

SIMULÁCIE TEORETICKÝCH SCENÁROV NÁSTUPU CESTUJÚCICH PRE POTREBY REGIONÁLNEJ LINKY Z LETISKA ŽILINA S VYUŽITÍM VÝPOČTOVEJ TECHNIKY

Ing. BORIS MREKAJ

*Letisková spoločnosť Žilina, a.s.
mrekaj@airport.sk*

Ing. Martin HROMÁDKA, PhD.

*Letisková spoločnosť Žilina, a.s.
hromadka@airport.sk*

Ing. Lenka SURMOVÁ

*Letisková spoločnosť Žilina, a.s.
surmova@airport.sk*

Abstrakt

Článok posudzuje medziletové odbavenie malých turbovrtuľových lietadiel na tratiach z regionálnych letísk so zameraním na kritické činnosti odbavovacieho procesu, konkrétne nástup cestujúcich. Článok poskytuje prehľad o súčasnom stave problematiky a popisuje metodiku simulácií s využitím výpočtovej techniky. Na záver sú uvedené výsledky a posúdené hodnoty interferencií pri jednotlivých scenároch.

Kľúčové slová

Simulácie, nástup cestujúcich, optimalizácia, regionálne letiská.

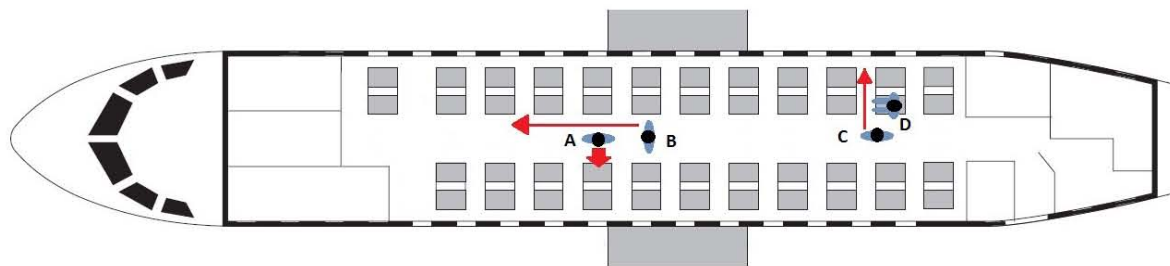
1. Úvod

Skrátenie pobytu na zemi znamená pre lietadlo, lietajúce na krátkych až stredných tratiach niekoľkokrát denne, možnosť zvýšenia počtu denných frekvencií. Konzekvence takéhoto zvýšenia sú zjavné. Z marketingového hľadiska znamená viac frekvencií atraktívnejší letový poriadok; atraktívnejší letový poriadok znamená získanie výhody voči konkurencii. Z ekonomického hľadiska znamená viac letov viac prepravených cestujúcich; viac prepravených cestujúcich zasa prináša vyššie výnosy.

Otočku (turnaround time) možno skrátiť parciálnym skrátením trvania jednotlivých handlingových činností, najmä tých kritických. Preto budú v tomto článku popísané a simulované rôzne scenáre nástupu cestujúcich, ako jednej z kritických činností pri technickom odbavení lietadla. Cieľom bude poskytnúť odpoveď na otázku, ktorý z nich je optimálny pri snahe o skrátenie celkového času medziletového odbavenia malých turbovrtuľových lietadiel.

2. Súčasný stav

Tím z Arizona State University vo svojej štúdii [1] zaviedol model interferencií. *Interferencia* bola definovaná ako udalosť, kedy cestujúci zablokuje prúd ostatných cestujúcich putujúcich k svojim sedadlám. Celkový čas dĺžky trvania procesu nástupu cestujúcich do lietadla je priamoúmerný počtu interferencií. Na zistenie počtu interferencií bol vyvinutý analytický model, neskôr simulačný model vo forme počítačového programu pre typ Airbus A320. Štúdia sa zamerala na hľadanie takého modelu, ktorý by minimalizoval interferencie medzi cestujúcimi, pričom definovala dva typy interferencií. Prvou z nich je tzv. *uličková interferencia*, ktorou je mienená situácia, kedy cestujúci A (*Obrázok 1*), stojaci v uličke ukladajú si svoju príručnú batožinu do úložných priestorov nad sedadlami, zablokuje cestu cestujúcemu B, ktorý sa snaží dostať k svojmu sedadlu umiestnenému v prednej časti kabíny, a tak musí počkať, kým cestujúci uloží svoju príručnú batožinu a usadí sa na svojom mieste. Uličková interferencia môže nastať medzi cestujúcimi v rámci jednej skupiny povolanej k nástupu, i medzi cestujúcimi rôznych takýchto skupín. Druhým typom je *sedadlová interferencia*, ktorá je definovaná ako situácia, kedy cestujúci C, majúci miesto pri okne, nastupuje neskôr ako cestujúci D, sediaci na tej istej strane a v tom istom rade, a ktorý je už usadený na svojom mieste pri uličke. Cestujúci C musí počkať, pokiaľ sa cestujúci D postaví a umožní mu prístup k sedadlu pri okne.



Obrázok 1 – Interferencie pri nástupe cestujúcich

Výsledkom počítačových simulácií bolo potvrdenie faktu preukázaného v predchádzajúcom výskume pre spoločnosť Boeing, že metóda outside-in je rýchlejšia ako štandardná metóda usádzajúca cestujúcich od zadnej časti kabíny smerom k predným dverám použitým na nástup (back to front). Dobré výsledky dosiahla i metóda, kedy boli cestujúci rozdelení do skupín podľa písmen prislúchajúcich ich sedadlu [2].

Neskôr tím z Arizona State University v spolupráci s leteckou spoločnosťou America West Airlines vyvinul nový scenár nástupu cestujúcich, ktorý tento dopravca vzápätí implementoval do prevádzky. Ide o kombináciu systému outside-in s tradičným systémom back to front. Výsledný scenár je známy pod názvom systém obrátenej pyramídy. Systém pri skúšaní v reálnej prevádzke pri odletoch spoločnosti America West z letiska Los Angeles, vykázal skrátenie času trvania nástupu cestujúcich o 39 % [3].

Podľa [4] má na efektivitu scenára nástupu vplyv i to, či sa cestujúci, ktorí sú zaradení do určitej skupiny, dostavia do gatu načas. Často sa totiž stáva, že cestujúci mešká a prichádza na poslednú chvíľu. Všetky prechádzajúce štúdie uvažovali s faktom, že všetci cestujúci sú pred zahájením procesu nástupu k dispozícii. Výsledok je na prvý pohľad prekvapivý s určitou dávkou protirečenia. Štúdia preukázala, že čím viac cestujúcich nenastupuje v rámci svojej skupiny (pretože sa nedostavia v čase vyzvania danej skupiny k nástupu), tým sa proces nástupu stáva rýchlejšim. Na druhý pohľad je však tento záver logický. Čím menšia je skupina, tým menej interferencií nastane a tým rýchlejšie dôjde k jej usadeniu a možnosti usadenia nasledujúcej skupiny. Cestujúci, ktorí prichádzajú neskoro sú usádzaní jednotlivito a to už v čase, kedy sú ostatní cestujúci usadení na svojich miestach, čím nedochádza k uličkovým interferenciám, čo napomáha urýchliť celý proces nástupu. Ako referenčný scenár bol zvolený tzv. náhodný nástup. Pri ňom sú cestujúci vyzvaní k nástupu všetci naraz, prednosť majú len cestujúci vyšších tarifných tried.

Štúdia [5] použila na počítačovú simuláciu model lietadla so 120 sedadlami jedinej triedy bez uvažovania prioritného boardingu. Na optimalizáciu boli využité Markovove reťazce, konkrétne algoritmus známy pod označením MCMC (Markov Chain Monte Carlo). Rezultát poukázal na neefektivitu tradičnej back to front metódy, keďže v jednom okamihu dochádza k ukladaniu príručnej batožiny len v jednej časti lietadla, kým ostatná je nevyužitá.

Usporiadanie kabíny zvažovala i štúdia [6], ktorá pri svojich simuláciách zohľadnila také faktory, ako počet sedadiel v rade a rozstup sedadiel. Využitá bola dvojrozmerná časopriestorová geometria podľa Lorentza, ktorá je úzko spojená s teóriou relativity a prvé uplatnenie mimo fyziky našla práve v problematike optimalizácie procesu nástupu cestujúcich do lietadla. Výsledky boli porovnané s výsledkami predchádzajúcich výskumov, pričom významnejšie rozpory sa nenašli.

Nástroj Airplane Boarding Simulator (ABS) bol vyvinutý v rámci [7]. Proces nástupu simuloval komplexnejšie ako v predchádzajúcich prípadoch, od gatu až po usadenie cestujúceho v jemu pridelenom sedadle. Nástroj bol kalibrovaný za pomoci videozáznamov z letiska Zürich. Cieľom štúdie bolo zistiť dopad viacerých faktorov na celkový čas nástupu. Skúmal sa vplyv tzv. pre-boarding area, počtu príručných batožín, scenáru nástupu cestujúcich a procedúr za prepážkou v gate. Závety konštatovali, že využitie pre-boarding area, teda miesta, kde sa cestujúci zhromažďujú pred samotným aktom nástupu, dokáže celý proces urýchliť. Rovnako nástup urýchli i menší počet príručných batožín (uvažované boli i vrchné vrstvy odevu, teda všetko, čo cestujúci ukladá do úložných priestorov) na jedného cestujúceho.

Keďže pri väčšine týchto štúdií boli použité počítačové simulácie, testovaných bolo niekoľko desiatok možných scenárov (30 až 60). V Tabuľke 1 je uvedený výber len niektorých základných možností, ktorých následnou modifikáciou sa týchto niekoľko desiatok možností získalo. Výber je zoradený podľa výsledkov, najrýchlejšie

scenáre sú uvedené v spodných riadkoch. Všetky uvažujú s prúdovými jednouličkovými lietadlami s nástupom cez predné dvere.

Tabuľka 1 - Prehľad základných scenárov nástupu cestujúcich s ich výhodami

Scenár	Výhoda oproti predchádzajúcemu
Front to back	
Back to front	Logickejší sled skupín, k blokovaniu uličky nedochádza hneď na začiatku kabíny
Náhodný nástup	Cestujúci sú usádzaní v celom rozsahu kabíny, nie len v istej časti
Outside-in	Vylúčené sedadlové interferencie
Nástup podľa písmen	Menší počet uličkových interferencií z dôvodu polovičnej veľkosti skupiny
Obrátená pyramída	Viac skupín, tzn. menej uličkových interferencií
Individuálny nástup	Nedochádza k žiadnym typom interferencií

3. Simulácie s využitím výpočtovej techniky

V rámci výskumu boli vykonané dva druhy simulácií; virtuálne a reálne. Oba druhy simulovali scenáre nástupu cestujúcich do lietadla ATR 42-500 v konfigurácii ČSA. Prvé z nich, virtuálne, podrobili v rámci svojich možností testovaniu všetky vyššie uvedené scenáre. V tejto časti bude čitateľ oboznámený so zvoleným modelom a výsledkami, ktoré boli dosiahnuté pri modelovaní nástupu pomocou výpočtovej techniky.

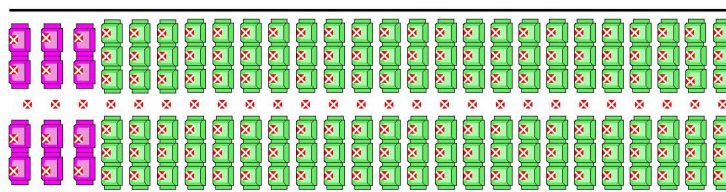
3.1. Metodológia

Na uskutočnenie počítačových simulácií bol využitý model vyvinutý v rámci **Error! Reference source not found.** tímom z Arizona State University, ktorý viedol Menkes van den Briel. Ako bolo uvedené vyššie, táto skupina troch výskumných pracovníkov vytvorila model interferencií, ktorý pri svojich simuláciách aj použila, a takisto je (v spolupráci s America West Airlines v rámci projektu [3]) autorom scenára nástupu metódou obrátenej pyramídy.

Tvorba modelu pozostávala z dvoch častí. V prvej z nich, kde autori využili svoje matematické zručnosti, bol vytvorený analytický model, ktorý popisoval proces nástupu a pohyb cestujúceho smerom od dverí lietadla naprieč uličkou až k jemu pridelenému miestu. V rámci druhej fázy bol analytický model doplnený vstupnými údajmi, ktorých získanie umožnil v rámci tejto spolupráce personál spoločnosti America West Airlines, ktorý filmoval skutočný proces nástupu cestujúcich, pričom kamery boli umiestnené v nástupnom moste a v kabíne lietadla. Na základe analýzy týchto záznamov boli určené rýchlosti pohybu cestujúcich, dĺžky trvania jednotlivých interferencií ako aj dĺžky trvania ukladania príručnej batožiny do úložných priestorov lietadla.

Vďaka takto zozbieraným údajom bolo možné na základe analytického modelu vytvoriť počítačový simulačný model s veľkou mierou reálnosti výstupných údajov. Keďže v práci je použitý ten istý model, údaje takto získané možno považovať za dostatočne dôveryhodné.

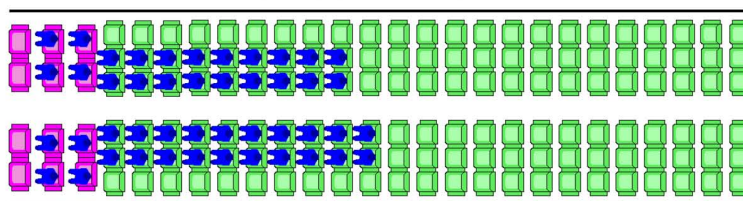
Model, s ktorým van den Briel a spol. pracovali, zodpovedal lietadlu typu Airbus A320 s 23 radmi po šesť sedadiel ekonomickej triedy a tromi radmi po štyri sedadlá triedy business, teda s celkovou kapacitou 150 cestujúcich (Obrázok 2, predná časť lietadla je vľavo). Nastupovalo sa prednými dverami, tok cestujúcich pri nástupe bol teda v smere zľava doprava.



Obrázok 2 – Schéma pôvodného simulačného modelu vytvoreného tímom van den Briel a spol.

Tento model bol vytvorený v simulačnom softvéri ProModel a zbieral údaje o počte sedadlových a uličkových interferencií a o dĺžke trvania simulovaného procesu nástupu cestujúcich. Simulačný nástroj ProModel je vo svojej plnej verzii nákladným riešením, preto bola virtuálne simulácie využitá verzia ProModel Student, ktorá síce umožňuje samotné simulácie v rovnakom rozsahu ako plná verzia, neumožňuje však úpravu modelov po grafickej či funkčnej stránke, čo znamená, že nemožno vytvoriť model kopírujúci ATR 42-500 vo verzii ČSA s 12 radmi pre 46 cestujúcich.

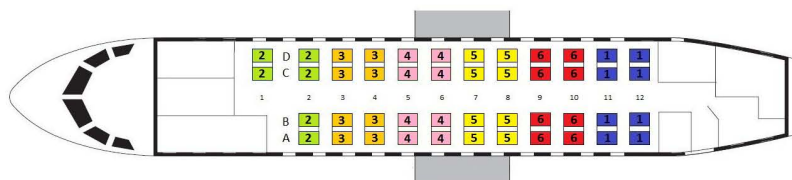
Preto bol model van den Briela a spol. použitý v existujúcej grafickej úprave a upravený po stránke technickej, tzn. pri simuláciách nebolo využitých všetkých 150 sedadiel, ale len 46 a to tak, aby ich rozloženie zodpovedalo rozloženiu sedadiel v kabíne ATR 42-500 Českých Aerolínií (Obrázok 3). Keďže tok cestujúcich musel kvôli limitovanej verzii programu ProModel zostať v smere zľava doprava a pri ATR 42 sa nástup uskutočňuje zadnými dverami, pre lepšiu predstavivosť dodávame, že v prípade tohto upraveného modelu je predná časť lietadla vpravo.



Obrázok 3 – Schéma simuláneho modelu upraveného pre ATR 42-500 v konfigurácii ČSA

Van den Briel a spol. vo svojich štúdiách **Error! Reference source not found.** a [3] analyzovali také scenáre, ktoré pri nástupe využívali rozdelenie cestujúcich do najviac šiestich skupín, čomu bol prispôsobený model vytvorený pomocou softvéru ProModel a scenár s vyšším počtom skupín cestujúcich nepodporuje. Keďže scenáre vytvorené v predchádzajúcej podkapitole uvažujú v dvoch prípadoch s viac ako šiestimi scenármi, nie je možné ich pomocou tohto modelu simulovať. Ide o dva prípady, Nástup podpredu dozadu a Individuálny nástup. Druhý prípad nie je možné daným modelom simulovať vôbec, prvý možno simulovať po úprave.

Nástup odredu dozadu podľa radov bol upravený tak, aby delil cestujúcich do šiestich skupín, namiesto pôvodných dvanástich. To znamená, že jednu skupinu nebude tvoriť jeden rad, ale dva rady (Obrázok 4), čím sa počet skupín cestujúcich zmenší na počítačovým modelom prijateľný počet. Scenár bol teda simulovaný v tejto úprave.



Obrázok 4 – Schéma scenára odpredu dozadu podľa radov použitá pri počítačových simuláciách

Zvyšné scenáre boli použité v nezmenenej podobe. Dokopy bolo teda simulovaných deväť scenárov, každý bol opakovaný 150 krát, tzn. celkovo prebehlo 1350 virtuálnych simulácií. Súhrn a interpretáciu výsledkov uvádzame v ďalšom.

4. Výsledky

Ako bolo uvedené vyššie, zvolený model zaznamenáva pre každé opakovanie simulácie daného scenára tri veličiny. Celkovú dĺžku trvania virtuálneho procesu nástupu cestujúcich, počet sedadlových interferencií a počet uličkových interferencií.

Pri každom z deviatich simulovaných scenárov bol zo súboru 150 hodnôt získaných 150 simuláciami daného scenára určený aritmetický priemer, maximálna hodnota a minimálna hodnota každej zaznamenatej veličiny. Tieto hodnoty uvádza Tabuľka 2.

Tabuľka 2 – Priemerné, maximálne a minimálne hodnoty dĺžok trvania nástupu, sedadlových interferencií a uličkových interferencií

	Dĺžka trvania (min:s)			Sedadlové interferencie			Uličkové interferencie		
	Priem.	Max.	Min.	Priem.	Max.	Min.	Priem.	Max.	Min.
Nástup bez pridelených sedadiel	7:41	10:33	5:33	11,2	17	6	14,3	22	8
Náhodný nástup	7:46	10:59	6:08	11,4	17	5	15,1	23	7
Nástup odpredu dozadu s dvoma zónami	7:55	11:10	5:52	11,8	19	5	14,5	22	9
Nástup odpredu dozadu podľa radov	8:09	10:28	6:12	11,9	18	6	14,1	19	9
Nástup s rotovaním zón	8:21	11:18	6:11	11,2	17	4	15,1	23	9
Nástup metódou outside-in	7:20	10:17	5:18	2,2	4	0	13,6	22	4
Nástup podľa písmen	7:21	10:01	5:33	2,1	4	0	13,1	21	6
Nástup metódou obrátenej pyramídy	7:18	9:52	4:48	2,1	4	0	12,9	19	7
Blokový nástup	7:24	9:40	5:27	2,0	4	0	13,0	22	6

Na úvod treba poznamenať, že časový rozdiel medzi priemernými hodnotami dĺžky trvania jednotlivých scenárov nástupu nie je veľký. Rozdiel medzi najrýchlejšou a najpomalšou priemernou dĺžkou trvania nástupu cestujúcich je 63 sekúnd.

Práve podľa priemernej dĺžky trvania virtuálneho nástupu možno rozdeliť simulované scenáre do troch skupín. Prvú skupinu, ktorá dosiahla najhoršie výsledky, tvoria modifikácie scenára odpredu dozadu deliace cestujúcich do skupín podľa zón, kde zóna je tvorená určitým počtom radov v priečnom smere. Ide o scenáre odpredu dozadu s dvoma zónami, odpredu dozadu podľa radov a s rotovaním zón. Posledný menovaný sa neosvedčil vôbec a so stratou 12 sekúnd za druhým najpomalším spôsobom bol vyhodnotený ako najpomalší. Rozdiel medzi druhým a tretím najpomalším spôsobom je 9 sekúnd. Tieto scenáre, napriek tomu, že ide o v praxi používané modely, ktoré uplatňujú logický a premyslený postup nástupu, dosiahli horšie výsledky ako scenáre usádzajúce cestujúcich na báze náhody.

Druhú skupinu tvoria práve scenáre usádzajúce cestujúcich náhodne. Dva scenáre sa líšia len v tom, či praktizujú seating, alebo nie. Rozdiel medzi priemernými dĺžkami trvania pri scenári bez pridelených sedadiel a scenári s náhodným nástupom je 5 sekúnd. Na základe tohto faktu možno konštatovať, že pre letecké spoločnosti nie je výhodné pri malých turbovrtuľových lietadlách prechádzať na scenár bez seatingu, ktorý proces nástupu výrazne nezrýchli.

Poslednou skupinou je skupina štyroch scenárov, ktorá dosiahla najlepšie priemerné dĺžky trvania virtuálneho nástupu. Tvoria ju scenáre, ktoré implementujú prvky metódy outside-in. Rozdiely sú malé, medzi troma najrýchlejšími scenármi sú to 3 sekundy, medzi prvým a štvrtým najrýchlejším 6 sekúnd. Ako optimálna sa ukázala metóda obrátenej pyramídy s priemernou dĺžkou trvania 7 min 18 s. Simulácie teda preukázali, že implementácia prvkov systému outside-in do procesu nástupu cestujúcich, prinášajú badateľne lepšie výsledky.

Pokiaľ bolo v úvode konštatované, že rozdiel medzi priemernými dĺžkami časov trvania simulovaného nástupu nie je veľký, to isté možno tvrdiť o rozdieloch medzi maximálnou a minimálnou dĺžkou trvania nástupu (rozsahoch) pri jednotlivých scenároch. Najväčší rozsah nameraných hodnôt bol zaznamenaný pri nástupe odpredu dozadu s dvoma zónami (5 min 18 s) a najmenší pri blokovom nástupe (4 min 13 s).

Rovnaké tvrdenie už ale nie je pravdivé pri posudzovaní rozdielu medzi najrýchlejším a najpomalším časom jednej simulácie pri ktoromkoľvek scenári. Najkratšie trvanie nástupu sa dosiahlo pri nástupe pomocou obrátenej pyramídy a malo hodnotu 4 min 48 s. Naopak, najdlhšia simulácia trvala 11 min 18 s a tento čas bol zaznamenaný pri nástupe s rotovaním zón. Rozdiel medzi týmito dvoma hodnotami predstavuje 6 min 30 s.

5. Záver

Pri pohľade na hodnoty sedadlových interferencií v Tabuľke 2 je zrejmé, že zavedením akejkoľvek metódy nesúcej prvky systému outside-in, minimalizujeme tieto interferencie na nulu. Hodnota 4, ktorá je pri takýchto scenároch uvádzaná ako maximálna, však tomu na prvý pohľad nenasvedčuje. Dôvod, prečo tam naozaj nie je nula, je zrejmý. Pri usádzaní business cestujúcich ešte nie je aplikovaný systém outside-in, tzn. v prípade, ak sa najprv usadia cestujúci sediaci pri uličke, musia uvoľňovať miesto spolucestujúcim sediacim pri okne. V časti kabíny pre business cestujúcich sú pri uličke štyri sedadlá, a teda maximálny počet sedadlových interferencií v tomto prípade je práve 4.

Hodnoty sedadlových interferencií (priemerné, maximálne, minimálne) pri ostatných scenároch sa líšia len málo.

Pri uličkových interferenciách badať rovnaký trend ako pri analýze dĺžok trvania jednotlivých scenárov, a teda, že ako optimálny sa ukazuje scenár obrátenej pyramídy (12,9 interferencie), na opačnom póle je scenár nástupu s rotovaním zón spolu s náhodným nástupom so seatingom (15,1 uličkovej interferencie). Zaujímavosťou je, že scenáre s prvkami outside-in majú, vychádzajúc z hodnôt aritmetického priemeru, rádovo o 1 až 2 uličkové interferencie menej ako ostatné scenáre.

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry; ITMS 26220220156“.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Literatúra

- [1] Menkes H. L. van den Briel et al. *The Aircraft Boarding Problem* [online]. 2003. Dostupné na internete: <http://leeds-faculty.colorado.edu/vandenbr/papers/IERC2003MvandenBriel.pdf> (citované: 27. 8. 2014)
- [2] Matthew Pan. *Efficient boarding procedures for midsized passenger aircraft* [online]. 2004. Dostupné na internete: <http://leeds-faculty.colorado.edu/vandenbr/papers/MatthewPanEssay.pdf> (citované: 28. 8. 2014)
- [3] M.H.L. van den Briel, J.R. Villalobos, G.L. Hogg, T. Lindemann, A. Mulé. *America West Develops Efficient Boarding Strategies* [online]. 2005. Dostupné na: <http://www.math.washington.edu/~billey/classes/math.381/course.notes/interfaces.amwest.pdf> (citované 20. 9. 2014)
- [4] P. Ferrari. *Improving passenger boarding in airplanes using computer simulations* [online]. 2005. Dostupné na internete: <http://leeds-faculty.colorado.edu/vandenbr/papers/05sep05article.pdf> (citované 11. 9. 2014)
- [5] Jason Steffen. *Optimal Boarding Method for Airline Passengers* [online]. 2008. Dostupné na internete: <http://lss.fnal.gov/archive/2008/pub/fermilab-pub-08-035-a-cd.pdf> (citované: 18. 9. 2014)
- [6] Eitan Bachmat et al. *Analysis of Airplane Boarding Times* [online]. 2009. Dostupné na internete: <http://www.cs.bgu.ac.il/~ebachmat/managesubmit.pdf> (citované: 21. 8. 2014)

- [7] A. Steiner, M. Philipp. Speeding up the Airplane Boarding Process by Using Pre-Boarding Areas [online]. 2009. Dostupné na internete: <http://www.strc.ch/conferences/2009/Steiner.pdf> (citované 31. 8. 2014)
- [8] P.Kurdel, J.Labun, F. Adamčík: The Estimation Method of the Characteristics of an Aircraft with Electromechanic Analogue. Our Sea (Naše More), Volume 61. ISSUE 1-2, page 18-21, Dubrovnik, may 2014, ISSN 0469-6255 E-ISSN 1848-6320.