

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

IMS - Modelování a simulace

Téma č. 8: Diskrétní model výrobního procesu (SHO) - Výroba pouzdra ložiska

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autoři a zdroje informací	2
1.2	Ověřování validity	2
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	2
2.1	Použité postupy pro vytvoření modelu	3
2.2	Původ použitých metod	3
3	Koncepce - modelářská témata	3
3.1	Vyjádření konceptuálního modelu	4
3.2	Formy konceptuálního modelu	5
4	Architektura simulačního modelu/simulátoru	6
4.1	Rozbor implementace	6
4.1.1	Spuštění programu	7
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	7
5.1	Postup experimentování	7
5.2	Jednotlivé experimenty	8
5.3	Závěry experimentů	10
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	10

1 Úvod

Tento dokument popisuje práci, která vznikla jako projekt do předmětu Modelování a simulace na FIT VUT. Tématem projektu je diskrétní model [1, 7] výrobního procesu ve formě systému hromadné obsluhy [1, 136] a simulační experimenty prováděné na daném modelu. Účelem těchto experimentů je demonstrace efektivity výroby procesu a nalezení slabých míst a hrozeb.

1.1 Autoři a zdroje informací

Autory práce jsou:

- Vojtěch Jurka, xjurka08@stud.fit.vutbr.cz
- Dávid Špavor, xspavo00@stud.fit.vutbr.cz

Zdroje, ze kterých jsme získávali informace k vypracování projektu jsou odborná literatura a konzultace s panem Tomášem Niederhoferem z firmy Detail CZ s.r.o. [2], který nám poskytnul technická data i veškeré praktické informace o výrobním procesu, který modelujeme.

1.2 Ověřování validity

Validita modelu [1, 37] byla ověřena testováním simulačními experimenty. Hlavními požadavkem byla produktivita jednotlivých výrobních stanic i celé linky.

Výsledky našeho simulačního experimentu potvrdily, že se tyto údaje shodují s reálnými výsledky výrobního procesu, kde pracovníci naplňují normu až na 130 %, nejméně však na 90 %.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Systém [1, 7], který simulujeme [1, 8] představuje výrobní proces pouzdra na ložisko, který probíhá v dílnách společnosti Detail CZ s.r.o. Přesná technická data pochází přímo z popisu výrobního procesu, který nám společnost poskytla. Další informace z terénu potom od seřizovače, který v dílně pracuje s tímto výrobním procesem.

Výrobní proces se skládá z několika operací:

1. Operace č.05 - řezání na automatické pile

- čas jednoho řezu - 15 až 20 sekund; délka řezaného kusu - 76.5 mm
- řezání probíhá na 3m dlouhých tyčích
- 15cm délky tyče zůstává po posledním řezu
- nasunutí nové tyče na pilu trvá 3 až 7 minut
- norma je 147 kusů na hodinu

2. Operace č.15 - První soustružení kusu

- čistý čas stroje, po který kus soustruží je 1 minuta a 30 sekund
- obsluha po dobu 10 až 15 sekund mění hotový kus na nový
- obsluha vždy po 70 kusech mění plátku na soustruhu - 30 sekund až 3 minuty
- norma je 28 kusů na hodinu

3. Operace č.20 - Druhé soustružení kusu

- norma je 25 kusů na hodinu

Druhé soustružení probíhá stejně jako první. Jediným rozdílem je, že stroj soustruží jeden kus po dobu 1 minuty a 41 sekund.

4. Operace č.25 - Finální broušení kusu

- norma broušení 98 kusů za hodinu

Broušení probíhá na automatické brusce, takže produktivita je relativně hodně konzistentní. Nestává se, že by nějak vybočovala z normy.

2.1 Použité postupy pro vytvoření modelu

Pomocí získaných dat jsme si vytvořili abstraktní model [1, 41] a Petriho síť [1, 123], které představují popisovaný systém. Následně jsme tento model implementovali v programu psaném v jazyce C++ s použitím knihovny SIMLIB [3]. Tato knihovna umožňuje vytváření modelů diskrétních systémů [1, 32] a jejich simulování.

2.2 Původ použitých metod

Systém jsme navrhli pomocí Petriho sítě, která je definovaná v předmětu Modelování a simulace. Pro implementaci jsme použili programovací jazyk C++ a již zmiňovanou knihovnu SIMLIB.

3 Koncepce - modelářská témata

Při modelování bylo pro výpočet skutečného času trvání operací, kde je uvedeno rozpětí času, použito rovnoměrné rozdělení [1, 89], protože v praxi se díky vysoké náhodnosti a velkému počtu vstupů ovlivňující operaci tomuto rozdělení času operace blíží nejvíce.

Dále bylo pomocí jednoduchého výpočtu¹ dělení délky tyče beze zbytku délkou jednoho kusu zjištěno, že při řezání tyčí se z jedné tyče dá vyprodukovat maximálně 36 kusů. Toto číslo bylo použito v modelu. V popisu pracovního postupu byla také uvedena různá data o postupu při převážení materiálu a výrobků a kontrolování rozměrů. Převážení při tomto výrobním procesu obstarává jiný pracovník, než obsluha výrobních stanic linky a podle informace od pracovníků prakticky nikdy nedochází k tomu, že by se výroba zasekla kvůli čekání na dovoz kusů. Kontrola rozměrů probíhá paralelně během automatického úkonu prováděného strojem. Z těchto důvodů tyto procesy nebyly zavedeny do modelu, jelikož žádným způsobem neovlivňují sledované vlastnosti výrobního procesu. Další informací z praxe je fakt, že díky jednoduchosti úkonu řezání, broušení i soustružení je případ, kdy dojde poruše výroby na některé stanici tak ojedinělý, že má zanedbatelný vliv na produktivitu systému. Z tohoto důvodu nebyl tedy do modelu zaváděn.

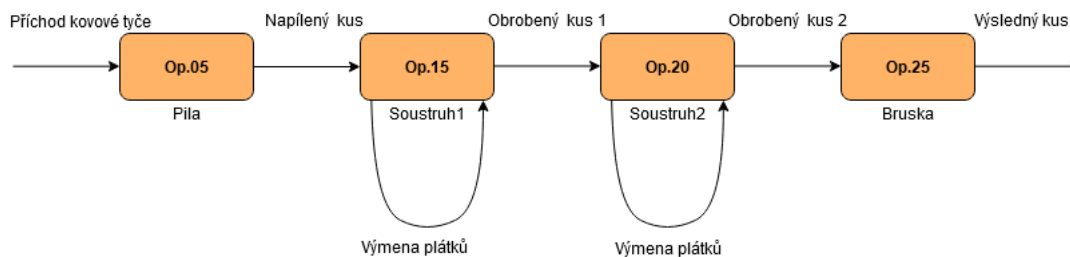
Díky konzistenci produktivity stanice automatické brusky modelujeme dobu broušení čistým časem 37 sekund, který odpovídá její normované produktivitě 98 kusů za hodinu.

¹(3000-150)/77,5=36,7

3.1 Vyjádření konceptuálního modelu

Na začátku jsme si na základě zjištěných informací o výrobním postupu navrhli abstraktní schéma systému, který budeme modelovat. Identifikovali jsme jednotlivé výrobní stanice a analyzovali jejich vstupy a výstupy.

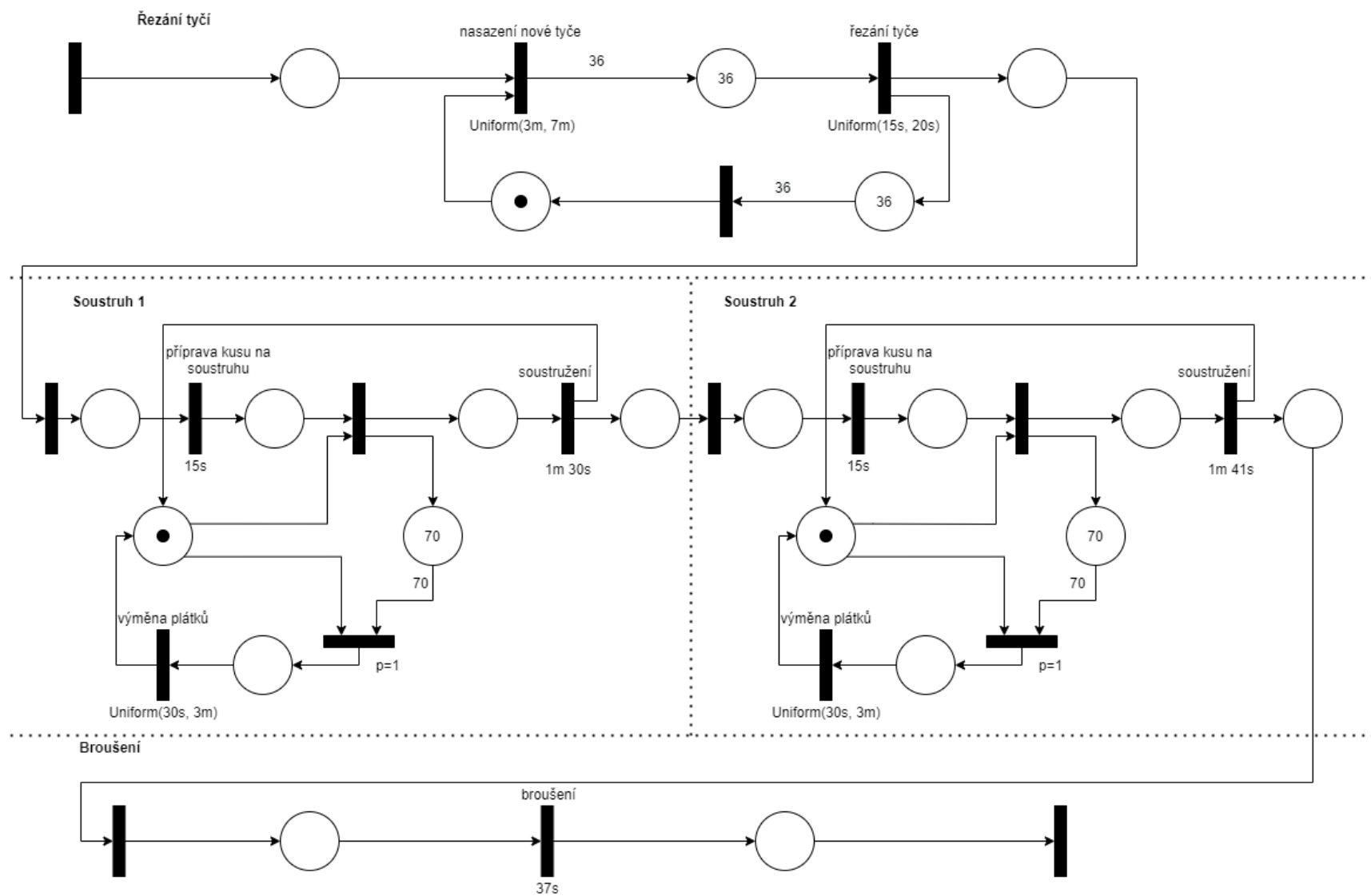
Na obrázku 1 vidíme zjednodušené schéma modelovaného systému.



Obrázek 1: Abstraktní schéma systému.

Model jsme si rozdělili do 4 hlavních částí. Každá z nich je jedna výrobní stanice na přímočaré cestě po lince. Vždy má jeden vstup materiálu od předchozí.

3.2 Formy konceptuálního modelu



Obrázek 2: Konceptuální schéma systému.

Na obrázku 2 vidíme konceptuální schéma modelovaného systému ve formě petriho sítě. Tečkovanými čarami je schéma rozděleno na 4 výrobní stanice, které modeluje.

4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Pro implementaci simulačního modelu byl zvolen jazyk C++ a knihovna SIMLIB. Byl zvolen objektově orientovaný přístup. Jednotka modelového času [1, 20] je sekunda.

4.1 Rozbor implementace

Jádro modelu tvoří 4 objekty typu `Facility` které reprezentují jednotlivé pracovní stanice a jsou deklarované na začátku programu. Taktéž na začátku programu deklarujeme dvě pomocné globální proměnné typu `integer`, které slouží jako čítače pro CNC stanice a další globální proměnné sloužící pro statistiky.

Na začátku simulace si inicializujeme modelový čas na námi zvolenou hodnotu. Následně spustíme generátor procesů kovových tyčí reprezentovaný událostí `GeneratorPipes`. Jelikož počítáme s tím, že při pile je sklad s tyčemi, kde jsou tyče průběžně doplňované, generátor kódu generuje novou tyč pro pilu právě tedy, když je pila volná. Pokud je pila obsazená, tak zkouší generovat novou tyč, dokud se mu to podaří. Když je pila volná, začíná samotné řezání. Aktivuje se proces `Pipe`, který obsadí linku `Pila`. S rovnoměrným rozdělením 180-420 se vygeneruje hodnota, která představuje čas pro nasazení tyče na pilu. Samotné řezání probíhá v cyklu, který se opakuje 36 krát. tento cyklus reprezentuje počet kusů, které z jedné tyče vzniknou. V každém průběhu cyklu se generuje čas daný rovnoměrným rozdělením 15-20, který představuje čas potřebný na řezání jednoho kusu a následně aktivuje proces `Pouzdro`. Když řezání skončí, obslužná linka se uvolní a je možné začít řezat novou tyč.

Proces `Pouzdro` představuje proces obrábění kovového kusu z pily. Když předpokládáme, že nařezané kusy jsou ve skladě průběžně doplňované, můžeme přechod mezi řezáním a obráběním modelovat jako nečasovaný. Ještě před samotným obráběním se však kontroluje, jestli je na soustruhu potřeba vyměnit plátky. Plátky se musí měnit vždy, když se opracuje 70 kusů. Tudíž se před samotným obráběním rozhoduje, jestli obslužnou linku zabere proces samotného pouzdra, nebo se aktivuje proces výměny plátku a zabere linku. Na toto rozhodování se používá globální čítač `cnt1`, který se inkrementuje každým obrobeným kusem. Pokud bylo obrobena 70 kusů, čítač se vynuluje a následně se vygeneruje nový proces s prioritou procesu [1, 178] `VymenaPlatku1`. Prioritní proces se vloží na čelo fronty a zabere obslužnou linku. Začne probíhat výměna plátků, která je daná dobou s rovnoměrným rozložením 30-180. Po uplynutí doby výměny plátků proces linku uvolní a zaniká. Pokud je tedy obslužná linka `Soustruh1` volná a předtím ještě nebylo obrobena 70 kusů, proces si ji zabere a začne samotné obrábění. Jinak si proces vstoupí do fronty. Obrábění je složeno z času pro nasazení kusu na soustruh. Ten je generovaný rovnoměrným rozložením 10-15 sekund a potom samotným obráběním, které trvá přesně 90 sekund. Následně obrobený kus (proces `Pouzdro`) pokračuje do fronty před obslužnou linku `Soustruh2`.

Obslužná linka `Soustruh2` se liší od obslužné linky `Soustruh1` jen časem obrábění, takže ji můžeme modelovat úplně stejně. Výměna plátků taktéž nastává po opracování 70 kusů, kde vzniká prioritní proces `VymenaPlatku2`. Na počítání kusů se používá samostatný čítač `cnt2`. Samotné obrábění kusu trvá přesně 101 sekund. Logika obsluhy jednotlivých procesů je úplně stejná jako v případě linky `Soustruh1`.

Výsledný obrobený kus putuje do obslužné linky `Bruska`. Pokud je obslužná linka zabraná, proces `Pouzdro` si vstoupí do fronty, jinak začne broušení. Broušení trvá přesně 37 sekund. Po skončení broušení se bruska uvolní, vzniká výsledný produkt a proces `Pouzdro` zaniká.

V průběhu času celé simulace jsou zachytávány statistiky:

- Počet nařezaných kusů na pile
- Počet hotových kusů na Soustruhu1
- Počet hotových kusů na Soustruhu2
- Počet celkově hotových kusů
- Informace o všech obslužných linkách = počet požadavků a průměrné použití
- Informace o frontách u obslužných linek = příchody, odchody, maximální délka, průměrná délka, maximální, minimální a průměrný čas strávený ve frontě

4.1.1 Spuštění programu

Na spuštění programu nám slouží nástroj `make`, který se používá následovně:

- Překlad programu: `make`
- Spuštění programu s implicitní délkou času simulace ²: `make run`
- Spuštění programu s explicitním koncovým časem: `make run endtime=10000`

Výsledky simulace se nacházejí v souboru `model.out`.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Naše simulační experimenty se snaží prověřit celkovou produktivitu výrobního procesu. Zjišťujeme míru využití jednotlivých výrobních stanic a slabá místa v procesu. Experimenty jsme provedli s různou dobou simulace, hlavně jsme se však zaměřovali na čas 8 hodin, který představuje normální pracovní dobu, po kterou v realitě výroba běží.

5.1 Postup experimentování

Sledovanými statistikami jsou počet hotových kusů na pile, na Soustruhu1, na Soustruhu2, na broušení (což je počet celkově hotových kusů) a ostatní informace o stanicích, jak je popsáno v implementační části tohoto dokumentu. Referenční hodnoty byly vypočítané z norem produkce stanovených v pracovním postupu.

Tyto normy jsou:

- 147 kusů za hodinu na pile
- 28 kusů za hodinu na Soustruhu1
- 25 kusů za hodinu na Soustruhu2
- 98 kusů za hodinu na broušení
- 27 kusů na hodinu celkově

²Koncový čas simulace, implicitní hodnota je 28800 sekund (8 hodin)

5.2 Jednotlivé experimenty

Prvním experimentem byl simulační běh systému po dobu 1 hodiny. Výsledky jsou následující:

1. Pila

- průměrné využití - 0.999577
- počet vyrobených kusů - 139
- maximální délka fronty - 0
- míra naplnění normy - 95 %

2. První soustruh

- průměrné využití - 0.899525
- počet vyrobených kusů - 31
- maximální délka fronty - 107
- míra naplnění normy - 111 %

3. Druhý soustruh

- průměrné využití - 0.87117
- počet vyrobených kusů - 27
- maximální délka fronty - 3
- míra naplnění normy - 108 %

4. Finální broušení kusu

- průměrné využití - 0.2775
- počet vyrobených kusů - 27
- maximální délka fronty - 0
- míra naplnění normy - 28 %
- celkové naplnění normy - 100 %

Výsledky nijak výrazně nevybočují z reality, kde dochází k plnění normy na 90 až 130 %. Nízké plnění normy v případě brusky je vysvětleno jejím nízkým využitím kvůli tomu, že čeká na kusy od předchozích stanic. Kdyby bylo její využití maximální, bude normu plnit na 99 %. Dalším experimentem bude běh simulace na dobu 4 hodin, abychom si ověřili, že i v různých časech se výsledky nijak výrazně nemění.

Výsledky této simulace jsou následující:

1. Pila

- průměrné využití - 0.999582
- počet vyrobených kusů - 548
- maximální délka fronty - 0
- míra naplnění normy - 93 %

2. První soustruh

- průměrné využití - 0.974881
- počet vyrobených kusů - 135
- maximální délka fronty - 412
- míra naplnění normy - 120 %

3. Druhý soustruh

- průměrné využití - 0.967792
- počet vyrobených kusů - 121
- maximální délka fronty - 13
- míra naplnění normy - 121 %

4. Finální broušení kusu

- průměrné využití - 0.310903
- počet vyrobených kusů - 121
- maximální délka fronty - 0
- míra naplnění normy - 31 %
- celkové naplnění normy - 112 %

Výsledky tohoto experimentu korespondují jak s realitou, tak s předchozím experimentem. Jediná znatelná změna, kterou můžeme pozorovat, je menší nárůst produktivity u soustruhů a brusky. Tento fakt dává smysl, jelikož tyto systémy jsou stavěny pro efektivitu při dlouhodobých bězích.

Hlavním experimentem byl již zmiňovaný 8 hodinový. Výsledky jsou následující:

1. Pila

- průměrné využití - 0.999487
- počet vyrobených kusů - 1116
- maximální délka fronty - 0
- míra naplnění normy - 95 %

2. První soustruh

- průměrné využití - 0.987441
- počet vyrobených kusů - 274
- maximální délka fronty - 843
- míra naplnění normy - 122 %

3. Druhý soustruh

- průměrné využití - 0.983896
- počet vyrobených kusů - 246
- maximální délka fronty - 27
- míra naplnění normy - 123 %

4. Finální broušení kusu

- průměrné využití - 0.316042
- počet vyrobených kusů - 246
- maximální délka fronty - 0
- míra naplnění normy - 31 %
- celkové naplnění normy - 114 %

I v tomto případě se produktivita jednotlivých stanic nijak nelišila od předchozích experimentů a její menší nárůst v tomto trendu pokračuje.

5.3 Závěry experimentů

Byly provedeny celkem 3 experimenty na systému s různou dobou běhu. Sloužily k prověření plnitelnosti zadaných norem a odhalení slabých míst systému.

Tyto experimenty pokrývají většinu reálných situací, co se týče doby běhu systému.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Z výsledků všech simulačních experimentů je patrné, že produktivita systému trpí jedním hlavním slabým místem, a to je přechod mezi pilou a prvním soustruhem, kde se jednotlivé kusy řadí do fronty, která po 8 hodinách nabude na velikost 843 kusů, což je výrazně víc, než u ostatních stanic. Ukazuje to také nepoměr mezi počty vyrobených kusů. Z tohoto nepoměru a z údajů o využití brusky vyplývá, že pro maximální efektivitu celého systému by bylo potřeba, aby se část linky se soustruhy zrojnásobila, aby stíhala zpracovávat kusy přicházející od pily, a zároveň aby stanice brusky stíhala zpracovávat kusy od soustruhů.

Reference

- [1] PERINGER, P. *Modelování a simulace, slajdy[online]*
[<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>]. FIT VUT v Brně, 2019-09-04 [cit. 2020-12-06].
- [2] WWW STRÁNKY. *Detail CZ s.r.o.* [<https://www.detail-cz.cz/cs/spolecnost>].
- [3] WWW STRÁNKY. *Simulation Library for C++*
[<http://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB>].