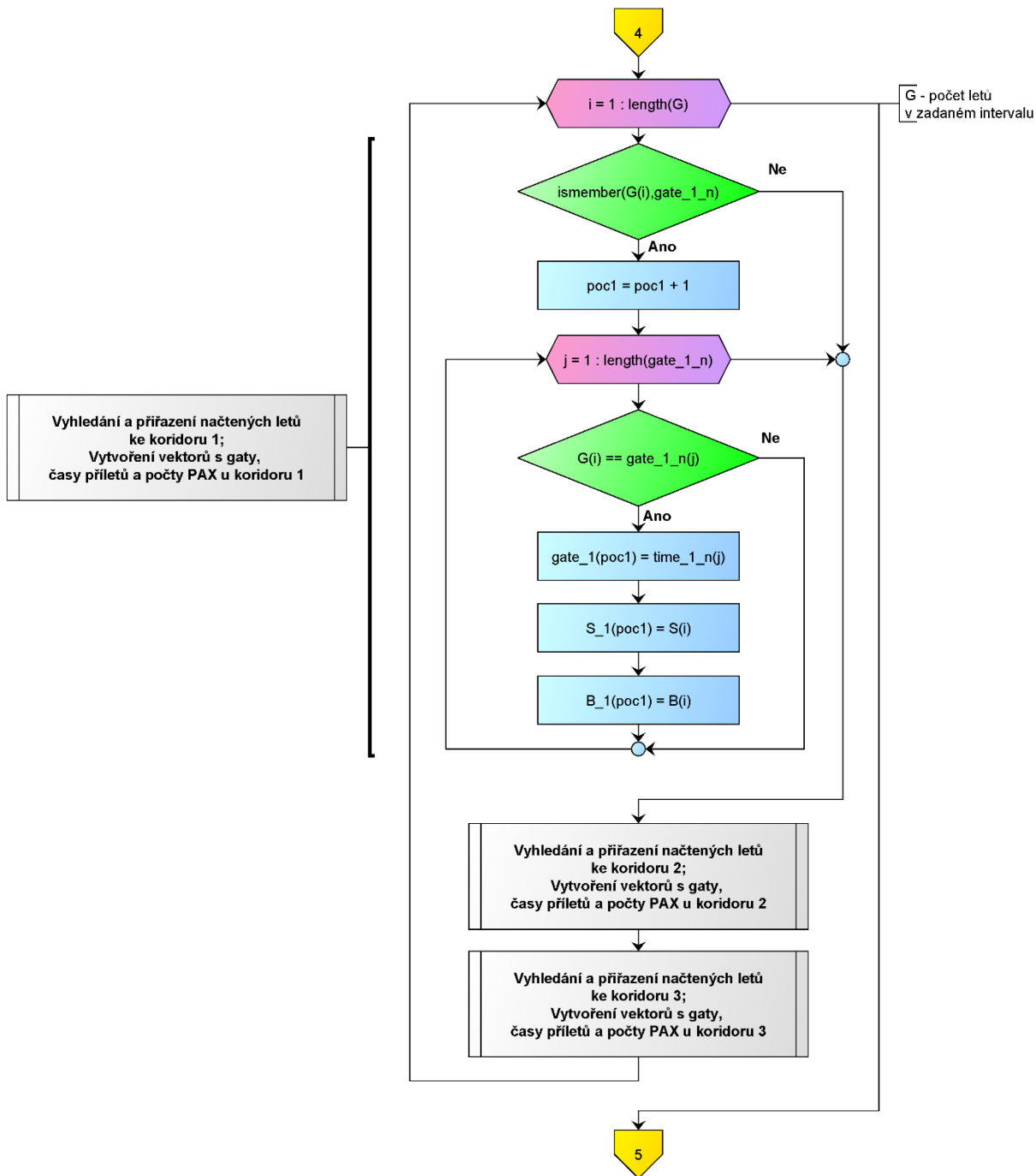
Příloha 1: Vývojový diagram modelu pro analýzu physical distancing na letištích obecně

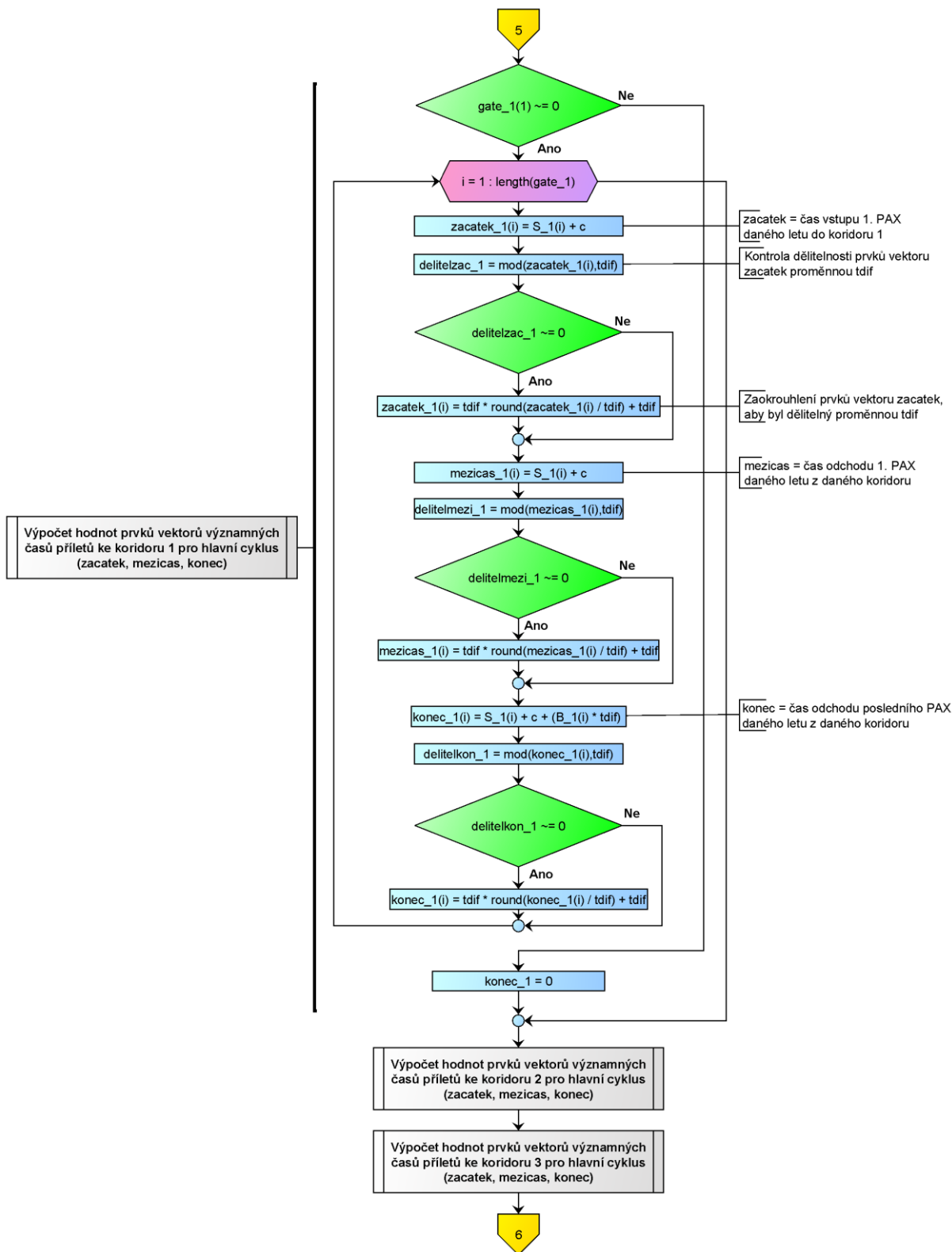


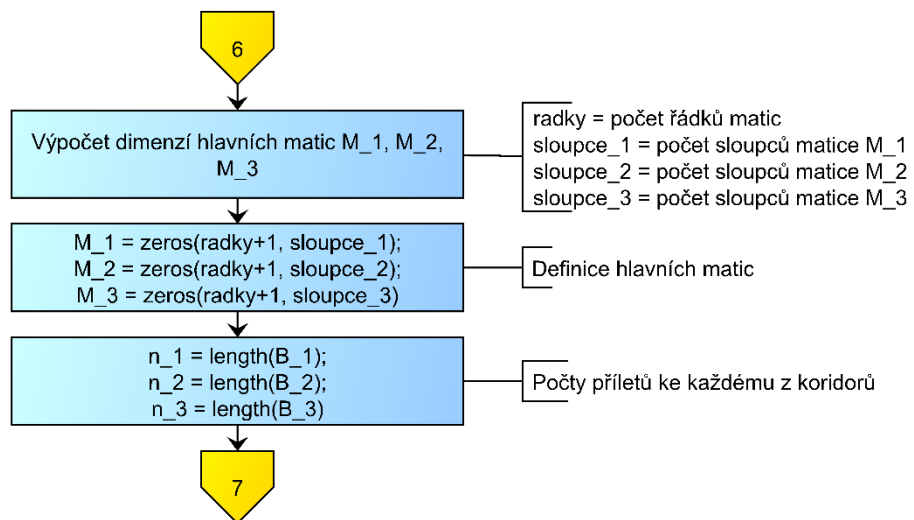


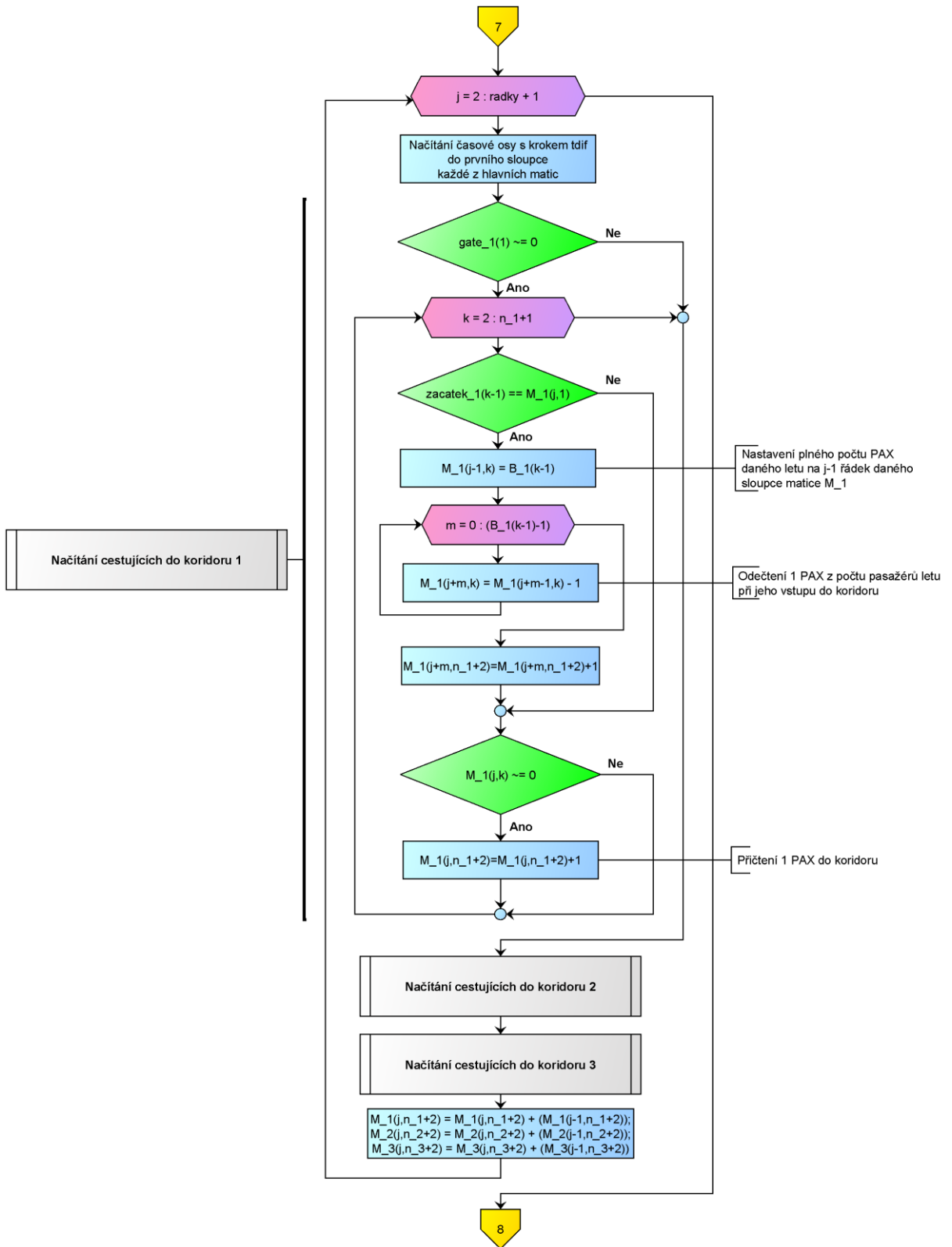


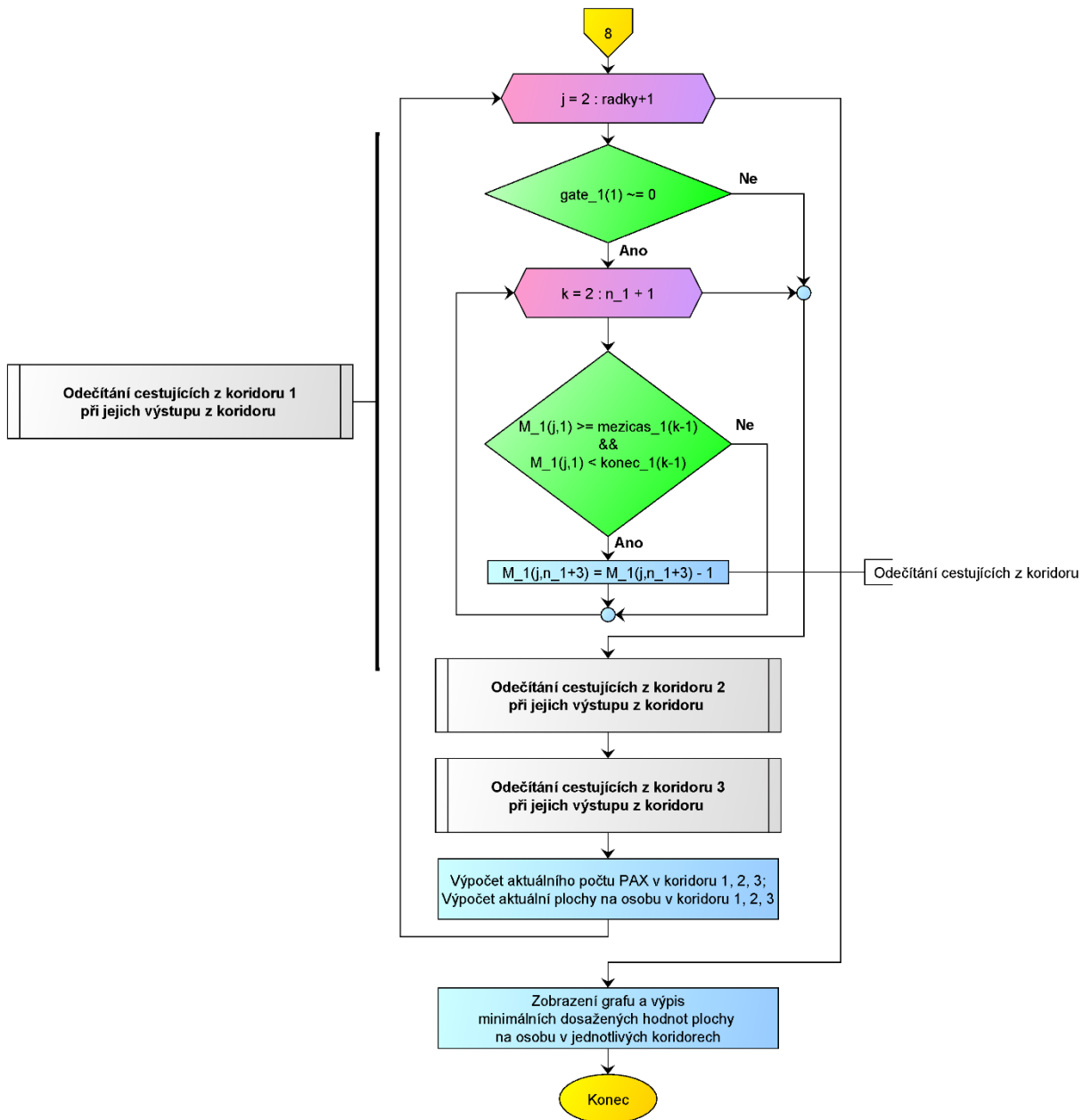












Příloha 2: Vývojový diagram modelu pro analýzu physical distancing na Letišti Václava Havla v Praze

