



# EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ KAPACITY PRACOVIŠTĚ ODLETOVÝCH POVOLENÍ NA STANOVIŠTI LETIŠTNÍ SLUŽBY ŘÍZENÍ OSTRAVA/MOŠNOV

## THE EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE CLEARANCE DELIVERY POSITION CAPACITY OF THE OSTRAVA/MOSNOV AERODROME CONTROL UNIT

Rostislav Stryk<sup>1,\*</sup>, Michal Dorda<sup>2</sup>

**Abstrakt** Příspěvek je věnován experimentálnímu stanovení počtu letů, při kterém je žádoucí aktivace samostatného pracoviště vydávání odletových povolení na stanovišti letištní služby řízení Ostrava/Mošnov. Příspěvek statisticky vyhodnocuje dobu zatížení řídicího letového provozu, která je potřebná pro vydání odletového povolení, popisuje tvorbu simulačního modelu pracoviště odletových povolení na bázi systému hromadné obsluhy v prostředí simulačního software Witness2007 a v závěrečné části vyhodnocuje výsledky simulačních experimentů.

**Klíčová slova** Letištní služba řízení, Systém hromadné obsluhy, Odletová povolení

**Summary** This paper is devoted to the experimental determination of the number of flights, for which activation of separate clearance delivery position on tower control unit Ostrava/Mošnov is necessary. The paper statistically evaluates the time workload of the air traffic controller associated with issuing air traffic control clearance. The paper describes a simulation model of the clearance delivery working position based on queueing system created by using Witness2007 software and in the last part evaluates the experimental findings carried out on the model.

**Keywords** Aerodrome control service, Queueing system, Clearance delivery

## 1 ÚVOD

Na stanovišti letištní služby řízení letového provozu Mošnov věž na Letišti Leoše Janáčka Ostrava, kódové označení letiště dle ICAO: LKMT (ICAO, 2022), je poskytována služba řízení letového provozu letadlům a mobilním prostředkům pohybujícím se po provozní ploše a letadlům v blízkosti letiště. Minimální počet pracovníků na tomto stanovišti letištní služby řízení je jeden, a to letištní řídicí letového provozu (Tower

---

<sup>1</sup> VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní – Institut dopravy, tř. 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba, ČR

<sup>2</sup> VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní – Institut dopravy, tř. 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba, ČR

\* Rostislav Stryk, tel.: +420 608 478 795, e-mail: [rostislav.stryk@vsb.cz](mailto:rostislav.stryk@vsb.cz)

Executive Controller – TEC). Ten musí být držitelem platného průkazu způsobilosti s platnou doložkou pro výkon práv na tomto stanovišti.

Vyřízení TEC závisí na komplexitě a struktuře provozu. Pravidelný letový provoz na LKMT tvoří široké spektrum letadel od ultralehkých s maximální vzletovou hmotností letadla 450 kg, až po nákladní letouny typu Boeing 767 s maximální vzletovou hmotností 140 000 kg. Rovněž úroveň pilotů se výrazně liší a podstatně ovlivňuje časové zatížení provozního kmitočtu. Zejména u pilotních žáků je doba korespondence delší než u profesionálních pilotů.

Úkoly řízení letového provozu jsou definovány leteckým předpisem L11 (ČR, 2000). Patří mezi ně zabraňování srážkám letadel za letu; zabraňování srážkám letadel na provozní ploše a s překážkami na této ploše a udržování rychlého a spořádaného toku letového provozu. Letadlům, kterým je poskytována služba řízení letového provozu, je současně poskytována letová informační služba, jejímž úkolem je poskytování rad a informací užitečných k bezpečnému a účinnému provádění letů, a rovněž pohotovostní služba, která má za úkol vyrozumívání příslušných organizací a orgánů o letadlech, po nichž se má pátrat nebo kterým se má poskytnout záchranná služba, a v případě potřeby spolupráce s těmito orgány.

Ze účelem splnění všech úkolů, které z poskytování uvedených služeb plynou, vydává řídicí letového provozu instrukce, příkazy, rady a informace posádkám řízených letadel a dále osobám a řidičům mobilních prostředků pohybujících se na provozní ploše letiště. Současně řídicí letového provozu telefonicky koordinuje svou činnost s okolními spolupracujícími letištními složkami a sousedními stanovišti.

Do náplně řídicího letového provozu je zahrnuto rovněž vydávání odletových povolení posádkám letadel odlétajících z letiště. Odletová povolení jsou vydávána jako standardizovaný soubor informací a instrukcí, které zahrnují meteorologickou situaci, dráhu určenou pro odlet, odletovou trať, výšku počátečního stoupání, nastavení odpovídače sekundárního radaru a případné další důležité informace, například zprávy o řízení toku letového provozu. Vydáním odletového povolení se rozumí jeho formulace letištním řídicím letového provozu. Předáním vydaného odletového povolení posádce letadla se rozumí komunikační proces, kdy pilot odletové povolení přijme a následně potvrdí. Protože proces předání odletového povolení probíhá v době, kdy letadlo stojí na odbavovací ploše, nejedná se o poskytování letištní služby řízení, neboť odbavovací plocha není součástí provozní plochy letiště. Předáním vydaného odletového povolení proto může být pověřena osoba, která nemusí být držitelem platného oprávnění řídicího letového provozu, ale stačí, aby byla pro činnost předávání vydaných odletových povolení pouze speciálně vyškolená, přičemž její činnost se řídí postupy definovanými příslušnou dokumentací popisující výkon služby.

S ohledem na výrazně nižší nároky výcviku a nižší úroveň odpovědnosti jsou i výcvikové a mzdové náklady na tuto pověřenou osobu nižší, než je tomu u řídicích letového provozu. Pro poskytovatele letových provozních služeb, který letištní službu řízení zajišťuje, je využití vysoce kvalifikovaného personálu k činnostem, pro které není licence řídicího letového provozu nutná, ekonomicky nevýhodné. Zatížení licencovaného řídicího letového provozu činnostmi, které lze provádět nelicencovaným personálem, snižuje jeho celkovou kapacitu. To se projevuje nižší disponibilní dobou, kterou má pro řízení pojíždění, vzletů, přistání a průletů letadel prostorem jeho odpovědnosti a v případě stanoviště letištní služby řízení letového provozu Mošnov věž pro činnosti související s obsluhou samostatného kmitočtového kanálu, který je vyhrazen pro komunikaci s mobilními prostředky a osobami pohybujícími se na provozní ploše letiště.

Z uvedeného vyplývá, že je účelné a kapacitně výhodné v době zvýšeného letového provozu na LKMT, aktivovat na stanovišti letištní služby řízení letového provozu Mošnov věž samostatné pracoviště Vydávání odletových povolení (Clearance Delivery – CD) na vyhrazeném kmitočtu. Pracovník obsluhující pracoviště CD (Clearance Delivery Dispatcher – CDD) poskytuje pro obsluhu pracoviště 100 % své celkové kapacity,

zatímco pracovník TEC při tomto režimu využívá 100 % kapacity k činnostem, jejichž výkon je podmíněn platným oprávněním řídicího letového provozu. Aktivace samostatného pracoviště CD v současnosti probíhá subjektivním posouzením provozní situace s přihlédnutím k očekávanému provozu.

Téma kapacity řízení letového provozu je v současné době velice aktuální. Očekávaný další nárůst letového provozu nejen v evropském vzdušném provozu inspiroval mnoho odborných prací na toto téma. Možnosti posouzení dostupné kapacity, stejně jako hledání způsobu jejího navýšení, jsou zkoumány z různých perspektiv. Příkladem mohou být například práce Hoskova-Mayerova et al. (2022), která je věnována metodice hodnocení zátěže řídicích letového provozu. Tématu dopadů využití systémů řízení odletů a příletů, nástrojů, které optimalizují časování a řazení odlétávajících a přilétávajících letadel, a jejich vlivu na kapacitu letiště, je věnována práce Mascio et al. (2021). Výzkumem lidské výkonnosti a závislosti délky doby trvání rozhodovacího procesu a pravděpodobnosti nalezení optimálního řešení při řešení úloh spojených s řízením pojiždění letadel po provozní ploše se věnuje práce Argyle et al. (2018) a práce Kharchenko (2016) se zabývá tvorbou aplikovaných modelů kvalitativního odhadu toku a kapacity letového provozu v oblasti koncové řízené oblasti za podmínek nejistoty.

Cílem experimentu, který je popsán v tomto příspěvku, bylo za pomoci simulačního modelu pracoviště CD experimentálně zjistit, při jaké intenzitě a skladbě provozu je žádoucí aktivace samostatného pracoviště CD za účelem navýšení kapacity stanoviště letištní služby řízení na letišti LKMT.

Na proces předání odletového povolení bylo pro účely tvorby simulačního modelu a následného experimentu nahlíženo jako na obslužný proces mezi posádkou letadla žádající o vydání odletového povolení a pracovníkem pracoviště CD, které žádané povolení předává. Komunikační proces letadlo – věž má své trvání, tzv. dobu obsluhy letu. Obsluha letů je realizována prostřednictvím radiotelefonní korespondence mezi pilotem a řídicím letového provozu, příp. speciálně vyškolenou osobou (CDD).

## 2 ZPRACOVÁNÍ VYBĚROVÉHO DATOVÉHO SOUBORU

Zpracováním interních dat poskytovatele letištní služby řízení na letišti LKMT, státního podniku Řízení letového provozu České republiky (dále jen ŘLP ČR, s. p.), bylo možné stanovit pravděpodobnostní charakter doby obsluhy a následně experimentálně simulovat zatížení modelového pracoviště CD při různé skladbě a hustotě provozu. Data potřebná k určení pravděpodobnostního charakteru doby obsluhy byla získána ze záznamů radiotelefonní korespondence na kmitočtu pracoviště CD na stanovišti Mošnov věž. Za účelem zvýšení reprezentativnosti výběrového souboru proběhl sběr dat v pěti různých dnech při obsazení pracoviště CD různými pracovníky, kteří se na pracovišti CD střídají. Styl jejich práce může vykazovat dílčí odchylky pramenící z rozsahu pracovních zkušeností a odráží se i v kvantitě, konkrétně v rychlosti korespondence a tím v době potřebné pro předání odletového povolení posádce letadla.

V civilním letectví se rozlišují lety prováděné dle pravidel letu podle přístrojů, anglicky Instrument Flight Rules, zkráceně lety IFR a lety realizované dle pravidel letu za viditelnosti, anglicky Visual Flight Rules, zkráceně lety VFR (Kulčák, 2002). V případě letů IFR je pro účely poskytování služby řízení letového provozu předem předložen letový plán a pracoviště CD má potřebné informace o letu předem k dispozici. Piloti letů VFR nejsou povinni pro odlet z letiště LKMT letový plán před letem předložit a pracovník CDD musí tyto údaje v průběhu radiové korespondence od posádky získat. Předání odletového povolení pro lety IFR a pro lety VFR se tedy od sebe liší časovou náročností, a proto byla data s délkou doby komunikace pro oba typy letů vyhodnocena odděleně.

### 2.1 Výběrové statistické soubory

Rádiové spojení v letecké radiotelefonii probíhá v režimu simplexního provozu. V jeden okamžik vysílá pouze jedna stanice. Celá sledovaná korespondence se skládá z několika kratších časových úseků, tzv. relací. Relace si lze představit následovně:

- pilot letadla zavolá pracoviště CD a představí se volacím znakem,
- pracoviště CD vyzve pilota letadla k oznámení žádosti,
- pilot letadla specifikuje konkrétní požadavek, cíl letu, trať letu, účel letu apod.,
- pracoviště CD předá pilotovi letadla vydané odletové povolení,
- pilot letadla zopakuje přijaté povolení, čímž potvrdí jeho správné přijetí.

Další relace mohou následovat v případech chybného opakování ze strany pilota letadla, nutnosti doplňujících informací, výskytu specifických žádostí apod. Tento "dialog" je strukturován podle pravidel publikovaných v letecké předpisu L Frazologie (ČR, 2006).

Pro účely statistického zpracování doby obsluhy letů byla měřena doba od zahájení první relace do okamžiku ukončení poslední relace vydávání odletového povolení. Tato doba zahrnuje i případné mezery mezi relacemi, kdy sice fakticky nedochází k žádné komunikaci, ale tento čas je nutný pro zápis přijatých dat, přípravu a formulaci odpovědí, případně k vyžádání vydání opraveného povolení u řídicího letového provozu a provedení příslušné koordinace.

Pro účely statistického zpracování bylo vybráno pět nejvytíženějších kalendářních dnů v měsíci červnu 2022. V rámci těchto pěti dní bylo získáno 40 záznamů o délce doby obsluhy předání odletového povolení u letů IFR a 75 záznamů doby obsluhy letů VFR. Protože jde o předběžnou analýzu této problematiky, je nižší rozsah vstupních dat akceptovatelný. Doby obsluhy jsou vyjádřeny v sekundách a jsou uvedeny v tab. 1 a v tab. 2.

Tab. 1 Doby trvání obsluh letů IFR; zdroj: Autoři

Doba trvání obsluhy letu IFR [s]							
58	67	57	70	54	87	<b>47</b>	66
60	54	75	<b>47</b>	71	63	70	77
75	61	79	56	55	59	51	<b>181</b>
61	78	60	79	56	95	<b>47</b>	59
74	58	74	70	54	96	52	84

Tab. 2 Doby trvání obsluh letů VFR; zdroj: Autoři

Doba trvání obsluhy letu VFR [s]							
101	69	<b>123</b>	82	66	75	85	106
88	64	69	113	89	111	57	69
76	94	63	98	93	70	78	63
<b>46</b>	99	79	72	64	89	66	74
71	74	75	66	62	66	66	111
75	81	82	71	49	66	87	64
75	75	83	48	69	61	66	81
96	86	86	68	73	82	68	64
84	109	76	61	91	60	83	74
88	71	62					

V tab. 1 a tab. 2 jsou proloženy vyznačeny minimální a maximální hodnoty statistických znaků.

## 2.2 Exploratorní analýza dat (výběrové charakteristiky)

Před zpracováním základních popisných statistik byly oba výběrové soubory testovány na přítomnost odlehlých pozorování (Briš a Litschmanová, 2008). Pomocí metody vnitřních hradeb bylo vypočteno, že odlehlá pozorování pro výběrový soubor dob trvání obsluhy letů IFR leží v intervalu (0; 27,75) U

(101,75;  $\infty$ ) a pro výběrový soubor dob trvání obsluhy letů VFR leží v intervalu  $(0; 36) \cup (116; \infty)$ . Každý výběrový soubor obsahoval jeden prvek nacházející se v pásmu odlehlých pozorování. Bližším vyhodnocením bylo zjištěno, že oba prvky byly ovlivněny nestandardní žádostí pilota, které se řídící letového provozu, vzhledem k aktuální nízké intenzitě provozu a malému vytížení, rozhodl vyhovět. Koordinace potřebná k vydání odletového povolení dle přání pilota výrazně prodloužila celkovou dobu obsluhy těchto letů. Při průměrné a vyšší intenzitě provozu by tyto žádosti byly standardně odmítnuty a doba trvání obsluhy by byla kratší. Z tohoto důvodu byly oba statistické prvky z dalšího zpracování odstraněny a při dalším zpracování byl počet statistických prvků výběrového souboru dob obsluhy letů IFR upraven na  $n = 39$  a počet statistických prvků výběrového souboru obsluhy letů VFR na hodnotu  $n = 74$ .

Základní popisné statistiky výběrových datových souborů jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Základní popisné statistiky trvání obsluhy letů IFR a VFR; zdroj: Autoři

Výběrová charakteristika		Doby trvání obsluhy letů IFR	Doby trvání obsluhy letů VFR
Výběrový průměr	[s]	64,97	76,68
Variační rozpětí	[s]	49	67
Medián $x_{0,5}$	[s]	61	74,5
Dolní kvartil $x_{0,25}$	[s]	55,5	66
Horní kvartil $x_{0,75}$	[s]	73,5	86
Interkvartilové rozpětí (IQR)	[s]	18	20
Výběrový rozptyl	[s <sup>2</sup> ]	170,61	219,21
Výběrová směrodatná odchylka	[s]	13,06	14,81

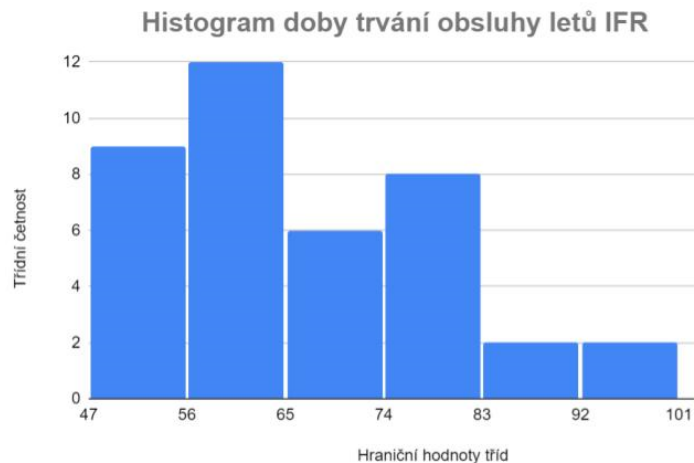
Z vypočtených a zobrazených hodnot základních popisných statistik lze konstatovat, že doba trvání obsluhy letů IFR je v průměru kratší, vykazuje menší variační rozpětí a nižší hodnotu výběrové směrodatné odchylky ve srovnání s dobou trvání obsluhy letů VFR. Tento výsledek potvrzuje praktické zkušenosti z posuzovaného prostředí.

Lety IFR jsou totiž prováděny téměř výhradně profesionálními piloty, kteří ovládají frazeologii a spojovací postupy používané při korespondenci, na lety IFR je vždy podán letový plán a pilot nemusí specifikovat požadovanou trať letu. Pro odletové povolení u letů IFR je dále využíváno zkrácené kódové označení odletové trati.

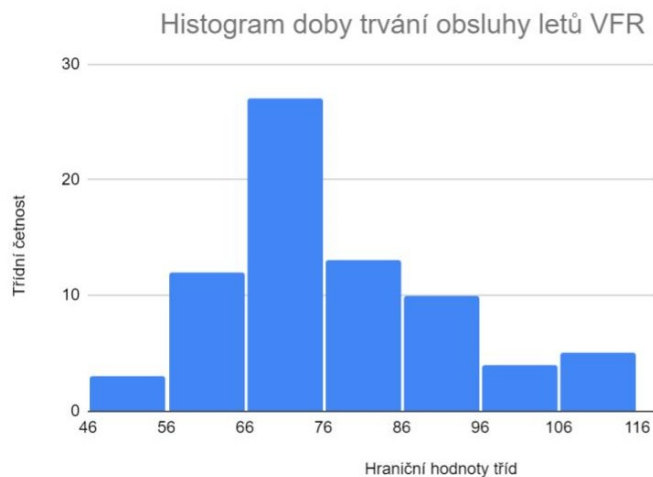
U doby trvání obsluhy letů VFR je variační rozpětí vyšší a vyšší hodnotu vykazuje i směrodatná odchylka. Tento výsledek se dá odůvodnit skutečností, že u letů VFR jsou zastoupeny různé kategorie pilotů od aktivních, téměř profesionálně létajících až po žáky pilotního výcviku, kteří se korespondenci a frazeologii spojenou s vydáním letového povolení teprve učí.

### 2.3 Otestování statistické hypotézy – Pearsonův test dobré shody

Výběrové soubory byly graficky zpracovány a zobrazeny pomocí histogramů (viz obr. 1 a obr. 2). Na základě sestavených histogramů a rozložení četností hodnot statistických znaků v jednotlivých třídách histogramů bylo rozhodnuto otestovat výběrové soubory na normalitu dat. K testování byl využit Pearsonův  $\chi^2$  test dobré shody (Neubauer et al., 2012). Pro bodové odhady parametrů testovaného rozdělení byla použita metoda momentů.



Obr. 1 Grafické zobrazení rozdělení četností dob obsluh letů IFR; zdroj: Autoři



Obr. 2 Grafické zobrazení rozdělení četností dob obsluh letů VFR; zdroj: Autoři

Výsledky provedených výpočtů pomocí Pearsonova  $\chi^2$  testu dobré shody byly následující:

- nulová hypotéza o existenci normálního rozdělení dat doby trvání obsluhy letů IFR s parametry  $\hat{\mu} = 65,5 s$ ,  $\hat{\sigma}^2 = 157,9 s^2$  na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  **nebyla zamítnuta**, proto toto rozdělení bylo použito při zadání délky doby obsluhy letů IFR v simulačním modelu,
- nulová hypotéza o existenci normálního rozdělení dat doby trvání obsluhy letů VFR s parametry  $\hat{\mu} = 76,7 s$ ,  $\hat{\sigma}^2 = 216,2 s^2$  na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  **byla zamítnuta**. V simulačním modelu proto bylo pro zadání délky obsluhy letů VFR použito empirické rozdělení pravděpodobnosti korespondující se skutečně naměřenými dobami, jak je uvedeno v tab. 4.

Tab. 4 Intervalové rozdělení četnosti dob trvání obsluhy u letů VFR; zdroj: Autoři

Číslo třídy $j$	Třída [s]	$n_j$	$N_j$	$p_j$	$F_j$
1	<46; 56)	3	0.041	3	0.041
2	<56; 66)	12	0.162	15	0.203
3	<66; 76)	27	0.365	42	0.568
4	<76; 86)	13	0.176	55	0.743
5	<86; 96)	10	0.135	65	0.878
6	<96; 106)	4	0.054	69	0.932
7	<106; 116)	5	0.068	74	1.000
$\Sigma$	X	74	1.000	X	X

### 3 TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU

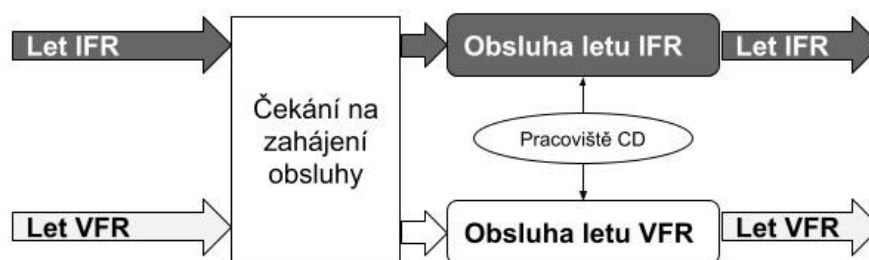
Simulační model pro simulaci obsluhy odlétávajících letů IFR a VFR na pracovišti vydávání odletových povolení CD byl vytvořen v simulačním software Witness2007 společnosti Lanner Group Ltd. Tento software je určen pro simulaci systémů diskrétních událostí. Jeho velkou výhodou je jeho široká uplatnitelnost, své uplatnění nachází např. při simulaci logistických, výrobních a obslužných systémů (Dorda, 2018).

#### 3.1 Pojmový model pracoviště CD

Pracoviště CD je zřízeno za účelem vydávání odletových povolení posádkám odlétávajících letadel. Obsluhuje dva typy letů. Lety VFR a lety IFR. Pracoviště CD reaguje na žádosti posádek jednotlivých letadel v pořadí, v jakém se lety na kmitočtu ozývají. Jedná se tedy o systém hromadné obsluhy, ve kterém se uplatňuje frontový režim FIFO. Pracoviště CD je schopno v jeden okamžik obsloužit pouze jedno volající letadlo. Ostatní lety, které se chtějí přihlásit v průběhu již probíhající komunikace, čekají na ukončení předchozí komunikace a na uvolnění kmitočtu. Teprve poté může být zahájena obsluha dalšího letu. Délka obsluhy letů IFR se řídí ořezaným normálním rozdělením s parametry  $\hat{\mu} = 65,5 s$ ,  $\hat{\sigma}^2 = 157,9 s^2$ , minimální hodnotou  $47 s$  a maximální hodnotou  $116 s$ . Minimální hodnota je stanovena na základě minimálního rozsahu informací, které musí být v rámci každého odletového povolení předány při dodržení maximální rychlosti hovoru nepřekračujícího 100 slov za minutu, jak stanovuje předpis L Frazologie (ČR, 2006). Obsluha letů VFR se řídí empirickým rozdělením vycházejícím z údajů uvedených v tab. 4.

V případě, že by pracoviště CD bylo obsluhováno samostatným pracovníkem, věnoval by obsluze pracoviště CD 100 % svého pracovního času. Prováděná analýza předpokládá, že pracoviště CD není aktivováno jako samostatné pracoviště a je obsluhováno řídicím letového provozu TEC. Jak bylo popsáno v úvodu, TEC je zatížen řadou činností a předávání odletových povolení je pouze jedna z nich. Odborným odhadem bylo stanoveno, že TEC může obsluze pracoviště CD věnovat maximálně 30 % svého pracovního času. Pro účely této analýzy je odborný odhad maximálního disponibilního času TEC pro obsluhu pracoviště CD postačující.

Obr. 3 schematicky znázorňuje pojmový model simulovaného problému.



Obr. 3 Schéma pracoviště CDD; zdroj: Autoři

Na pracovišti CD tedy existují dva paralelní toky požadavků na obsluhu. Tok požadavků na získání odletového povolení pro lety IFR a tok požadavků na získání odletového povolení pro lety VFR. Procesy obsluhy (předávání odletových povolení) jsou rovněž dva, proces předávání odletového povolení (obsluhy) pro lety IFR a proces předávání odletového povolení pro lety VFR. Oba toky vstupují nejprve do stejné fronty, kde čekají na uvolnění kmitočtu, a tedy na zahájení příslušného procesu obsluhy. Po předání letového povolení letu pracovištěm CD dochází k postoupení jeho obsluhy dalšímu pracovišti letištní služby řízení.

### 3.2 Simulační model pracoviště CD

Pojmový model byl transformován do simulačního prostředí Witness2007 následovně. Lety VFR a lety IFR byly modelovány pomocí prvků typu součást. Procesy předávání odletových povolení byly modelovány pomocí prvků typu jednoduchý stroj a fronta letů čekajících na zahájení obsluhy pomocí prvku typu zásobník. Obsluha strojů byla modelována pomocí prvku pracovník.

Tab. 5 obsahuje seznam základních prvků modelu pracoviště CD.

Tab. 5 Základní prvky modelu pracoviště CD; zdroj: Autoři

Název prvku ve Witness	Typ prvku ve Witness
„Let VFR“	Součást
„Let IFR“	Součást
„Obsluha VFR“	Stroj
„Obsluha IFR“	Stroj
„Cekani na obsluhu“	Zásobník
„Pracovnik CDD“	Pracovník

#### 3.2.1 Základní nastavení součástí

Součást označená názvem „Let VFR“ představuje lety požadující získání odletového povolení od pracoviště CD pro odlet z letiště LKMT podle pravidel VFR. Lety VFR vstupují do simulačního modelu v Poissonovském vstupním toku s tím, že průměrný počet žádostí posádek o vydání odletového povolení za hodinu je definován proměnnou, kterou lze editovat manuálně při každém zahájení simulace. Tím je umožněno testovat různou hustotu provozu letů VFR. Analogicky je nastavena součást označená názvem „Lety IFR“, včetně možnosti editace průměrného počtu žádostí posádek o vydání odletového povolení pro lety IFR za hodinu.

Součásti „Lety VFR“ a „Lety IFR“ vstupují do zásobníku označeného názvem „Cekani na obsluhu“. Tento zásobník simuluje frontu, ve které lety požadující získání odletového povolení čekají, dokud není ukončeno předání odletového povolení předchozímu letu ve frontě. Jak již bylo uvedeno výše v textu, výběr prvku ze zásobníku „Cekani na obsluhu“ probíhá v režimu FIFO, kdy nově vstupující součást se řadí na konec fronty a po uvolnění příslušného stroje součást, která je první v pořadí, opouští zásobník. Doba, kterou lety stráví čekáním na obsluhu je průměrována a zobrazena na simulačním zobrazení jako proměnná „Prumerne cekani“.

Ze zásobníku jsou čekající lety postupně postoupeny ke zpracování, součásti „Lety VFR“ do stroje označeného názvem „Obsluha VFR“ a součásti „Lety IFR“ do stroje označeného názvem „Obsluha IFR“. Oba stroje jsou definovány jako jednoduché stroje schopné zpracovat v jeden okamžik pouze jednu součást. Oběma strojům je přidělen společný pracovník označený názvem „Pracovnik CDD“. Doba zpracování u stroje „Obsluha VFR“ se řídí empirickým rozdělením pravděpodobnosti vycházejícím z údajů uvedených v tab. 4. Do simulačního modelu byla tato data manuálně vložena s využitím prvku RDist, který slouží k definování spojitého empirického rozdělení pravděpodobnosti. Ve vytvořeném simulačním modelu byl tento prvek pojmenován „Doba VFR“. U stroje „Obsluha IFR“ je využito ořezané normální rozdělení s parametry  $\mu = 65,5 \text{ s}$ ,  $\sigma^2 = 157,9 \text{ s}^2$  s minimální hodnotou 47 s a maximální hodnotou 116 s.

Posledním prvkem je pracovník, v modelu označený názvem „Pracovnik CDD“, jemuž je přiřazena směna. Směna byla nastavena tak, aby délka doby pracovního času reflektovala odborně odhadnutých 30 % disponibilního času TEC pro obsluhu pracoviště CD. Každou hodinu je to celkem 18 minut. Pro potřeby simulačních experimentů byla doba simulace rozdělena na pětiminutové opakující se periody, v nichž prvních 90 s bylo vyčleněno pro obsluhu pracoviště CD a následujících 210 s pro ostatní činnosti TEC.



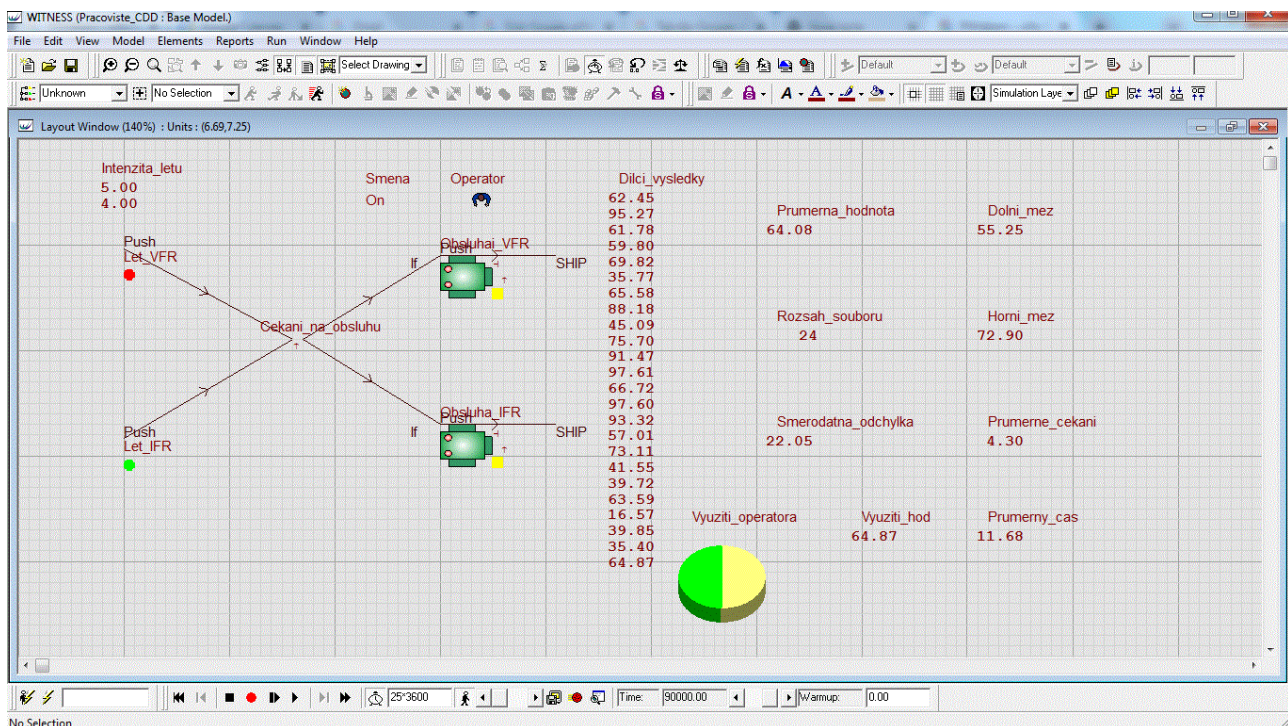
Zde je nutné zmínit, že takto simulované vytížení TEC obsluhou pracoviště CD vnáší do modelu vědomé zkreslení. Pokud se totiž požadavek na předání odletového povolení objeví například v 91. sekundě, tedy v době, kdy je simulováno provádění ostatních činností v kompetenci TEC, je jeho obsluha zahájena až po 210 sekundách. Tím dojde k nežádoucímu ovlivnění průměrné doby čekání. Současně čas 90 sekund, během kterých pracovník CDD byl připraven k obsluze pracoviště CD, ale čekal na příchod požadavku, ovlivní poměr využití pracovníka. V reálném prostředí pracuje TEC flexibilně, a pokud například doba předání odletového povolení trvá 60 sekund a žádný další požadavek na odletové povolení není, věnuje se ihned ostatním činnostem a opačně. I s vědomím tohoto zkreslení bylo možné simulovat, při jaké mezní hustotě provozu dochází k vyčerpání schopnosti TEC obsloužit pracoviště CD.

### 3.2.2 Další použité funkce a proměnné

K názornějšímu vyhodnocení využití operátora byl do modelu zařazen graf. Součástí akce prováděné před každou jeho aktualizací byl výpočet dílčích hodinových hodnot procentuálního vytížení pracovníka a další níže vyjmenované proměnné. První výpočet byl proveden až po uplynutí zahřívací periody v délce trvání 60 minut.

Výsledné hodnoty proměnných včetně grafického zobrazení vytížení pracovníka byly průběžně zobrazovány. Jednalo se o průměrnou hodnotu hodinového využití pracovníka v procentech, rozsah souboru, který obsahoval vždy 24 dílčích hodinových výsledků procentuálního využití pracovníka vztažených k 24 hodinám simulovaného provozu, směrodatnou odchylku souboru dílčích hodinových hodnot a dolní a horní mez procentuálního hodinového využití pracovníka. Dalšími proměnnými, které byly sledovány, byly průměrný čas čekání na obsluhu a průměrná hodinová délka obsluhy.

Popsaný simulační model je zobrazen na obr. 4.



Obr. 4 Model pracoviště CD v prostředí Witness2007; zdroj: Autoři

## 4 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY

S vytvořeným simulačním modelem pracoviště CD byly provedeny tři simulační experimenty. První samostatně pouze pro lety VFR, druhý samostatně pouze pro lety IFR a poslední pro kombinovaný provoz

letů VFR a IFR. Cílem experimentů bylo zjistit, při jaké intenzitě provozu je žádoucí obsazení pracoviště CD samostatným pracovníkem CDD.

Při vyhodnocování experimentů bylo stanoveno, s přihlédnutím na popsané zkrácení modelu vlivem definice směny pracovníka, že maximální akceptovatelná hodnota průměrné doby čekání na obsluhu je 240 sekund (4 minuty).

Celkově běh každé simulace trval vždy 25 hodin (první hodina zahřívací perioda a následujících 24 hodin simulace provozu).

#### 4.1 Pracoviště CD obsluhované TEC při provozu pouze letů VFR

Pro provedení tohoto experimentu bylo nejprve nutné upravit vytvořený model tak, aby byl přerušeno tok součásti „Let IFR“ do zásobníku „Čekání na obsluhu“. Toho bylo dosaženo úpravou výstupního pravidla pro součást „IFR let“ použitím příkazu **WAIT**.

Tabulka 6 zobrazuje výsledky vytížení TEC obsluhou pracoviště CD. Hodnoty využití pracovníka jsou uvedeny v procentech a vztaheny k maximální disponibilní době 18 minut, které z každé hodiny provozu má vyčleněna k obsluze pracoviště CD. Experimentální ověření využití pracovníka bylo zahájeno při vstupní hustotě počtu 5 letů za hodinu s krokem 1 až do 100 % naplnění kapacity pracovníka. Všechny hodnoty uvedené v tab. 6 je nutno chápat jako průměrné hodnoty připadající na každou hodinu simulovaného provozu

Tab. 6 Vytížení řídicího letového provozu obsluhou pracoviště CD, provoz letů VFR; zdroj: Autoři

Počet letů VFR	Využití pracovníka [%]	Dolní mez využití pracovníka [%]	Horní mez využití pracovníka [%]	Doba čekání na obsluhu [min]	Celková doba obsluhy [min]
5	36,27	28,78	43,76	2,05	4,62
6	40,81	33,11	48,50	2,59	7,20
7	49,90	41,32	58,47	2,83	10,22
<b>8</b>	<b>58,62</b>	<b>49,07</b>	<b>68,18</b>	<b>3,83</b>	<b>14,14</b>
9	66,46	57,87	75,87	4,78	8,63
10	73,95	64,72	83,17	6,74	13,63
11	80,10	71,56	88,56	10,05	12,08
12	85,99	78,60	93,39	13,98	14,51
13	91,43	85,38	97,48	24,02	12,78
14	97,82	95,28	100,00	38,59	18,00

Z naměřených výsledků je patrné, že při hustotě 14 letů VFR za hodinu je kapacita řídicího pro obsluhu pracoviště CD zcela vyčerpána, ale tento počet letů VFR lze obsloužit pouze za cenu extrémní průměrné doby čekání 38,59 minut. Taková intenzita provozu je prakticky mimo kapacitní možnosti pracoviště CD.

Stanovenou maximální akceptovatelnou průměrnou dobu čekání na obsluhu v délce 4 minut splňuje intenzita o průměrném počtu 8 letů VFR za hodinu. V tab. 6 je řádek odpovídající tomuto stavu zobrazen proloženě. Ve zjednodušené interpretaci lze tedy konstatovat, že začne-li se intenzita letů VFR pohybovat kolem průměrné hodnoty 9 letů za hodinu a více, bude nutné obsadit pracoviště CD samostatným pracovníkem.

#### 4.2 Pracoviště CD obsluhované TEC při provozu pouze letů IFR

Pro tento experiment byla provedena obdobná úprava modelu, tentokrát s cílem omezení vstupu letů VFR do modelu. Výsledky zobrazuje tab. 7. Všechny hodnoty uvedené v tab. 7 je nutno chápat jako průměrné hodnoty připadající na každou hodinu simulovaného provozu. Při simulaci vytížení pracoviště CD pouze lety IFR, u nichž je délka obsluhy kratší než u letů VFR, došlo k vyčerpání kapacity doby, kterou byl řídicí

letového provozu schopen věnovat obsluhu pracoviště CD, poprvé při průměrném počtu 15 letů za hodinu. Simulace v kroku 16 letů IFR za hodinu ukázala ještě schopnost obsloužit všechny lety, ale průměrná doba čekání na obsluhu skokově narostla na 17,55 minuty. Maximální akceptovatelné průměrné době čekání na obsluhu v délce 4 minut odpovídala intenzita průměrného počtu 11 letů IFR za hodinu. Příslušný řádek je v tab. 7 zvýrazněn proložně.

Tab. 7 Vytížení řídicího letového provozu obsluhou pracoviště CD, provoz letů IFR; zdroj: Autoři

Počet letů IFR	Využití pracovníka [%]	Dolní mez využití pracovníka [%]	Horní mez využití pracovníka [%]	Doba čekání na obsluhu [min]	Celková doba obsluhy [min]
5	32,14	27,68	36,60	1,97	4,95
6	39,64	33,63	45,65	1,92	5,06
7	44,25	37,85	50,65	2,33	6,96
8	50,26	44,64	55,88	2,62	8,80
9	55,20	49,79	60,61	2,73	10,27
10	60,31	55,05	65,57	3,10	10,96
<b>11</b>	<b>64,45</b>	<b>58,25</b>	<b>70,65</b>	<b>3,59</b>	<b>11,17</b>
12	70,01	63,87	76,14	4,15	14,69
13	73,81	67,35	80,28	4,95	9,17
14	78,89	72,04	85,75	6,15	10,21
15	83,84	76,77	90,90	10,20	18,00
16	88,06	81,76	94,36	17,55	10,50
17	93,72	88,43	99,01	31,53	18,00

Tab. 8 Vytížení řídicího letového provozu obsluhou pracoviště CD, provoz letů VFR a IFR; zdroj: Autoři

Počet letů VFR	Počet letů IFR	Využití pracovníka [%]	Dolní mez využití pracovníka [%]	Horní mez využití pracovníka [%]	Doba čekání na obsluhu [min]	Celková doba obsluhy [min]
4	2	47,06	40,26	53,85	2,67	6,71
4	3	54,84	46,66	63,03	3,57	6,97
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>60,93</b>	<b>53,60</b>	<b>68,26</b>	<b>3,97</b>	<b>12,22</b>
4	5	65,26	58,14	72,39	4,32	10,12
<b>5</b>	<b>3</b>	<b>57,99</b>	<b>50,10</b>	<b>65,88</b>	<b>3,72</b>	<b>6,42</b>
5	4	64,08	55,25	72,90	4,30	11,68
5	5	68,41	59,30	77,52	5,26	9,58
5	6	75,91	68,11	83,71	5,49	9,69
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>62,53</b>	<b>55,34</b>	<b>69,71</b>	<b>3,95</b>	<b>8,99</b>
6	4	68,61	59,15	78,07	6,67	14,25
6	5	72,95	63,59	82,30	8,22	12,15
6	6	80,45	72,24	88,65	12,76	12,26
6	7	85,29	77,53	93,05	15,09	15,31
7	4	77,06	68,60	85,51	9,02	14,47
7	5	82,04	73,91	90,16	14,75	15,18

### 4.3 Pracoviště CD obsluhované TEC při kombinovaném provozu letů VFR a IFR

Reálné prostředí je téměř vždy charakteristické kombinací letů VFR a IFR. Vyhodnocením interních statistických údajů ŘLP ČR, s. p. bylo zjištěno, že v letech 2019 až 2022 na letišti LKMT se poměry letů VFR/IFR pohybovaly mezi hodnotami 53/47 a 68/32. Proto byl poměr letů pro účely simulačního experimentu nastaven na hodnotách 60 % letů VFR a 40 % IFR. Výsledky simulace jsou obsaženy v tab. 8.

Všechny hodnoty uvedené v tab. 8 je nutno chápat jako průměrné hodnoty připadající na každou hodinu simulovaného provozu.

Výsledky simulace kopírovaly předchozí výsledky. Při kombinaci 7 letů VFR a 5 letů IFR je maximální průměrná doba čekání 14,75 minuty a se zvyšujícím se počtem letů by dále skokově narůstala. Pro dosažení cíle experimentu nejsou další výsledky relevantní. Maximální akceptovatelné průměrné době čekání na obsluhu v délce 4 minuty vyhověly kombinace 4 letů VFR a 4 letů IFR, 5 letů VFR a 3 letů IFR nebo 6 letů VFR a 3 letů IFR. Všechny tyto kombinace jsou v tab. 8 zvýrazněny proložně.

## 5 ZÁVĚR

Článek se zabývá problematikou kapacity pracoviště CD na stanovišti letištní služby řízení Ostrava/Mošnov s využitím simulačních metod. Obsahuje návrh simulačního modelu pracoviště CD vytvořeného v simulačním prostředí Witness2007 a dále výsledky 3 typů simulačních experimentů s navrženým simulačním modelem lišícími se vstupními provozními podmínkami – provoz pouze letů VFR, provoz pouze letů IFR a kombinovaný provoz letů VFR a IFR.

Existují specifické situace, kdy v případě meteorologických podmínek, které neumožňují provádění letů VFR, odpovídá struktura provozu simulaci, ve které do systému vstupovaly pouze lety IFR. Tyto situace mají svá další specifika a nároky na službu řízení letového provozu, na provozovatele letiště a na posádky letadel.

Obdobně se vyskytují situace intenzivního provozu letů VFR bez výskytu letů IFR. Těmto situacím odpovídají výsledky experimentů kapitol 4.1 a 4.2.

Výsledky experimentálního ověření kombinovaného provozu letů VFR a IFR potvrzují praktické zkušenosti, kdy při naměřených kombinacích 4 letů VFR a 4 letů IFR, 5 letů VFR a 3 letů IFR nebo 6 letů VFR a 3 letů IFR dochází k vysokému zatížení TEC a odbavení vyšší intenzity provozu je možné buď za cenu delšího čekání letadel na obsluhu, nebo obsazením pracoviště CD pracovníkem CDD.

Další výzkum bude zaměřen na experimentální ověření kapacity samostatného pracoviště CD, kdy má pracovník CDD na obsluhu pracoviště CD 100 % svého pracovního času. V této souvislosti bude rovněž nutné posoudit, jaká je struktura pracovního vytížení TEC při poskytování letištní služby řízení, dále experimentálně ověřit, zda byl odborný odhad časové dostupnosti 30 % času pro obsluhu pracoviště CD správný, jak roste zatížení TEC s rostoucí intenzitou letištního provozu a zda se současně s tím nemění i časová dostupnost TEC pro obsluhu pracoviště CD. S tím souvisí nutnost ověřit, jak je kapacita TEC ovlivněna strukturou provozu s ohledem na rozdílnost typů letadel a rozdílné druhy činnosti v prostoru odpovědnosti TEC. Je zřejmé, že jednotlivé odlety a přílety nezatěžují TEC stejně jako lokální letová činnost při náviku letu po okruhu s opakovaným návikem vzletů a přistání.

Další výzkumné práce budou také probíhat za účelem odstranění nedostatku simulačního prostředí Witness, související s nutností rozdělení simulační doby na opakující se periody s pevně definovaným časem vyhrazeným pro obsluhu pracoviště CD a následně pevně stanoveným časem vyhrazeným pro ostatní činnosti. Bude zkoumána problematika vztahu délky této periody na relevanci dosažených výsledků simulace.

V dalším směru výzkumu se budeme zabývat problematikou modelování procesů letištní služby řízení s využitím barevných Petriho sítí.

## Poděkování

Vznik článku byl podpořen projektem SGS Fakulty strojní VŠB – Technické univerzity Ostrava SP2022/62 s názvem Vývoj a výzkum v dopravě a logistice.

## Literatura

Argyle, E. M., Houghton, R.J., Atkin, J., De Maere, G., Moore, T. a Morvan, H.P. **2018**. Human performance and strategies while solving an aircraft routing and sequencing problem: an experimental approach. *Cognition, Technology [online]*, 20(3), 425-441. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0480-4>

Briš, R., Litschmanová, M. **2008**. *Statistika II*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita

Česká republika. **2000**. Letecký předpis L11. Letové provozní služby, Služba řízení letového provozu, Letová informační služba, Pohotovostní služba. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-11/index.htm>

Česká republika. **2006**. Letecký předpis L Frazéologie. Radiotelefonní postupy a letecká frazeologie a terminologie pro poskytování letových provozních služeb a provádění letů. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-Frazeologie/index.htm>

Dorda, M. **2018**. *Počítačová podpora projektování logistických systémů*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita

Hoskova-Mayerova, S., Kalvoda, J., Bauer, M. a Rackova, P. **2022**. Development of a Methodology for Assessing Workload within the Air Traffic Control Environment in the Czech Republic. *Sustainability (2071-1050) [online]*, 14(13), 7858-7873. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su14137858>

ICAO. **2022**. *Location Indicators*. Doc 7910/184. Montreal: ICAO

Kharchenko, V. a Chynchenko, Y. **2016**. Models of qualitative estimation of air traffic flows and capacity in terminal control areas. *Visnik Nacional'nogo Aviacijnogo Unìversitetu [online]*, 69(4), 7-13. Dostupné z: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.69.11048>

Kulčák, L. **2002**. *Air traffic management*. Brno: CERM.

Mascio, P.D., Cervelli, D., Correr, A.C., Frascaco, L., Luciano, E. a Moretti, L., **2021**. Effects of departure manager and arrival manager systems on airport capacity. *Journal of Airport Management [online]*, 15(2), 204-218.

Neubauer, J., Sedláček, M., Kříž, O. **2012**. *Základy statistiky – Aplikace v technických a ekonomických oborech*. Praha: Grada.