

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Technická zpráva k projektu pro předmět IMS
Okruh 3: SHO letiště

Autoři: Karel Hala xhalak00@stud.fit.vutbr.cz
Lukáš Hájíček xhajic01@stud.fit.vutbr.cz

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Autoři a zdroje informací	1
1.2	Ověřování validity	1
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	2
2.1	Postupy pro vytvoření modelu	3
2.2	Původ použitých metod	3
3	Koncepce	4
3.1	Vyjádření konceptuálního modelu	4
3.2	Formy konceptuálního modelu	5
4	Architektura simulačního modelu	6
4.1	Rozbor implementace	6
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	7
5.1	Postup experimentování	7
5.2	Průběh experimentů	7
5.3	Závěry experimentů	11
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	12
	Reference	12

1 Úvod

Tento dokument popisuje simulační model [1, 7] letiště vzniklý v rámci projektu do předmětu IMS na FIT VUT. Dále jsou popsány simulační experimenty [1, 256] na vytvořeném modelu. Tyto simulační experimenty popisují chování systému v různých situacích (běžný provoz, dvojnásobný provoz ...). Účelem daných experimentů je nalezení nejužšího místa v systému a zachování systému při modifikaci jednotlivých částí a událostí, čímž ověříme funkčnost systému a případné řešení extrémních událostí.

1.1 Autoři a zdroje informací

Na projektu se podílel dvoučlenný tým studentů FIT VUT Karel Hala a Lukáš Hájíček.

Informace byly získány ze dvou zdrojů. Nejdříve sbíráním statistik v terénu na Letišti Tuřany[4] a dále při konzultaci s vedoucím dopravního provozu panem Langem v Tuřanech, který nám zodpověděl zbytek důležitých otázek.

1.2 Ověřování validity

Validita [1, 37] byla ověřena při postupném testování. Výsledky byly porovnány s daty získanými dříve během sběru dat.

Požadavky byly zejména kladeny na dobu, kterou zákazníci na letišti strávili při odbavování, jak dlouho zákazníci procházeli bezpečnostní prohlídkou a nakonec kolik času letadla strávila na letišti od přistání až po opětovný odlet. Dalšími nezbytným údajem byl počet zákazníků které letiště odbavilo za jeden rok.

Z experimentu simulujícího běžný provoz byla doba letadla strávená na letišti v rozmezí 28 a 65 minut, což odpovídá údajům v kapitole 2. Počet odbavených cestujících se pohybuje okolo 420000 za rok, podle údajů z [5] bylo v posledních 5 letech odbaveno ročně 396589 až 557952 cestujících.

Vzhledem k faktu, že veškeré z těchto zmíněných údajů (blíže popsány v kapitole 5.2) odpovídají reálným datům, jsme model prohlásili za validní.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Simulovaný systém [1, 7] představuje pohyb lidí a letadel na letišti. Jako vzor jsme vybrali Letiště Tuřany [4].

Veškeré dále uvedené údaje byly získány od vedoucího dopravního provozu pana Langa. Data týkající se bezpečnostní kontroly pocházejí z měření v terénu.

Letiště:

- 2 přistávací dráhy, pouze jedna využívána pro přílety a odlety letadel
- 3 minuty letadlo stráví na dráze
- 8 přepážek pro odkládání zavazadel při odbavování
- 2 přepážky otevírány pro každé letadlo
- 1 místnost pro bezpečnostní kontrolu
- 7 bran pro odchozí lety (3 využívány pro odbavování letů mimo Schengenský prostor)
- 2 brány pro příchozí lety

Odbavování cestujících:

- 2 hodiny před plánovaným odletem letadla začíná odbavování
- 30 až 40 minut před plánovaným časem odletu odbavování končí
- 35% cestujících využívá přepážky k odbavení

Letový provoz:

- 45% cestujících využívá pravidelné lety
- 180 až 189 lidí je kapacita letadel na neparavidelných letech
- na pravidelných letech se v malé míře vyskytují letadla s kapacitou 40 lidí
- 35% lidí cestuje mimo Schengenský prostor
- od května do října probíhá sezónní provoz
- 10 až 15 letů denně během sezóny
- 1 až 3 lety denně mimo sezonu

Bezpečnostní kontrola:

- 4 stanoviště pro pasovou kontrolu
- 4 stanoviště pro odkládání oblečení a kovových předmětů
- 3 rámy pro detekci kovových předmětů, běžně využívány pouze 2
- 1 stanoviště pro osobní prohlídku
- 2 minuty trvá průchod bezpečnostní kontrolou
- 15 sekund trvá pasová kontrola
- 45 sekund odkládání oblečení a kovových předmětů
- 15 sekund průchod rámem
- 30% cestujících musí projít rámem znovu
- 50% z těchto cestujících jde na osobní prohlídku
- 30 sekund trvá oblékání

Odbavení letadel:

- 3 letadla lze naráz nakládat
- 2 letadla lze naráz vykládat
- 25 až 70 minut trvá odbavení letadla od jeho příletu do odletu
- 10 až 15 minut vykládání zavazadel
- 7 až 10 minut vystupování cestujících (během vykládání zavazadel)
- 20 až 40 minut úklid a plnění paliva
- 2 minuty nastupování cestujících

2.1 Postupy pro vytvoření modelu

Podle dat co jsme nasbírali z terénu a co jsme získali od pana Langa jsme vytvořili abstraktní model [1, 43] a sestavili Petriho síť [1, 126] reprezentující systém. Poté vytvořený model implementovali v jazyce C++ za použití knihovny SIMLIB [3], která umožňuje jednoduché vytváření diskretních simulátorů.

2.2 Původ použitých metod

Návrh systému jsme provedli pomocí Petriho sítě, které byly definovány v předmětu IMS. Pro implementaci jsme použili jazyk C++ a výše zmíněnou knihovnu SIMLIB.

3 Koncepce

Kapacita letadel byla stanovena na pevnou hodnotu 170 cestujících, toto číslo reprezentuje průměrnou kapacitu letadel včetně cestujících kteří se na let nedostaví. Správnost této hodnoty byla ověřena při testování, neboť počet odbavených cestujících při simulaci [1, 33] běžného provozu odpovídá údajům z [5].

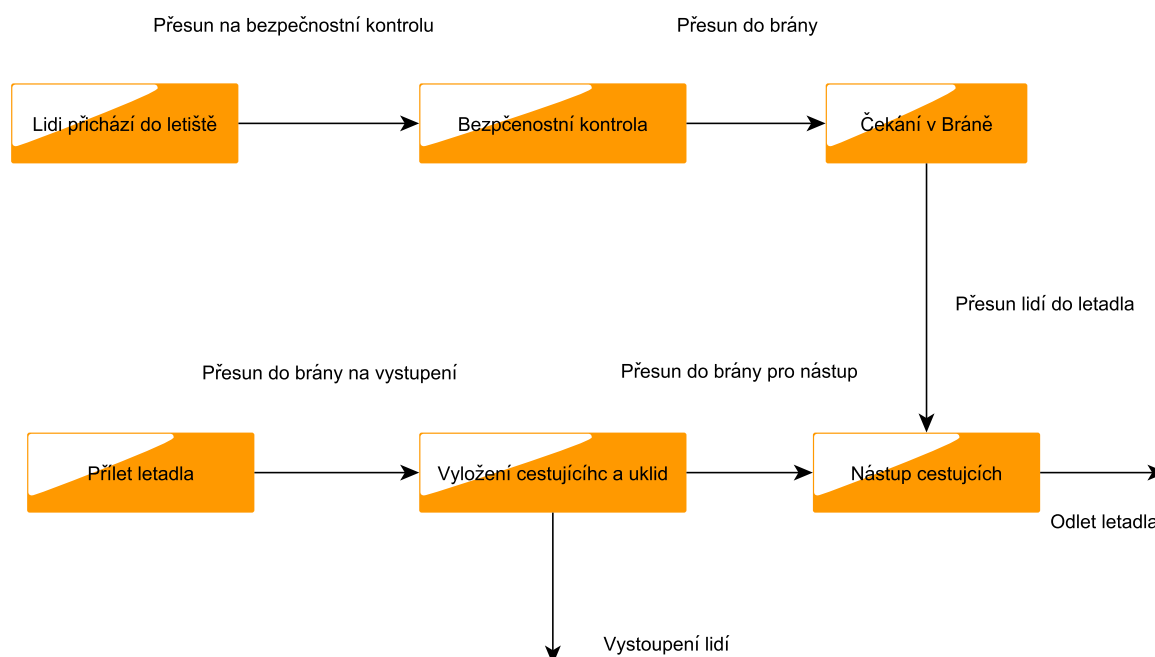
Díky stanovení pevné kapacity jsme mohli zanedbat rozdělení letů na pravidelné a nepravidelné. Dále bylo zanedbáno vytváření letů mimo Schengenský prostor a tím dělení odletových bran, nicméně pasová kontrola se u 35% cestujících provádí.

Délka sezony byla stanovena na 5.5 měsíce, protože na začátku a konci sezóny není hustota letů taková jako uprostřed. Tato hodnota byla stanovena s ohledem na celkový počet odbavených cestujících.

Veškeré lety jsou vytvářeny během dne. Den a noc se pravidelně střídají přičemž den má 16 hodin.

Lidé přicházejí na letiště v časových intervalech daných rovnoměrným rozložením v intervalu 15 až 40 sekund, více jak 2 hodiny před plánovaným odletem. Tento způsob jsme zvolili proto, aby se všichni cestující stihli dostat před odletem.

3.1 Vyjádření konceptuálního modelu



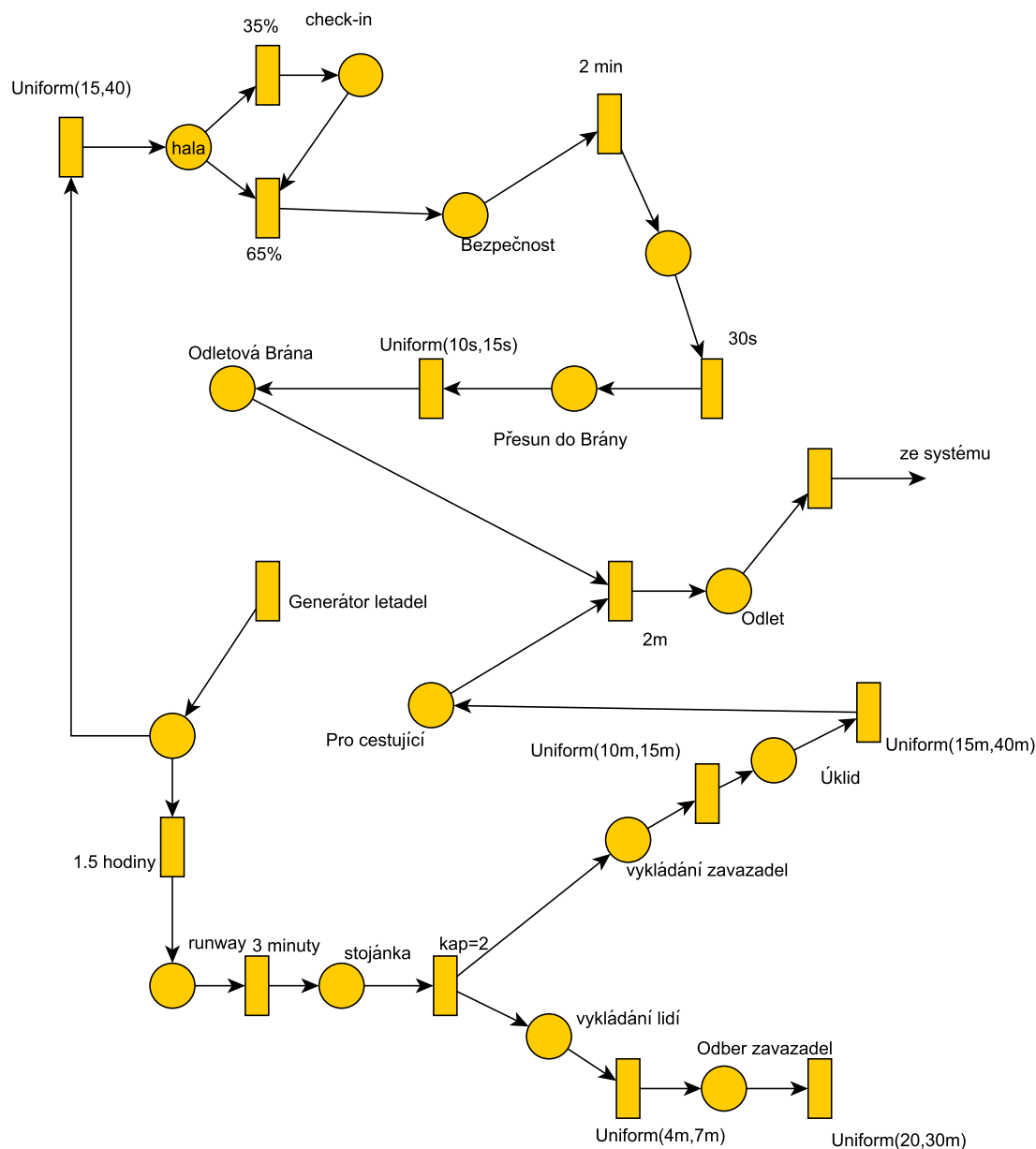
Obrázek 1: Abstraktní schéma systému

Na obrázku 1 je znázorněn abstraktní model letiště.

Přibližně 2 hodiny před plánovaným odletem letadla začínají přicházet cestující. Ti postupně procházejí přes přepážky a bezpečnostní kontrolu do odletové brány kde čekají na pokyn k nástupu na letadlo.

Po přiletu letadla vyloží cestující, zavazadla a zároveň se provede úklid a dočerpání paliva. Poté se k bráně s čekajícími cestujícími na odlet. Ty naloží a odlétá pryč.

3.2 Formy konceptuálního modelu



Obrázek 2: Konceptuální schéma systému

Na obrázku 2 je znázorněna zjednušená petriho síť reprezentující letiště. Pro zjednodušení schématu bylo vynecháno otevírání a uzavírání přepážek a bezpečnostní kontroly. Dále byla zjednodušená bezpečnostní kontrola, popis jejího průběhu je v 2.

Během sezóního provozu je denně generované 10 až 15 letadel s rovnoměrným rozložením[1, 93], v rozestupech daných funkcí popsanou v 4. Mimo sezónu se generuje 1 až 4 letadla denně

s rovnoměrným rozložením v rozestupech danými rovnoměrným rozložením v intervalu 1 až 6 hodin.

Po 1,5 hodině letadlo přistává. Pokud je k dispozici příletová brána letadlo vyloží cestující a zavazadla a současně se provede jeho úklid a tankování paliva. Posléze je letadlo přistaveno k odletové bráně a naloží cestující s nímž odlétá.

Vystoupení cestujících trvá 7 až 10 minut. Vyzvednutí zavazadel trvá 10 až 15 minut následně je příletová brána dána k dispozici jinému letadlu.

30 minut před vygenerováním letadla se zahájí generování cestujících. Ti přicházejí v intervalech danými rovnoměrným rozložením 15 až 40 sekund. Cestující čekají v odletové hale na otevření přepážek a bezpečnostní kontroly. Po otevření a absolvování těchto formalit se cestující postupně přesouvají do odletové brány kde čekají na naložení.

4 Architektura simulačního modelu

Pro implementaci modelu byl zvolen jazyk C++ a knihovna SIMLIB.

Základní simulační časovou jednotkou je sekunda, od ní jsou odvozeny konstanty pro další časové údaje. Pro snadnou změnu nastavení systému je stanoveno několik konstant (kapacita letadel, počet detekčních rámců...). Změna jejich hodnot je využívána při experimentech.

4.1 Rozbor implementace

Na začátku simulace jsou spuštěny 3 události[1, 166] starající se o střídání dne a noci (**Gen_den**), střídání sezóny (**Gen_sezona**) a nakládání cestujících (**Nalozeni_cestujicich**).

Délka noci je 8 hodin a dne 16 hodin. V momentě kdy nastane den se spouští událost generování letadel (**Gen_letadel**), která vytváří procesy[1, 166] reprezentující letadla (**Letadlo**). Letadla jsou generována rozdílně při sezóně a mimo ní. V sezóně jsou letadla vytvářena následovně. Z generovaných letadel 20% přilétá v intervalu **Uniform(60*MINUTA, 80*MINUTA)**, 70% ze zbylých letadel přilétá v intervalech **Uniform(30*MINUTA, 60*MINUTA)** a zbylých 30% v intervalu **Uniform(5*MINUTA, 30*MINUTA)**.

Událost nakládání cestujících je periodicky co 5 sekund spouštěna. Proveď kontrolu jestli je připraveno některé letadlo k naložení (čekající ve frontě **q_nakladani**). Pokud ano tak zjistí zda-li je v některé z odletových bran (reprezentovány polem **front[1, 166] q_odlet_brany**) dostatečný počet cestujících. Cestující z dané fronty jsou aktivováni voláním funkce **Activate()**[1, 178] čímž je simulováno jejich nastupování. Vzápětí na to je aktivován proces letadla, kterému je tak umožněn odlet.

Proces letadla je implementován třídou[1, 166] **Letadlo**. Proces zákazníka je implementován třídou **Zakaznik**. Popis jejich činnosti je v kapitole 3.2.

Pro otevírání a uzavírání přepážek a bezpečnostní kontroly slouží pomocné procesy **Otevrit** a **Uzavrit**. Pro realizaci vykládky cestujících slouží proces **Vykladani**.

Po ukončení běhu simulace je tisknuta trojice statistik ve formě histogramů[1, 84] popisujících dobu jež letadlo strávilo v systému od přistání po odlet, dobu cestujícími strávenou na bezpečnostní kontrole a celkovou dobu kterou cestující strávili v systému od svého příchodu.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Zvolené simulační experimenty se snaží prověřit zejména chování letiště v případech nárůstu počtu odbavovaných cestujících, počtu letů a jejich hustoty. Tyto experimenty byly provedeny s dobou simulace jeden rok. Sledovanými údaji je doba strávená cestujícími na letišti během odbavení (graf 3), doba kterou trvalo odbavení jednotlivých letadel (graf 4) a doba kterou cestujícím trvalo projít bezpečnostní prohlídku (graf 5).

5.1 Postup experimentování

Jako referenční hodnoty byly zvoleny hodnoty získané z experimentu reprezentujícího běžný provoz na letišti. Ostatní experimenty provedeme tak, že změním konstanty ovlivňující požadované chování simulačního modelu.

5.2 Průběh experimentů

Experiment simulující běžný provoz vychází z hodnot popsanych v kapitole 2. Tento experiment byl proveden pro získání hodnot sloužících pro srovnání s dalšími experimenty a validaci simulačního modelu.

V dalším experimentu byla navýšena průměrná kapacita letadla ze 170 cestujících na 250. Dále byl změněn interval příchodu cestujících z původních 15 až 40 sekund na 10 až 25 sekund. Pomocí těchto experimentů jsme chtěli zjistit jak tato změna ovlivní průběh odbavení cestujících a letadel.

Cílem experimentu kdy letiště za rok mělo odbavit dvojnásobný počet letadel bylo zjistit, zda-li je letiště schopno se při stávajícím vybavení s tímto stavem vypořádat.

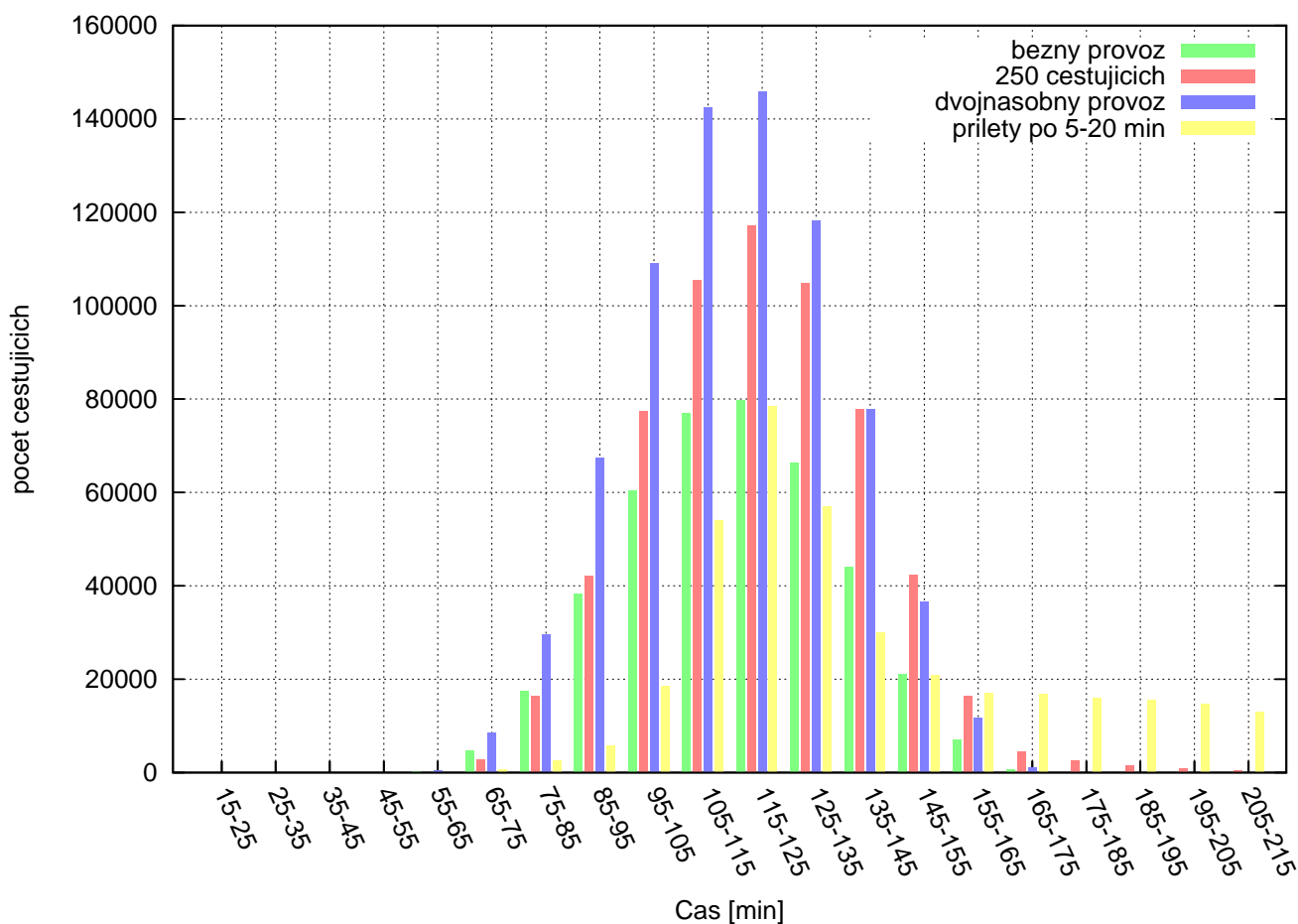
Při získávání informací o letišti bylo zjištěno, že lze bez zpoždění odbavovat letadla pokud nepřilétají v intervalech nižších než 15 minut. Cílem experimentu tedy bylo zjistit jak se letiště zachová budou-li letadla pouze v rozestupech 5 až 20 minut.

Výsledky výše uvedených experimentů jsou zobrazeny v grafech 3, 4 a 5. Průběh označený *bezny provoz* reprezentuje hodnoty ze simulace běžného provozu na letišti. Průběh *250 cestujících* zobrazuje hodnoty simulace kdy byla nastavena kapacita letadel na 250 cestujících. Průběh *dvojnásobny provoz* představuje stav kdy letiště odbavilo dvojnásobný počet letadel než při běžném provozu. Průběh *priletý po 5-20 mint* znázorňuje situaci kdy letadla přilétala po celý rok v rozestupech 5 až 20 minut.

Během testování se jako nejužší místo systému akázal průchod bezpečnostními rámy. Poslední sada experimentů tedy měla za úkol zjistit doby odbavení cestujících v případě že bude k dipozici pouze 1 bezpečnostní rám. Experimenty byly provedeny v simulačním čase 1 den v sezóně a mimo ní. Pro srovnání byly provedy také experimenty kdy byly k dipozici 2 bezpečnostní rámy.

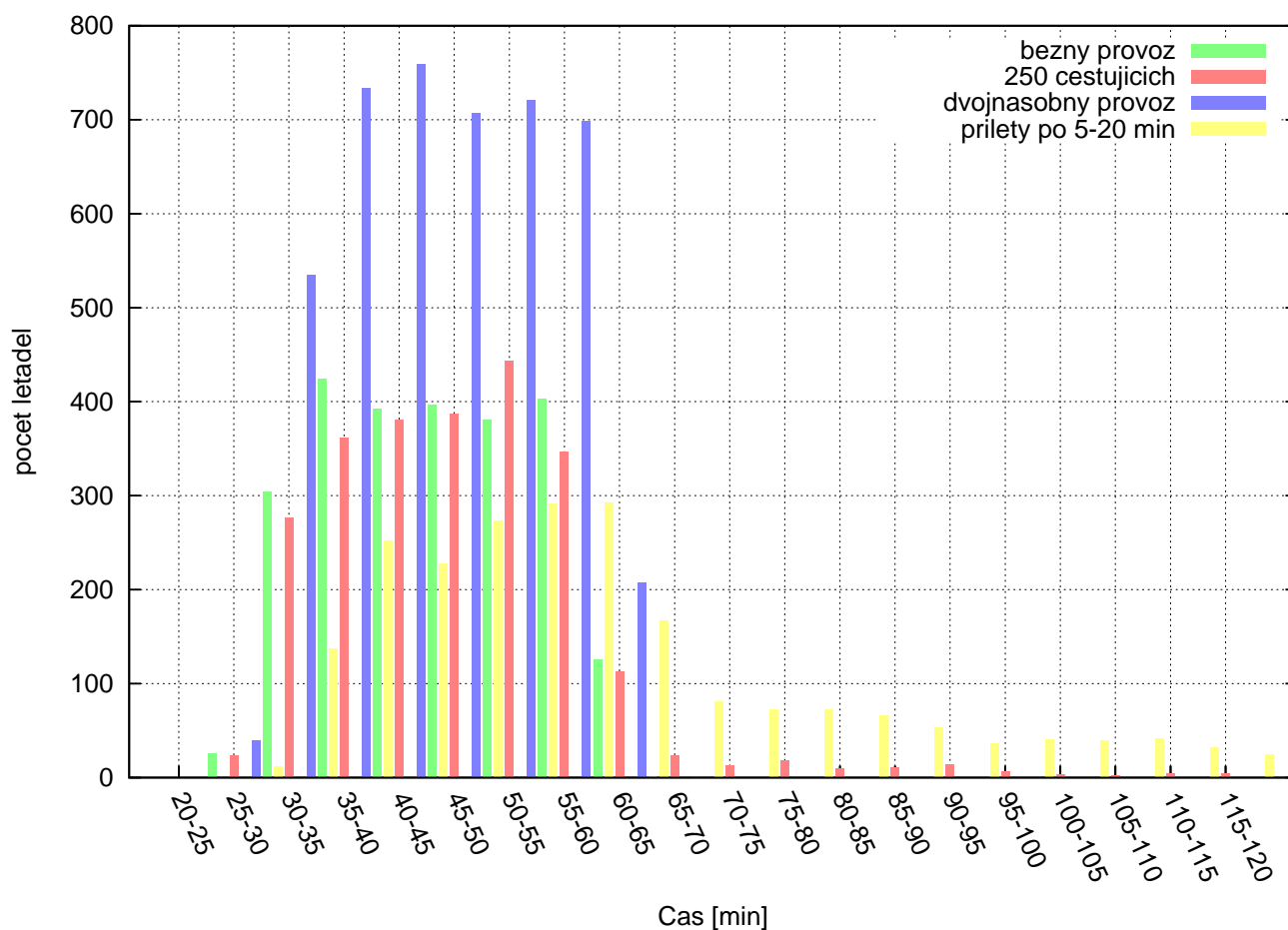
Výsledky těchto experimentů jsou zobrazeny v grafu 6.

Graf na obrázku 3 znázorňuje dobu kterou cestující strávili na letišti. Na grafu je patrné že dobu odbavení cestujících nejvíce ovlivnil experiment při kterém letadla přilétala v časových rozestupech 5 až 20 minut. Při dojnásobném provozu se sice zdvojnásobil počet odbavených cestujících nicméně to nemělo vliv na dobu jejich odbavení oproti běžnému provozu. Pokud byla kapacita letadla 250 cestujících došlo k mírnému nárůstu doby cestujícími strávené na letišti.



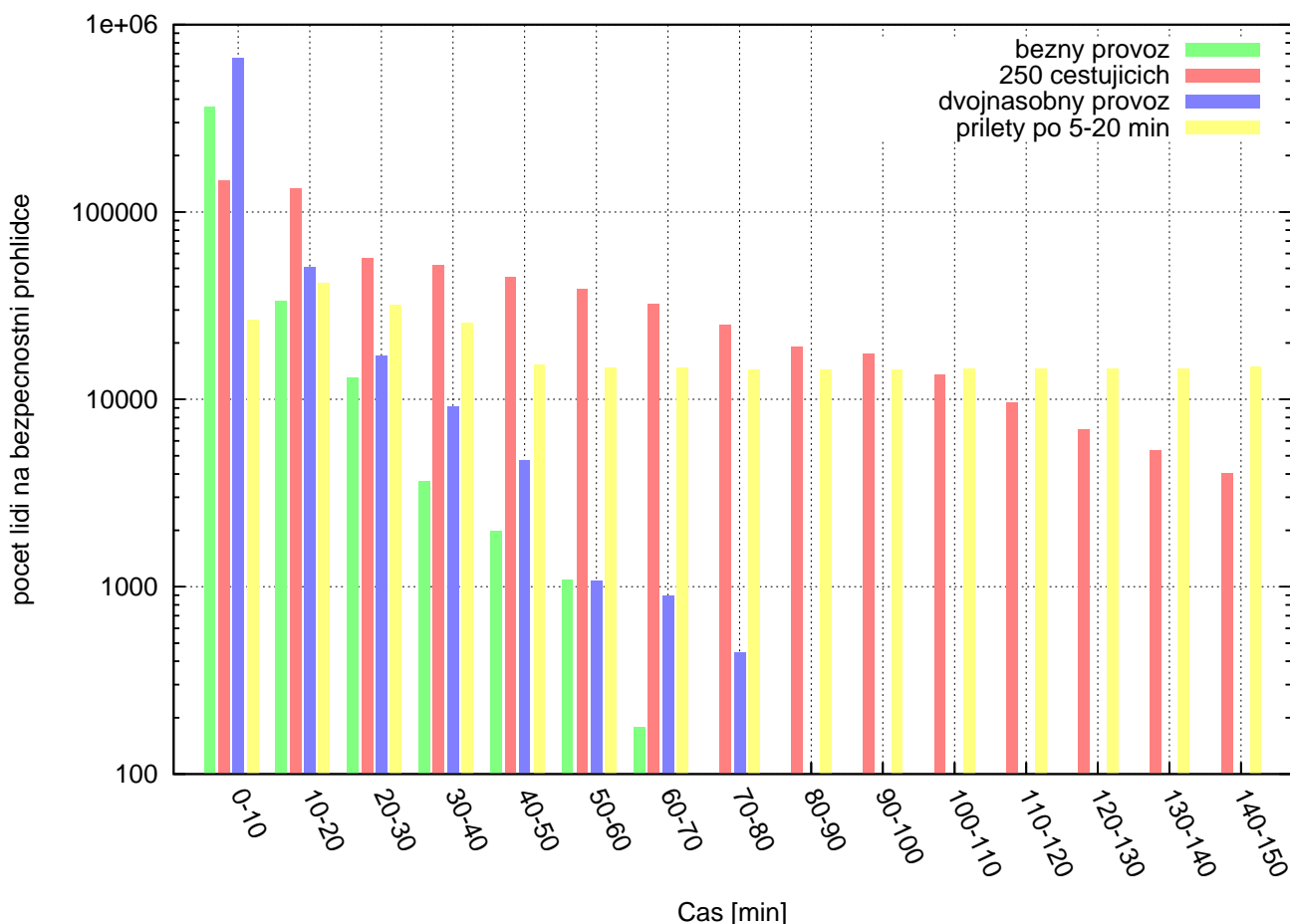
Obrázek 3: Doba strávená cestujícími na letišti

Graf na obrázku 4 zobrazuje dobu potřebnou k odbavení letadel. Z grafu je patrné, že k výraznému zpoždění letadel dochází pouze v případě pokud přilétají v intervalu 5 až 20 minut. Při ostatních experimentech se letadla daří odbavovat ve stanoveném intervalu 25 až 70 minut. V případě kdy kapacita letadla byla 250 cestujících u malého množství letadel byla tato doba překročena.



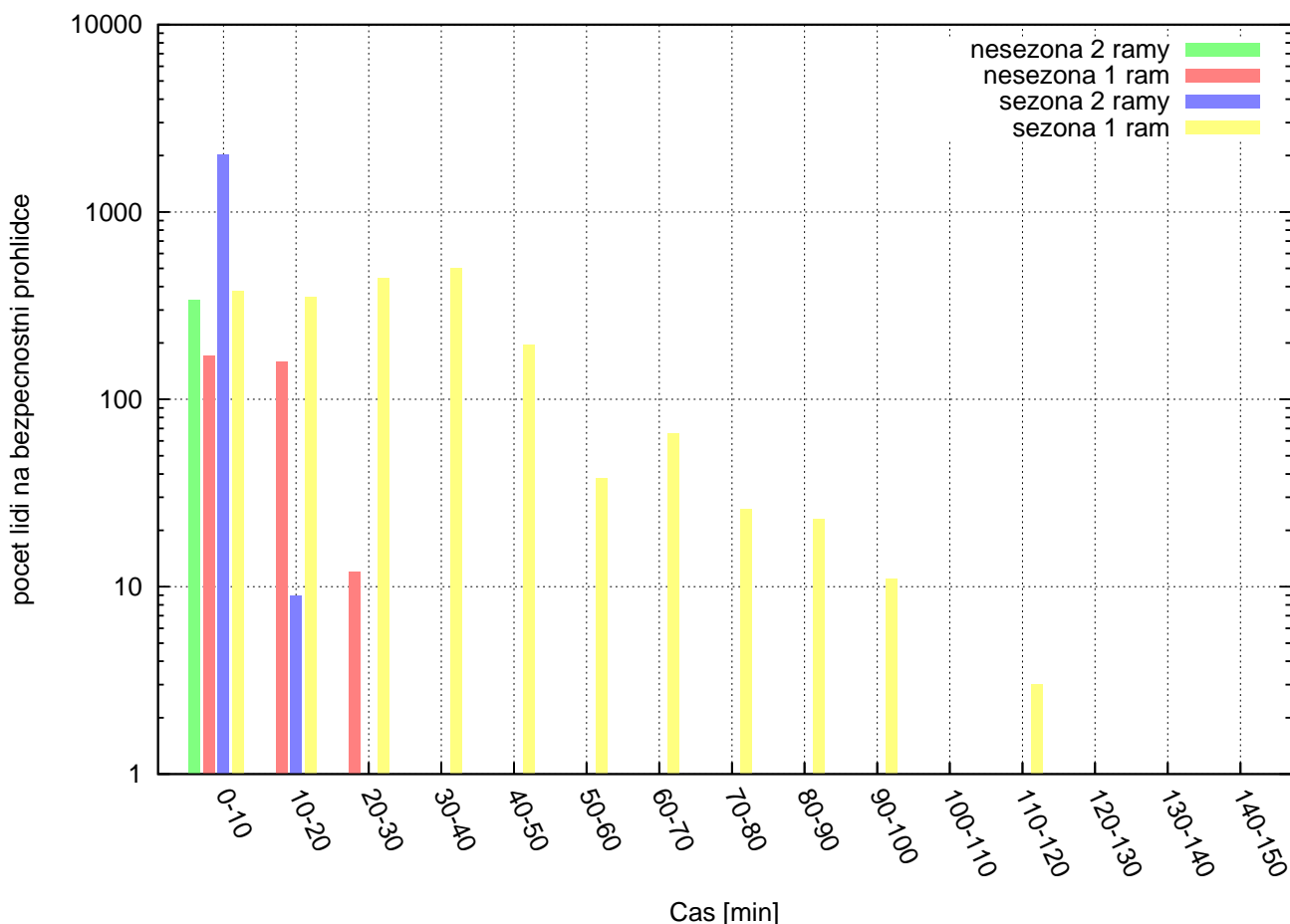
Obrázek 4: Doba potřebná k odbavení letadel

Z důvodů názornějšího zobrazení hodnot bylo zvoleno logaritmické měřítko pro osu y grafu na obrázku 5. Graf znázorňuje dobu kterou cestující potřebují na bezpečnostní kontrolu. Dvojnásobný provoz oproti běžnému nemá velký vliv na tuto dobu. Při zvýšení kapacity letadel nebo krátkých rozestupech při přiletech se doba potřebná na průchod bezpečnostní prohlídkou rapidně zvyšuje.



Obrázek 5: Doba cestujícími strávená na bezpečnostní prohlídce

Pro osu y grafu 6 bylo zvoleno logaritmické měřítko. Tento graf popisuje čas strávený cestujícími na bezpečnostní kontrole při sezónním a mimosezónním provozu s různým počtem bezpečnostních rámců. Je patrné že při použití pouze 1 rámu mimo sezónu nedochází k přílišnému prodloužení doby. V případě že je použit pouze 1 rám během sezóny dochází k dramatickému nárůstu doby potřebné k absolvování bezpečnostní kontroly.



Obrázek 6: Doba cestujícími strávená na bezpečnostní prohlídce

5.3 Závěry experimentů

Bylo provedeno celkově 8 experimentů. Z nichž první 4 probíhali po dobu 1 roku simulačního času a sloužili k vyhodnocení chování letiště při různé hustotě provozu. Zbylé 4 experimenty sloužili k prověření nejužšího místa systému při krizové situaci.

Provedené experimenty pokrývají všechny možné varianty nárůstu hustoty provozu při zachování výchozích zdrojů letiště.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Provedné experimenty ukazují připravenost letiště v případě nárůstu hustoty provozu jak cestujících tak letadel.

Výsledky ukazují že letiště je v současnosti připraveno na odbavování dvojnásobného počtu letadel bez zpoždování odletů letadel. Tento výsledek potvrdil informaci získanou při konzultaci s panem Langem.

Při experimentech vyšlo najevo že nejužším místem je průchod bezpečnostními rámy při bezpečnostní kontrole. Pokud by došlo k nárůstu počtu cestujících odbavovaných na jeden let nebo by se snížily rozestupy mezi přilétajícími letadly na 5 až 20 minut je nezbytné vybavit bezpečnostní kontrolu více stanovišti pro jednotlivé úkony.

Bylo zjištěno, že snížení počtu bezpečnostních rámu na 1 vede k ovlivnění doby odbavení cestujících pouze během sezónního provozu. Z toho vyplývá, že lze ušetřit zdroje během nesezónního provozu používáním pouze jednoho bezpečnostního rámu. Toto sice mírně navýší dobu potřebnou k průchodu bezpečnostní prohlídkou nicméně rozdíl v průměrné době odbavení cestujícího je 2 minuty.

Reference

- [1] PERINGER, Petr. FIT VUT. Modelování a simulace [online]. 2012 [cit. 2012-12-04]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [2] Témata projektů IMS 2012/13. HRUBÝ, Martin. FIT VUT. [online]. 2012/2013 [cit. 2012-12-04]. Dostupné z: <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/26> - Okruh 3: SHO letiště
- [3] PERINGER, Petr. FIT VUT. SIMLIB: SIMulation LIBrary for C++ [online]. [cit. 2012-12-04]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [4] Letiště Tuřany [online]. 2012 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://www.bruno-airport.cz/>
- [5] Letiště Tuřany: statistiky. [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.bruno-airport.cz/letiste/statistiky/>