

MODELOVÁNÍ JEDNODUCHÉHO PROCESU ODBAVOVÁNÍ ZAVAZADEL JAKO SOUSTAVY DOPRAVNÍKŮ

Vladimír Hanta

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav počítačové a řídicí techniky

Klíčová slova: modelování a simulace, systémy diskretních událostí, odbavování zavazadel na letišti, systém dopravníků

1 Úvod

Tvorba počítačových modelů a experimenty s těmito modely se od druhé poloviny minulého století začaly používat k návrhu a zlepšování výrobních, obslužných a logistických procesů. Bylo možné prověřit i situace a podmínky, které nešlo z různých důvodů provést na existujících reálných objektech. Simulační postupy často vedly ke zlepšení efektivity, snižování nákladů a zvýšení zisku [5].

Základním úkolem letecké dopravy je přepravit na místo určení nejen cestující, ale i všechna jejich zavazadla. Proto v moderní letecké dopravě jako důležitá část letištní infrastruktury mají velký význam systémy odbavování zavazadel. Jejich selhání vede často ke kolapsu a zablokování letiště. Tyto systémy zajišťují identifikaci, třídění a dopravu zavazadel všech cestujících. Přitom čas na odbavení je omezen – všechna zavazadla musí být připravena 10 – 15 minut před odletem. Nároky na systém odbavování zavazadel se zvyšují s rostoucím počtem cestujících, letů a letových destinací. Jediným řešením je plně automatizovaný systém odbavování zavazadel. Automatický systém by měl především eliminovat chyby v třídění, které jsou časté při ruční manipulaci a které jsou nejčastější příčinou ztráty zavazadel.

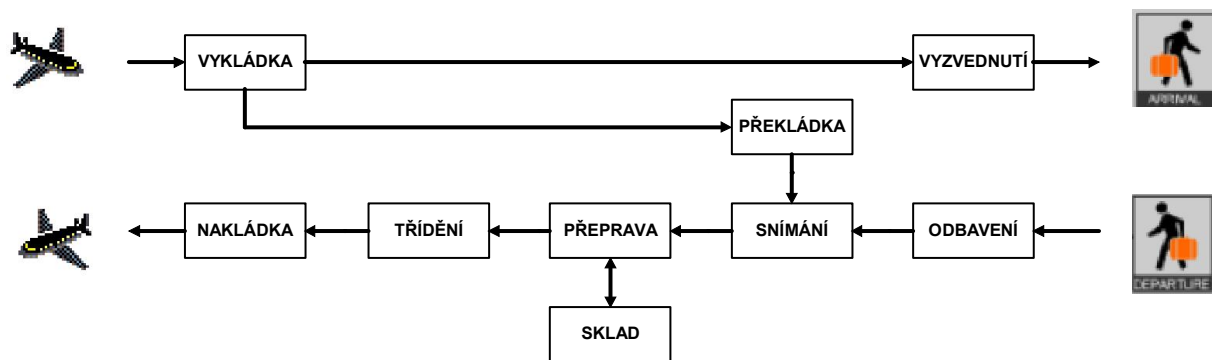
Vývoj automatických systémů odbavování zavazadel, analýza a vylepšování jejich činnosti nejsou možné bez tvorby počítačových modelů a následných simulačních experimentů. Systémy odbavování zavazadel lze modelovat jako soustavy vzájemně propojených dopravníků. Soustava dopravníků musí mít zabudován podsystémy pro snímání identifikačních údajů zavazadel, jejich třídění podle místa určení a vyzvedávání cestujícími. V příspěvku je popsán jednoduchý systém odbavování zavazadel modelovaný jako systém diskretních událostí [1, 2] v prostředí simulačního programu Witness PwE.

2 Odbavování zavazadel na letištích

Podle Směrnice Rady EU 96/67/ES [6] jsou služby pozemního odbavování zavazadel zásadní pro řádné provozování letecké dopravy a tvoří podstatný příspěvek k účinnému využívání infrastruktury letecké dopravy. Odbavování zavazadel zahrnuje manipulaci se zavazadly v třídícím prostoru, jejich třídění, přípravu k odletu, nakládání na zařízení určené k jejich přemísťování z letadla do třídícího prostoru a zpět a jejich vykládání z tohoto zařízení a přepravu zavazadel z třídícího prostoru do prostoru jejich vyzvedávání.

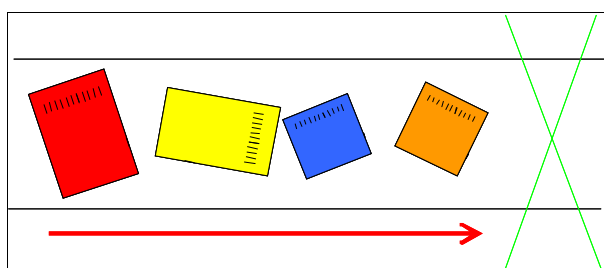
Letištní systémy odbavování a zpracování zavazadel [8] mají tedy v podstatě tři hlavní úkoly (obr. 1):

- dopravit zavazadla od odbavovací přepážky k vozíku nebo kontejneru v odletovém prostoru,
- dopravit zavazadla od příletu k odletu při tranzitu,
- dopravit končící zavazadla z letadel, která právě přistála, na výdejevý karusel pro cestující.



Obr. 1. Zjednodušené schéma procesu odbavování zavazadel na letištích

Proces začíná u odbavovací přepážky. Její pracovník vloží údaje o letu do počítače, vytiskne visačku s čárovým kódem, který obsahuje veškeré údaje o letu. Dále zváží zavazadlo a připevní naň tuto visačku. Zavazadla nejprve projdou bezpečnostní kontrolou. Poté je sběrný dopravník dopraví k soustavě skenerů, které přečtou čárový kód. Tato soustava je tvořena polem snímačů čárového kódu kolem dopravníku, takže je možné snímat kód i na visačkách, které jsou viditelné jen pod úrovní dopravníku (obr. 2). Pro soustavu snímačů je viditelných asi 90 % čárových kódů na visačkách zavazadel. Automatický skener čárových kódů mívá podle výrobců úspěšnost správného přečtení viditelného čárového kódu okolo devadesáti procent. Podle leteckých společností je praktická spolehlivost správného přečtení čárového kódu menší než 85 %. Laserové snímače čárových kódů mají dvě hlavní nevýhody: v každém okamžiku lze přečíst pouze jediný kód (čtení je sekvenční) a dále kód musí být v přímém zorném poli snímačů. V současnosti někteří, zejména asijské, dopravci testují RFID (Radio Frequency Identification) čipy. Ukazuje se, že jejich spolehlivost je vyšší než 90 %. Navíc snímače RFID čipů jsou schopné souběžného čtení velkého množství čipů najednou a nevyžadují volné zorné pole. Po přečtení kódu je počítačový systém neustále informován o pohybu zavazadla. V případě, že se skeneru nepodaří visačku přečíst, třídič vyklopí zavazadlo na stanici ručního kódování.



Obr. 2. Schéma skenování různě natočených čárových kódů

Po ručním sejmutí kódu se zavazadlo vrací na standardní cestu. Zavazadla putují dál na třídící dopravník, který podle pokynů řídicího systému posouvá zavazadla na skluzy jednotlivých letů. Když se zavazadlo dostane do uzlu spojenému se skluzem svého letu, pak je pomocí třídícího stroje a automatických postrkovačů nebo výklopných van přesunuto na odpovídající skluz. Chyby při třídění jsou noční můrou manažerů odbavování zavazadel, protože způsobují dodatečné náklady a zpoždění dodání zavazadla. Proto je zapotřebí při simulačních experimentech věnovat pozornost vlivu úspěšnosti snímání identifikačních kódů i následného třídění. Po eventuální kontrole se zavazadla nakládají na vozíky či kontejnery pro jednotlivé lety. Zavazadla z letadel, která právě přistála, jsou roztríděna na tranzitní a končící. Končící zavazadla jsou dopravena dopravníkem na některý z karuselů, kde na ně již čekají cestující. Součástí systému je i automatický sklad předčasně odbavených zavazadel, zavazadel, která na tranzit musí čekat a rozměrných zavazadel.

3 Modelování pohybu zavazadel pomocí dopravníků

Dopravníky (**Conveyors**) jsou důležitým prostředkem pro modelování dopravy materiálu v programech pro simulaci systémů diskretních událostí. Simulační program Witness PwE [4, 9] má definovány dva typy dopravníků – každý z nich má dvě formy: pevné (**Fixed**) a akumulující (**Queuing**):

- indexované dopravníky (**Indexed Conveyors**), jejichž délka je dána počtem částí (**Parts**) – objektů, které přepravují a rychlost indexem, což je čas, za který se částí posunou o jednu pozici. Skutečnou velikost částí není možné pomocí tohoto typu modelovat, podstatné jsou pouze počty částí a jejich vzdálenost daná počtem mezilehlých pozic.
- spojitě dopravníky (**Continuous Conveyors**), jejichž délka a rychlost jsou dány pomocí standardních fyzikálních jednotek. Tyto dopravníky už umožňují modelovat rozdílné rozměry částí pomocí systémových atributů délka (**Length**), šířka (**Width**) a výška (**Height**).

Propojení dopravníků navzájem a s ostatními prvky modelu je popsáno běžnými vstupními a výstupními pravidly. Indexované dopravníky mají definované dvě diskretní události – vstup a výstup částí. Kromě počátku a konce lze u indexovaných dopravníků popisovat pozice částí pouze diskretně pomocí indexů (celá čísla). U spojitých dopravníků je možné do libovolné vzdálenosti od konce nebo počátku dopravníku umístit senzory, pro které jsou definovány čtyři další události podle fáze přechodu části přes senzor. Tyto senzory lze využít také k popisu pozic spojitých dopravníků a identifikaci polohy částí na nich (reálná čísla). Možnosti senzorů se využily k modelování důležitých funkcí procesu odbavování zavazadel:

- snímání čárových kódů,
- třídění zavazadel na třídícím dopravníku,
- vyzvedávání zavazadel na výdejovém karuselu.

K vizualizaci dopravníků lze použít řadu grafických prvků, nejvhodnější je použití cesty (**Path**), která nejvíce odpovídá realitě.

4 Modelování vstupu zavazadel pomocí souborů částí

Zavazadla, která přicházejí do letištního systému odbavování zavazadel, se modelují standardním způsobem, tedy jako částí. K znázornění jejich variability lze použít systémové atributy **Length**, **Width**, **Height** a **Icon**. Velkým problémem se ukázalo to, že stejné části – zavazadla vstupují do modelu na více místech (odstavovací přepážky, sběrné dopravníky a příletové terminály), navíc podle různých rozvrhů daných letovými řádami, přepravními řádami hromadné dopravy souběžně s individuální dopravou cestujících na letišti. Již při krátkodobém sledování vykazují tyto rozvrhy výrazné náhodné rysy.

Standardní možnosti vstupu částí do simulačního modelu, které jsou definovány při vytváření konkrétního typu částí, jsou v podstatě tři:

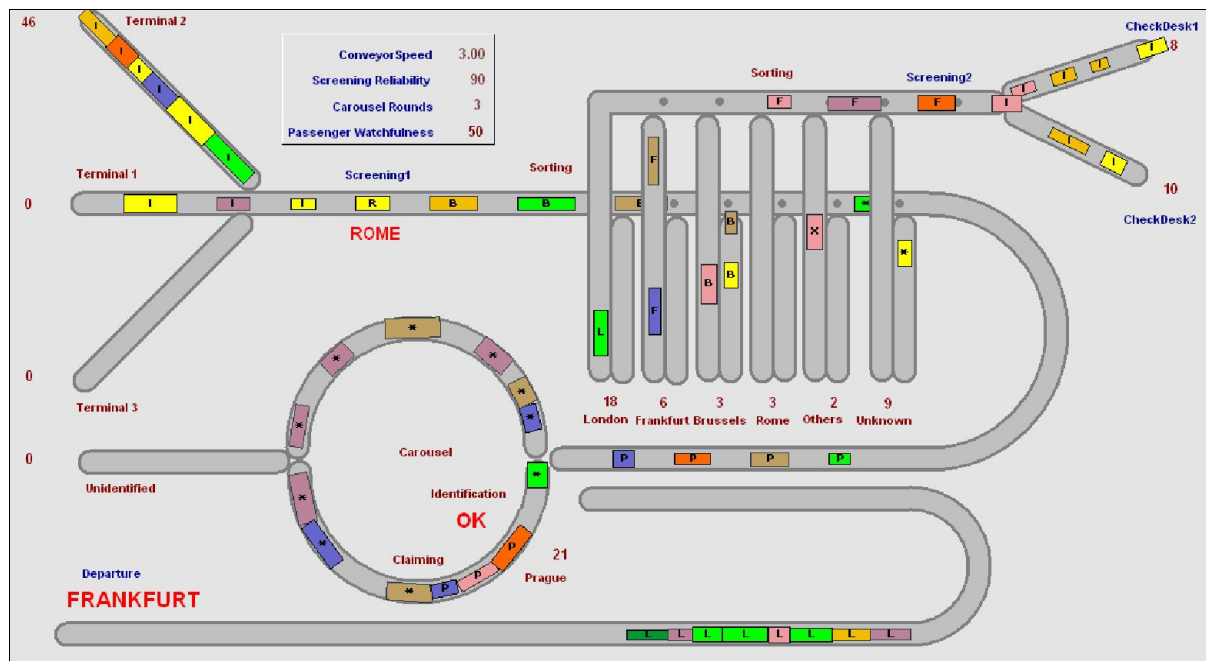
- pasivní části vstupují do modelu v okamžiku, když je nějaký aktivní prvek požaduje prostřednictvím splněného vstupního pravidla,
- aktivní části vstupují do modelu v pravidelných nebo náhodných intervalech a v pravidelných nebo náhodných dávkách,
- aktivní části vstupují do modelu podle zadaného nepravidelného, ale deterministického profilu. Tyto profily se mohou v průběhu simulace měnit načtením nového profilu z textového souboru předepsané struktury.

Omezením je, že stejné části mohou využívat pouze jeden ze tří možných druhů vstupu do modelu. Tento problém lze odstranit použitím souborů částí **Part Files**, protože v modelu je možné použít více než jeden soubor částí. Soubory částí jsou textové soubory, které popisují vstupy částí ve tvaru: název částí, počet částí v dávce, čas vstupu částí do modelu a případně přiřazení hodnot některých atributů. Je možné povolit opakované čtení souboru po přečtení celého souboru. Ačkoliv nápověda popisuje v souborech částí pouze možnost použití čísel, lze

použit i proměnné a aritmetické výrazy. Při výpočtu hodnoty použitých proměnných je možné použít standardní distribuce. Takto lze z deterministického souboru částí vytvořit stochastický soubor, pomocí kterého je možné modelovat letový řád s náhodnými rysy nebo náhodné příjezdy cestujících na letiště využitím hromadné i individuální dopravy.

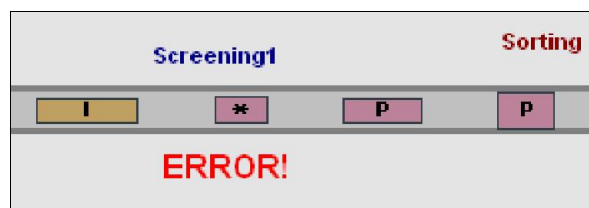
5 Popis modelu odbavování zavazadel

Vytvořený model procesu odbavování zavazadel (obr. 3) zahrnuje tyto části procesu odbavování zavazadel: příjem zavazadel na přiletu i pro odlet, identifikaci podle čárového kódu, jejich předtřídění na cílová a tranzitní zavazadla, rozřídění zavazadel podle destinací, dopravu cílových zavazadel na výdejové karusely a dopravu zavazadel pro nakládku. Popsaný systém je modelován pomocí jednadvaceti vzájemně propojených spojitých dopravníků.



Obr. 3. Simulační model jednoduchého systému odbavování zavazadel

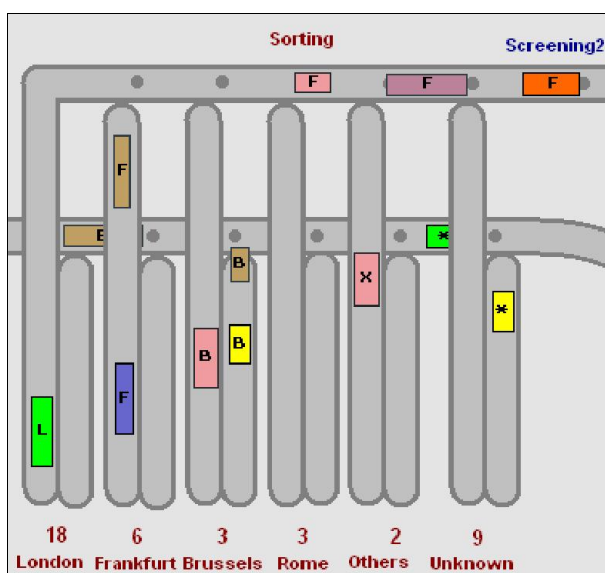
Rychlost pohybu zavazadel je stejná na všech dopravnících a lze ji měnit. Pro testování spolehlivosti je použita hodnota 1 m.s^{-1} . Zavazadla jsou dopravována ze tří terminálů podle předem stanoveného rozvrhu na centrální dopravník. Tento rozvrh může být deterministický (podle letových řádů), náhodný (podle dlouhodobých údajů) nebo kombinovaný (podle letových řádů s náhodnými údaji). Pro experimenty byly použity dva typy rozvrhu příchodů zavazadel. Podle prvního rozvrhu vstupují zavazadla do systému rychlostí 1 zavazadlo za 3 sekundy v dávce 1000 zavazadel. Jsou náhodně směřována na jeden ze tří terminálů v poměru 2:1:1. Druhý rozvrh používá příchody podle letových řádů mezi 9:00 a 21:00 h.



Obr. 4. Detail snímání čárového kódu

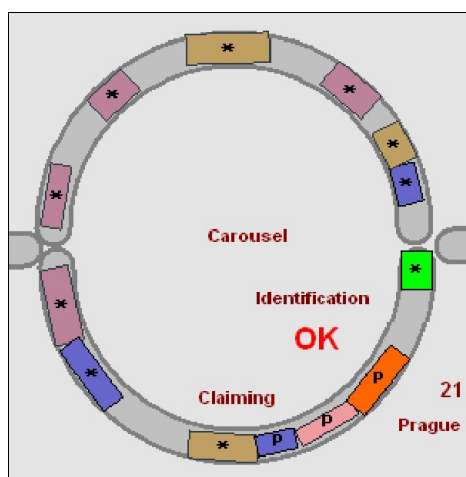
Zavazadla na centrálním dopravníku procházejí automatickým snímáním čárového kódu (obr. 4). Čárový kód je přečten s volitelnou pravděpodobností správného přečtení. Tato hodnota závisí na použitém systému čtení čárového kódu (jednoduché laserové snímače kolem 65 %, kamerové systémy s rekonstrukcí čárového kódu až 90 %, snímače RFID více

než 90 %). Tranzitní zavazadla jsou tříděna a přesunuta do oddělených skladů podle cílových letišť (obr. 5). V modelu je použito pět tranzitních cílových letišť (Londýn, Frankfurt, Brusel, Řím a Others – speciální a zvláštní cílová letiště)).



Obr. 5. Detail třídění zavazadel podle cílových letišť

Neidentifikovaná zavazadla s neznámým čárovým kódem jsou přesunuta do zvláštního skladu, kde se musí zpracovat ručně. Cílová zavazadla (cílové letiště Praha) pokračují až na výdejový karusel, ze kterého si je cestující vyzvedávají (obr. 6). U výdejového karuselu jsou použity dva proměnné parametry: průměrná hodnota pozornosti cestujících a maximální počet oběhů zavazadel na karuselu. Zavazadla neodebraná z karuselu jsou po dosažení maximálního počtu oběhu přesunuta do zvláštního skladu.



Obr. 6. Detail vyzvedávání zavazadel z výdejového karuselu

6 Simulační experimenty s modelem

Na vytvořeném modelu části procesu odbavování zavazadel byla provedena řada simulačních experimentů, ve kterých se měnily tři důležité parametry:

- úspěšnost čtení čárového kódu zavazadel při průchodu snímačem (postupně 65 % až 100 %),
- úspěšnost cestujících při identifikaci svých zavazadel (50 % až 90 %)
- počet oběhů karuselu (1 oběh až 8 oběhů).

Tab. 1 Počty nevyzvednutých zavazadel vzhledem k pozornosti cestujících

Oběhy karuselu	Pozornost cestujících	Nevyzvednutá zavazadla
2	50 %	54
2	60 %	18
2	70 %	9
2	80 %	3
2	90 %	0

První série simulačních experimentů sledovala počty zavazadel neodebraných z výdejového karuselu v závislosti na průměrné pozornosti cestujících. Dílčí výsledky pro dva oběhy karuselu jsou shrnuty v Tab. 1. Dále byla zjišťována minimální hodnota pozornosti cestujících potřebná pro zajištění spolehlivého odběru všech zavazadel v závislosti na počtu oběhu zavazadel na výdejovém karuselu (Tab. 2).

Tab. 2. Minimální potřebná pozornost cestujících pro odběr všech zavazadel

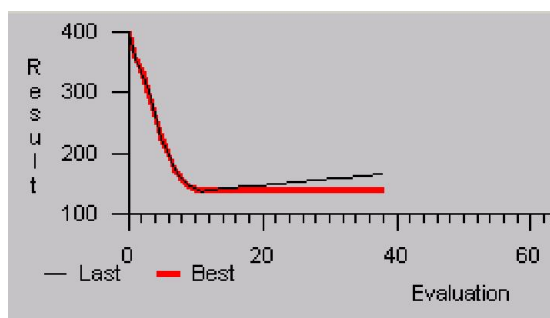
Oběhy karuselu	Pozornost cestujících
1	94 %
2	87 %
3	81 %
4	71 %
5	61 %
6	55 %
7	49 %

V závěrečné řadě experimentů byla sledována závislost počtu úspěšně a neúspěšně přečtených čárových kódů na kvalitě a spolehlivosti snímacího systému (Tab. 3).

Tab. 3. Počty přečtených a nepřečtených čárových kódů v závislosti na úspěšnosti snímání

Úspěšnost čtení čárového kódu	Destinace Londýn	Destinace Frankfurt	Destinace Berlín	Destinace Řím	Destinace Praha	Čárový kód nepřečten
65 %	106	134	58	29	311	362
70 %	113	141	62	32	333	319
75 %	124	152	65	37	360	262
80 %	133	164	70	40	386	207
85 %	143	173	77	43	416	148
90 %	149	184	81	44	446	96
95 %	154	193	86	47	467	53
100 %	167	201	86	51	495	0

V další sérii pokusů se optimalizovala rychlost dopravníků. Hledala se minimální rychlost potřebná pro dopravu zavazadel, která byla včas předaná na odbavovacích přepážkách. Tato zavazadla musí být po rozřídění přesunuta k nakládce v časovém limitu.



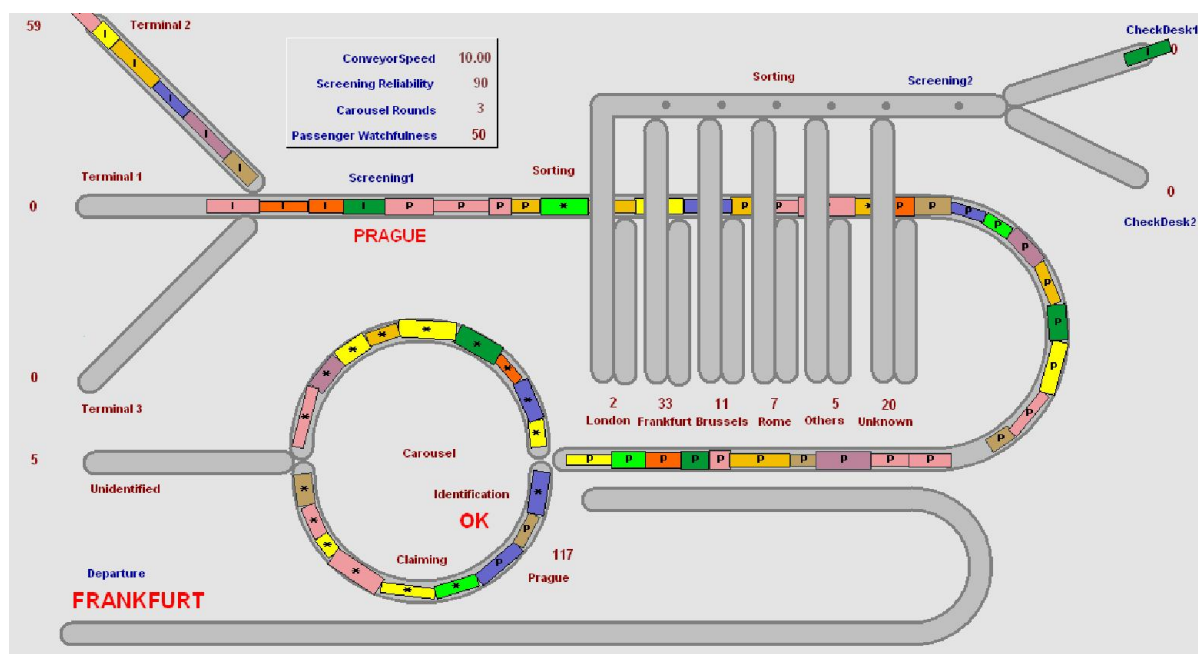
Obr. 7. Průběh hledání minimální potřebné rychlosti dopravníků

Jako účelová funkce pro tento úkol byl vybrán počet zbylých zavazadel ve skladech pro všechny přímé lety (Londýn, Frankfurt, Brusel a Řím). Hodnota účelové funkce byla pokutovaná hodnotou aktuální rychlosti dopravníků s jednotkovou váhou. Průběh optimalizačního procesu (metoda simulovaného žhání) je zobrazen na obr. 7. Několik vybraných hodnot v okolí minimální potřebné rychlosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.

Tab. 4. Minimální rychlost dopravníků potřebná pro včasnou přepravu k nakládce

Číslo experimentu	Hodnota kritéria	Rychlost dopravníků [m.s ⁻¹]
8	159	10
9	147	11
10	142	12
11	138	13
12	140	14
13	141	15
14	142	16

Dalším velmi důležitým simulačním experimentem je zjišťování kapacity systému odbavování zavazadel. To znamená, zda vůbec a za jakých podmínek může vzniknout zablokování soustavy dopravníků. Jeden z možných případů je ukázán na obr. 8. Z analýzy případu plyne, že toto zablokování vzniklo příchodem většího množství zavazadel a neodebíráním zavazadel z karuselu.



Obr. 8. Zablokování systému odbavování zavazadel – ucpání dopravních pásů zavazadly

7 Závěry

Letištní systémy zpracování zavazadel mají rozhodující vliv na spokojenost cestujících. V literatuře jsou popsány dva případy systémů zpracování zavazadel na velkých letištích (1995: Denver [3], 2008: Terminal 5 Heathrow [7]), které měly při otevření velké problémy. V obou případech došlo k velikým ztrátám, kterým se bylo možné vyhnout, pokud by byla provedena simulace navrhovaného systému zpracování zavazadel zaměřená na úzká místa a vliv náhodných selhání některých subsystemů.

V příspěvku je popsán jednoduchý model odbavování zavazadel vytvořený v prostředí simulátoru Witness PwE. Simulační model je založen na systému vzájemně propojených spojitých dopravníků. Základem bezporuchového chodu systému zpracování zavazadel je

správné přečtení čárového kódu přiděleného zavazadlu. Proto byl zkoumán vliv úspěšnosti jeho přečtení na odbavení zavazadel. Dále byl zkoumán vliv pozornosti cestujících při vyzdvižení zavazadel. Simulace se ukázaly jako úspěšné. Simulační experimenty prokázaly, že použitá metodika umožňuje modelovat i složitější systémy zpracování zavazadel na letištích. Simulační model lze využít také pro vyhodnocení kapacitních požadavků a pro testování dopadu možných změn v systému řízení na stabilitu celého systému odbavování zavazadel.

Poděkování

Tato práce byla vypracována za podpory výzkumného záměru č. MSM 6046137306 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

1. Banks J., Carson II J. S., Nelson B. L., Nicol D. M.: *Discrete-Event System Simulation*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2005. 624 s. ISBN 0-12-129342-7.
2. Cassandras Ch. G., Lafortune S.: *Introduction to Discrete Event Systems*. Springer, New York, 2008. 776 s. ISBN 978-0-387-33332-8.
3. Donaldson, A. J. M.: *A Case Narrative of the Project Problems with the Denver Airport Baggage Handling System (DABHS)* [on line]. London, Middlesex University, School of Computing Science, 2002 [cit. 5.12.2005]. Dostupné na <<http://www.cs.mdx.ac.uk/research/SFC/Reports/TR2002-01.pdf>>.
4. Peredo, C. H.: *Learning Witness*. Lanner Group, Houston, Texas, 1998. 628 s.
5. Robinson S.: *Successful Simulation. A Practical Approach to Simulation Projects*. London, McGraw-Hill, 1994. 246 s. ISBN 0-07-707622-2.
6. *Směrnice Rady EU 96/67/ES ze dne 15. října 1996 o přístupu na trh odbavovacích služeb na letištích Společenství*. [cit. 15.3.2010]. Dostupné na <<http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/A573AF08-1455-490E-8242-60BC24DF71E4/0/9667ES.pdf>>.
7. Thompson, R.: British Airways reveals what went wrong with Terminal 5 [on line]. *Computer Weekly*, 5, 14, 2008 [cit. 12.2.2010]. Dostupné na <<http://www.computerweekly.com/Articles/2008/05/14/230680/british-airways-reveals-what-went-wrong-with-terminal.htm>>.
8. VanDerLande Industries Inc.: *Baggage Handling* [on line]. VanDerLande Industries, Marietta, Georgia, U.S.A., 2009 [cit. 12.2.2010]. Dostupné na <<http://www.vanderlande.us/web/Baggage-Handling.htm>>.
9. WITNESS 2008. *Upgrade Training*. Lanner Group, Houston, Texas, U.S.A., 2008. 50 p.

Ing. Vladimír Hanta, CSc.

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Ústav počítačové a řídicí techniky

Technická 5, 166 28 Praha 6

tel.: +420-220 444 212, fax: +420-220 445 053, e-mail: hantav@vscht.cz