



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

MODEL LINKY NA VÝROBY AUTOMOBILŮ

MODEL OF A SERVICE LINE FOR AUTOMOBILE PRODUCTION

PROJEKTOVÁ DOKUMENTÁCIA

PROJECT DOCUMENTATION

AUTORI PRÁCE

AUTHORS

JOZEF URBANOVSKÝ, ADRIÁN TOMAŠOV

BRNO 2017

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autori a zdroje faktov	2
1.2	Overovanie validity modelu	2
2	Rozbor témy, použitých metód a technológií	4
2.1	Použité postupy pri vytváraní modelu	5
2.2	Pôvod použitých technológií	5
3	Koncepcia modelu	6
3.1	Popis konceptuálneho modelu	6
3.2	Forma konceptuálneho modelu	6
4	Architektúra simulačného modelu	8
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	9
5.1	Postup experimentovania	9
5.2	Jednotlivé experimenty	9
5.2.1	Experiment 1	10
5.2.2	Experiment 2	10
5.2.3	Experiment 3	10
5.2.4	Experiment 4	10
5.2.5	Experiment 5	11
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	12
	Literatúra	13

Kapitola 1

Úvod

Táto dokumentácia popisuje simuláciu [2, str. 8] výrobnéj linky na automobily z nemenovaného automobilného závodu operujúceho na Slovensku. Výrobný proces popisuje linku, ktorá sa skladá zo 4 stanovísk, kde do prvého stanoviska na linku vstupuje karoséria automobilu s osadeným motorom a prevedením rôznych úkonov medzi stanoviskami, model [2, str. 7] opúšťa automobil s kompletným motorom, chladičmi, ochrannými prvkami a čiastočnou výbavou exteriéru.

Na základe tohto modelu a série simulačných experimentov bude znázornené chovanie systému [2, str. 24] za rôznych podmienok. Zmyslom projektu je demonštrovať, či je proces práce linky dostatočne efektívny. Pokiaľ sa experimentálne zistí, že proces je možné zefektívniť optimalizáciami, popíše sa akým spôsobom by šlo tento proces zlepšiť.

1.1 Autori a zdroje faktov

Autormi práce sú **Jozef Urbanovský** a **Adrián Tomašov**.

Pri tvorbe projektu boli využité znalosti nadobudnuté z predmetu IMS a materiály poskytnuté k tomuto predmetu [2]. Zdroje vstupných informácií ohľadom výrobnéj linky sú vytvorené na základe pozorovaní z nemenovaného automobilného závodu na Slovensku a interných dát od pracovníkov, ktorí si želajú zostať v anonymite.

Na niektorých hodnotách sa môže prejavíť odchylka, nakoľko pozorovanie a zapisovanie mohlo zaniest chybu do dát z ľudskej nepozornosti a nepresnosti, prípadne z časových alebo percentuálnych odhadov pracovníkov. Zbytok dát je pozbieraný z rôznych dokumentov k výrobnéj linke poskytnutých pracovníkmi s presnými časmi, súčiastkami a úkonmi, ktoré sa na stanoviskách vykonávajú.

Tieto dáta boli následne interpretované odpovedajúcim abstraktným modelom [2, str. 41-44], kde sa zanedbali dáta, ktoré by simuláciu práce linky neovplyvnili.

1.2 Overovanie validity modelu

Validita [2, str. 37] navrhovaného modelu bola priebežne experimentálne overovaná. Toto overovanie bolo prevádzané porovnaním dát z výstupu simulácie a údajmi z jednotlivých poskytnutých dokumentov a odhad pracovníkov zmien, popisujúcich priemernú zmenovú produkciu na linke. K týždenným, mesačným a ročným výpisom sme ako riešitelia nedostali prístup, nakoľko tieto štatistiky neboli dostupné pracovníkom a predstavujú súkromné

informácie automobilky, ku ktorým majú prístup len ľudia na vyšších pozíciách. Pre tieto prípady boli použité spriemerované dáta z odhadov pracovníkov na danej linke.

Predpokladá sa však, že pri tvorbe skutočnej zákazky pre túto automobilnú spoločnosť by bol poskytnutý prístup ku kompletným údajom ohľadom produkcie a model by bol kompletne validný.

Kapitola 2

Rozbor témy, použitých metód a technológií

Simulácia sa zaoberá výrobným procesom automobilov. Jedná sa o časť linky z veľkého množstva liniek, ktoré vyrábajú automobily. Automobilný závod má mnoho zamestnancov, ktorí obsluhujú výrobné linky vo viacerých zmenách a zaisťujú chod po celý deň. Výroba vozidla je komplexný proces, kde je výstupom kompletné vozidlo vhodné na zavedenie do predaja.

Nakoľko sa celý výrobný proces skladá z obrovského množstva liniek, je vhodné modelovanie [2, str. 8] zamerať len na jednu časť linky, ktorá sa skladá zo stanovišiek a zaoberá sa prevažne vybavením motora, jeho ochrannými prvkami a výbavou exteriérnych častí automobilu.

Linka je aktívna celý pracovný týždeň, kde sa striedajú 3 zmeny zamestnancov. Na časti linky, ktorá je modelovaná, pracuje dokopy 5 ľudí, ktorí sa delia na 1 monitora, ktorý kontroluje kvalitu práce a 4 pracovníkov obsluhujúcich jednotlivé stanovištká.

Linku možno chápať ako zdieľaný pás, ktorý drží karosérie automobilov a posúva sa medzi jednotlivými stanoviskami. Vstupom do tejto časti linky je fronta áut z predchádzajúcej časti linky. Na každý úkon v rámci stanoviska pripadá predom určená doba na jeho vykonanie. Pokiaľ je pracovník rýchlejší ako stanovená doba, čaká. Po uplynutí tejto doby sa pás posunie a pracovník začína prácu na ďalšom automobile.

Každé stanovisko disponuje multifunčným nástrojom na ťahovanie rôznych dielov, ďalej len ťahovačka, ktoré sú súčasťou úkonov, ktoré pracovníci vykonávajú na stanoviskách. Ťahovačka je prepojená so systémom na obsluhu linky a zaznamenáva momenty utiahnutia, dobu práce na vozidle a použité diely. Ťahovačka sa pokazí a stane nefunkčnou približne a jej oprava sa prevádza vždy cez víkend, mimo pracovnej doby na linke. V prípade pokazenej automatickej ťahovačky prechádza pracovník na ručnú ťahovačku. Pri použití ručnej ťahovačky je pracovník povinný zapísať údaje o použitých dieloch a približnom momente utiahnutia do systému obsluhy linky. Zdieľaný pás sa posúva až po tom, ako sú údaje zadane po systéme a pracovník dokončil prácu na stanovisku. Kvôli tomuto mechanizmu je nemožné aby sa tvorili fronty medzi stanoviskami. Ťahovačka sa v lete z vyšších teplôt v hale prehrieva, čo znamená jej nefunkčnosť po dobu, kým vychladne a bude možné s ňou opäť pracovať.

Na stanovisku môžu dôjsť aj diely, ktoré sú potrebné na vykonanie úkonu. V takom prípade pracovník zapíše tento stav do systému obsluhy linky, ktorá sa následne pozastaví na istú dobu. Táto doba je daná faktom, podľa toho ako často daný diel dochádza.

Na konci posledného stanoviska je vždy monitor, ktorý kontroluje kvalitu práce po určitú dobu, predtým, než pošle vozidlo do ďalšej časti výrobnéj linky. Pokiaľ je pokazená nejaká ťahovačka, jeho kontrola musí byť precíznejšia, čo predlžuje dobu kontroly.

2.1 Použité postupy pri vytváraní modelu

Pre simulovanie modelu je využitá diskretná simulácia. Implementácia prebiehala v jazyku C++ za použitia štandardu C++11 a knižnice SIMLIB. C++ je použitý pre riešenie pretože je objektovo orientovaný jazyk, s vysokým levelom abstrakcie, statickým typovaním a kontrolou pamäti. Knižnica SIMLIB je vhodný nástroj, nakoľko poskytuje triedy pre simuláciu konkrétneho zadania. Použité konštrukcie a algoritmy sú inšpirované výukovými materiálmi vo forme prezentácii predmetu IMS.

2.2 Pôvod použitých technológií

Jazyk C++ a jeho kompilátor je voľne dostupný nástroj spolu s knižnicami štandardu C++11[1]. Knižnica SIMLIB[3]dostupná pod licenciou LGPL, bola použitá z oficiálneho zdroja vývojára v jej originálnej podobe. Pre správnu prácu s knižnicou SIMLIB boli využité ukážkové zdrojové kódy [4].

Kapitola 3

Koncepcia modelu

Kapitola koncepcie modelu sa zaoberá predovšetkým spôsobom vytvorenia konceptuálneho modelu [2, str. 48] a jeho popisu.

3.1 Popis konceptuálneho modelu

Pracovníci na linke majú počas 8 hodinovej pracovnej doby 2 prestávky, kde prvá začína po 2 hodinách a 30 minútach od začiatku zmeny po dobu 10 minút. Druhá prestávka začína po ďalších 2 hodinách a 30 minútach od konca prvej prestávky a trvá 20 minút. Pracovníci po 8 hodinách končia a strieda ich nová zmena pracovníkov, ktorý majú rovnaké časy prestávok a ich trvaní.

Vstupom do prvého stanoviska na linke je vozidlo, s rovnomerným rozložením vzniku[2, str. 89] približne 51 až 60 sekúnd. Na každý úkon v normálnom stave linky je určená doba 54 sekúnd, po ktorej sa posúva zdieľaný pás s vozidlami. Pokiaľ je pokazená ťahovačka, doba na každý úkon sa pohybuje v priemere od 53 do 75 sekúnd.

Ťahovačka sa pokazí približne raz za 4000 obslužených vozidiel. V lete sa prehrieva raz za 1500 obslužených vozidiel.

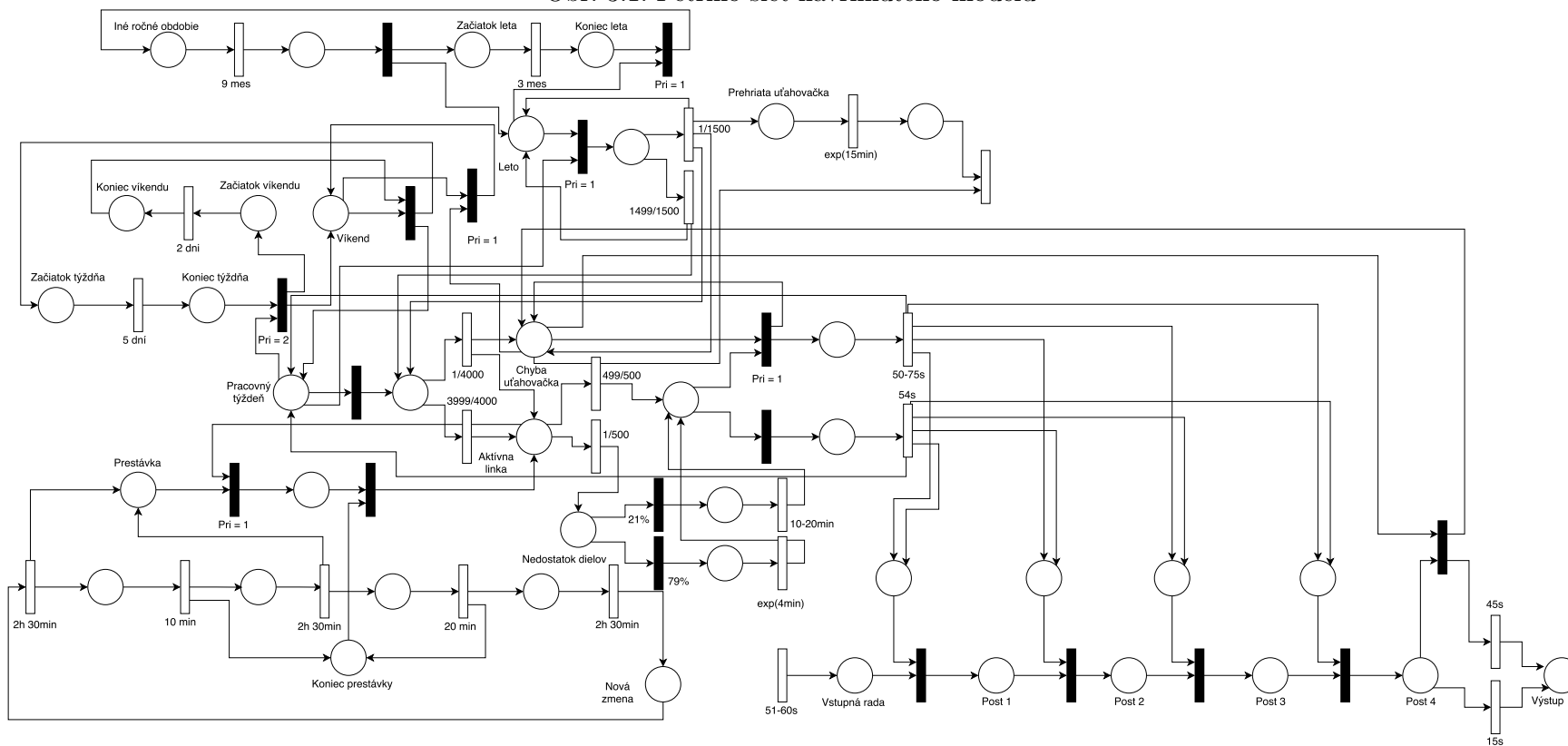
Je možné zanedbať o aké diely sa jedná, a je vhodné rozdeliť ich do skupín, podľa toho ako často dochádzajú a ako dlho trvá ich zaobstaranie. Nedostatok dielov sa prejaví približne raz za 500 obslužených vozidiel. V 21 percentách prípadov sa jedná o diel, ktorý dochádza málo a doba, kým je prinesený zo skladu je s rovnomerným rozložením 10 až 20 minút. V zvyšku prípadov diel dochádza často a jeho donáška trvá dobu exponenciálneho rozloženie[2, str. 89] 4 minút.

Na konci posledného stanoviska monitor kontroluje kvalitu práce v normálnom stave po dobu 15 sekúnd. V prípade pokazenej alebo prehriatej ťahovačky sa doba predlžuje na 45 sekúnd.

3.2 Forma konceptuálneho modelu

Abstraktný model výrobné linky bol popísaný pomocou Petriho siete [2, str. 123-135] na základe získaných informácií uvedených vyššie.

Obr. 3.1: Petriho sieť navrhnutého modelu



Kapitola 4

Architektúra simulačného modelu

Stavy a prechody medzi nimi, ktoré nastávajú v linke sú znázornené na obrázku 3.1. Petriho sieť na tomto obrázku popisuje všetky pozorované stavy a prechody nutné k správne fungovaniu simulácie.

V implementácii modelu sa o vytvorenie primárneho procesu **Car** stará generátor udalostí dediaci od **Simlib** triedy **Event** [2, str. 163], ktorý postupne prechádza stanoviskami a na konci je skontrolovaný monitorom, podľa stavu chýb. Druhý hlavný proces **MainLineProc**, dediaci od triedy **Process** sa stará o obsluhu celej linky, skladajúcej sa zo 4 stanovísk. Fungovanie hlavného procesu výrobné linky ovplyvňujú obslužné linky [2, str. 163] značiace ročné obdobie a stav týždňa.

Chyby ťahovačky nazývané **screw_errors**, ktoré môžu vzniknúť na linke, sú modelované ako trieda dediaci od **Store**. Pokiaľ vznikne chyba ťahovačky, prípadne viacerých ťahovačiek, ich oprava sa prevádza až cez víkend, vyprázdením skladu. Percentuálne rozdelenie prechodov generuje metóda **Random**.

Najzaujímavejšou časťou implementácie je proces **MainLineProc**, ktorý obsluhuje chyby ťahovačiek a pokiaľ sa nejaká vyskytne, zvýši sa kapacita o 1 v obslužnej linke **screw_errors**. Veľmi podobne sa riešia aj chyby z prehrievania ťahovačky, s rozdielom, že po dobe schladenia, s použitím metódy **Exponential**, sa kapacita skladu vráti do pôvodného stavu pred prehriatím ťahovačky.

3 veľmi dôležité procesy na fungovanie linky sú počítadlá na ročné obdobie - **YearCounter**, stav týždňa - **WeekCounter** a stav práce, prípadne prestávky - **BreakCounter**.

Kapitola 5

Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom experimentov je zistiť, aký vplyv majú chyby, ktoré nastávajú na linke. Či už sa jedná o chyby spôsobené poruchou samotnej ťahovačky, prípadne poruchami spôsobenými z vysokých teplôt a prehrievania, až po čakania spôsobené nedostatkom dielov na linke. Simulačný model slúži ako platforma, pre prevádzkanie týchto experimentov, nakoľko dokáže efektívne vyjadriť vzťah medzi meranou hodnotou a zmenou vstupu bez nutnosti vytvárať viacero modelov pre rôzne scenáre.

5.1 Postup experimentovania

Experimenty prebiehajú v niekoľkých fázach.

- Zmena nameraných percentuálnych a časových údajov z linky na jej možné zefektívnenie
- Prípadná zmena správania linky s ohľadom na vznik chýb
- Spustenie simulácie na bodu dostatočnú, v ktorej sa zmeny hodnôt prejavajú
- Porovnanie výsledkov s pôvodnými hodnotami a vyhodnotenie úspešnosti experimentu

5.2 Jednotlivé experimenty

Všetky vykonané experimenty boli odsimulované po dobu 2 rokov prevádzky linky. Popisy tabuliek značia nasledovné:

- **Zmena** - priemerná produkcia na jednej zmene [počet vozidiel]
- **Rada** - dĺžka rady vozidiel pred linkou [počet vozidiel]
- **Diely** - koľkokrát došli diely na linke za dobu fungovania [počet dejov]
- **Prehriatie** - koľkokrát sa prehriala ťahovačka v lete [počet dejov]
- **Pokazenie** - koľkokrát sa pokazila ťahovačka za dobu fungovania [počet dejov]

5.2.1 Experiment 1

Tento experiment je zameraný na obyčajné fungovanie linky s pôvodnými hodnotami, aby sme si mohli stanoviť, ktoré faktory sa dajú zlepšiť.

Pozorujeme hodnoty produkcie vozidiel v rôznych časových intervaloch, aká je dĺžka vstupnej rady pred linkou a koľko rôznych typov chýb sa vyskytlo za daný interval.

Experiment	Zmena	Rada	Diely	Prehriatie	Pokazenie
1	518.893	0.0126717	1428	207	398

Počet vozidiel spracovaných sa pohyboval v rozmedzí od 506 do 524, A dĺžka rady narástla až na 11 vozidiel v najhoršom možnom prípade.

5.2.2 Experiment 2

Pointou tohto experimentu bolo upraviť rýchlosť práce na stanoviskách v normálnom stave na 50 sekúnd miesto 55 a pozorovať chovanie systému s ohľadom na dĺžku rady celkovú produkciu v rôznych časových intervaloch.

Experiment	Zmena	Rada	Diely	Prehriatie	Pokazenie
1	518.893	0.0126717	1428	207	398
2	518.895	0.0001292	1525	222	423

V porovnaní možno pozorovať, že výkonnosť linky v rámci jednej zmeny sa príliš nezmenila, rada sa výrazne skrátila a v najhoršom prípade dosiahla 4 vozidlá. Možno pozorovať aj zníženie deviácie najhoršieho a najlepšieho možného prípadu, ktorý nastane v produkcii za jednu zmenu.

5.2.3 Experiment 3

Zavedením náhradných ťahovačiek na stanoviská je ďalší z experimentov, ktorý môže zvýšiť produkciu linky. Vykonanie tohto experimentu deaktivovalo modul, ktorý sa staral o vznik chýb na ťahovačkách, čo predlžovalo dobu vykonávania úkonov na stanovisku a kontrolu monitora.

Experiment	Zmena	Rada	Diely	Prehriatie	Pokazenie
1	518.893	0.0126717	1428	207	398
3	518.928	0.0126711	1428	207	0

Produkcia na linke za zmenu sa mierne zvýšila a to hlavne v ohľade na to, že pracovník nemusí celú zmenu pracovať ručne, ak sa predtým už ťahovačka pokazila. Nakoľko práca monitora je rýchlejšia ako samotných pracovníkov, takmer to neovplyvní veľkosť rady.

5.2.4 Experiment 4

Ďalším z rady experimentov bolo preventívne dopĺňanie dielov k stanoviskám, nakoľko sú zaznamenávané do systému automatickou ťahovačkou, prípadne v rámci poruchy, je nútený to pracovník zapísať do systému sám. Prevenciou a predbežným zaobstaraním dielov, predtým než dôjde sa nepatrne zvýšila produkcia linky.

Experiment	Zmena	Rada	Diely	Prehriatie	Pokazenie
1	518.893	0.0126717	1428	207	398
4	518.894	0.0010693	0	234	425

Ako možno pozorovať z tabuľky, najvýraznejšie sa tento experiment prejavil na dĺžke rady, ktorá takmer neexistuje a je najkratšia zo všetkých experimentov. Táto má lacnú implementáciu a jej zavedenie spolu s urýchlením celej linky by mohlo viesť k optimálnemu riešeniu.

5.2.5 Experiment 5

Posledný experiment zavádza lepšie klimatizovanie haly a tým eliminuje prehrievanie uťahovačky v letnom ročnom období. Táto zmena by si vyžadovala najväčšie finančné zdroje na realizáciu a jej výsledky nie sú dostatočne presvedčivé, aby bola implementovaná v reálnej prevádzke.

Experiment	Zmena	Rada	Diely	Prehriatie	Pokazenie
1	518.893	0.0126717	1428	207	398
4	518.896	0.0126715	1402	0	402

Nakoľko tento nepriaznivý stav trvá len 3 mesiace a prehrievanie zvyšuje priemernú zmenovú produkciu len nepatrne je ekonomicky nevýhodné zavádzať klimatizáciu a novú vzduchotechniku do haly v porovnaní s znížením produktivity linky v lete.

Kapitola 6

Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Na základe prevedených experimentov je možné pozorovať, že navrhnutá práca systému je premyslená a testované experimenty zmenili produktivitu linky len minimálne. Nakoľko je dĺžka rady v niektorých prípadoch veľmi krátka, rýchlosť linky je v niektorých prípadoch príliš rýchla nato, aby sa tvorila nejaká rada s tým, ako rýchlo sa generuje fronta vozidiel pred samotnou linkou. Možná optimalizácia by spočívala v synchronizovaní rýchlosti linky a generovaní počtu vozidiel pred ňou. Táto optimalizácia by mohla viesť k nepriaznivým výsledkom, pokiaľ by sa ťahovačky kazili rýchlejšie a v najlepšom prípade by jej efektívnosť bola maximálna spolu so zavedením náhradných ťahovačiek na stanoviská. Z ekonomického hľadiska je to malá zmena s ohľadom na produkciu a východzí stav linky, je najoptimálnejšia varianta. Ako je možné poukázať z experimentov, prechod na alternatívne riešenie a úpravy fungovania linky neprinesie vyššiu výnosnosť.

Literatúra

- [1] *Cppreference*. [Online; navštívené 5.12.2016].
URL <http://en.cppreference.com/w/>
- [2] Peringer, P.; Hrubý, M.: *Modelování a simulace*. [Online; navštívené 5.12.2016].
URL <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [3] Peringer, P.; aj.: *SIMLIB*. [Online; navštívené 5.12.2016].
URL <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [4] Peringer, P.; aj.: *SIMLIB examples*. [Online; navštívené 5.12.2016].
URL <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/examples>