

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta informačních technologií

ZADÁNÍ NÁHRADNÍHO PROJEKTU Z PŘEDMĚTŮ IMS

Zadání č. 13 - SHO v logistice

Vasil Poposki

xpopos00

Fišer Tomáš

xfiser16

Obsah

Obsah	2
1 Úvod	3
1.1 Autoři projektu a zdroje	3
2 Použité technologie	3
3 Fakta	3
4 Koncepce modelu	3
4.1 Popis	4
4.1.1 Popis procesů a jejich klíčových vlastností v navrženém modelu	4
4.1.2 Petriho síť	5
4.1.3 Legenda k PS	5
5 Spuštění simulace	5
6 Experimenty s modelem	6
6.1 Experiment 1 - zjišťování zatížení rampy	6
6.1.1 Interpretace výsledků	6
6.2 Experiment 2 - hledání optima počtu pracovníků při obsluze nákladních aut	7
6.2.1 Interpretace výsledků	7
6.3 Experiment 3 - hledání optima počtu pracovníků pomocí celkové doby obsluhy	8
6.3.1 Interpretace výsledků	8
Zdroje	9
Seznam obrázků	9

1 Úvod

Naším úkolem při řešení tohoto projektu bylo vymyšlení validního tématu v zadaném oboru **SHO v logistice** a následně vytvořit simulační model pro námi vymyšlené zadání. Zvoleným tématem se stal sklad pro příjem, úschovu a také expedici zboží. Díky výslednému modelu a experimentům, které jsme na něj aplikovali (viz další kapitoly), můžeme sledovat, jaké je ideální množství všech pracovníků a vykládacích ramp pro nakládku a vykládku zboží, aby bylo na základě daných časových náročností jednotlivých operací ve skladu jeho fungování co nejideálnější. Tedy aby pracovníci neměli při práci zbytečné prostoje nebo naopak nedocházelo ke kolapsům fungování. Testovali jsme i redukci režijních nákladů na platy zaměstnanců a provoz ramp.

1.1 Autoři projektu a zdroje

Projekt byl vypracován dvěma studenty, Vasillem Poposkim a Tomášem Fišerem z university VUT FIT v Brně.

Zdroji pro vypracování našeho projektu byly kurzy Modelování a simulace na VUT FIT v Brně, externí zdroje z internetu, odkazy na jednotlivé níže, a naše pracovní zkušenosti v daném oboru z uplynulých let.

2 Použité technologie

Projekt je vypracován v programovacím jazyce C++ za použití standartních vestavěných knihoven, nástrojů a externí knihovny SIMLIB ve verzi 3.08, jejichž autory jsou Petr Peringer, David Leska a Davis Martinek.

3 Fakta

Projekt byl vypracován dvěma studenty, Vasillem Poposkim a Tomášem Fišerem z univerzity VUT FIT v Brně.

Zdroji pro vypracování našeho projektu byly kurzy Modelování a simulace na VUT FIT v Brně, externí zdroje z internetu a především naše pracovní zkušenosti v daném oboru z uplynulých let.

Sklad obsahuje rampy sloužící k vykládce nebo nakládce kamionů. Množství ramp ve skladu se může lišit v závislosti na velikosti skladu a logistické společnosti. Ve skladu obecně pracuje více typů pracovníků (skladníků). Zaměstnanci jsou rozděleni podle kvalifikace. Kvalifikace je obecně určena schopností ovládat motorizované vozíky, jako jsou vysokozdvizné vozíky nebo elektrické paletové vozíky, jejichž ovládání vyžaduje školení a průkaz. Na druhou stranu nekvalifikovaní pracovníci mohou k manipulaci s paletami používat pouze neelektrické paletové vozíky. Činnost kvalifikovaných pracovníků spočívá v zaskladnění přijatého zboží, jejich přemístění na jiné (vyšší) police za účelem uvolnění a přeuspořádání prostoru ve skladu. Nekvalifikovaní pracovníci připravují zboží pro odvoz/nakládku a přijaté zboží na paletách po vykládce kontrolují. Kontrola zboží je zaměřena na ověření počtu zboží/balíků a následně lepení identifikačních etiket na jednotlivé palety. Kvalifikovaní skladníci zkontrolované palety potom mohou zaskladnit do polic.

4 Koncepce modelu

V této kapitole si projdeme a vysvětlíme jednotlivé prvky Petriho sítě, ze které výsledné řešení vychází.

4.1 Popis

Model popisuje fungování skladu, do kterého v exponenciálním rozložení určitého času, výchozí hodnota je 1 hodina, přijíždějí nákladní vozy k rampám skladu se zbožím k vyskladnění a uložení nebo naopak k naložení zboží. Pro vyskladnění jednoho vozu jsou třeba tři pracovníci skladu, dva pracovníci „B“ a jeden pracovník „A“.

1. „A“ pracovník: kvalifikovaný, mimo vykládky a nakládky umí pracovat i s paletovým nebo vysokozdvížným vozíkem, umí zaskladňovat
2. „B“ pracovník: bez větší kvalifikace, umí zboží vykládat/nakládat a následně je ještě zkontrolovat před zaskladněním

Poté, co je zboží úspěšně vyloženo, putuje do fronty na kontrolu. Kontrolu provádí pouze pracovníci „A“, ke kontrole jsou třeba dva pracovníci. Pracovník „A“ uvolněn na kontrolu okamžitě po dokončení vykládky. Pro další zpracování zboží je však nezbytná. Pracovník „A“ po kontrole putuje do výchozí pozice a čeká na další úkoly.

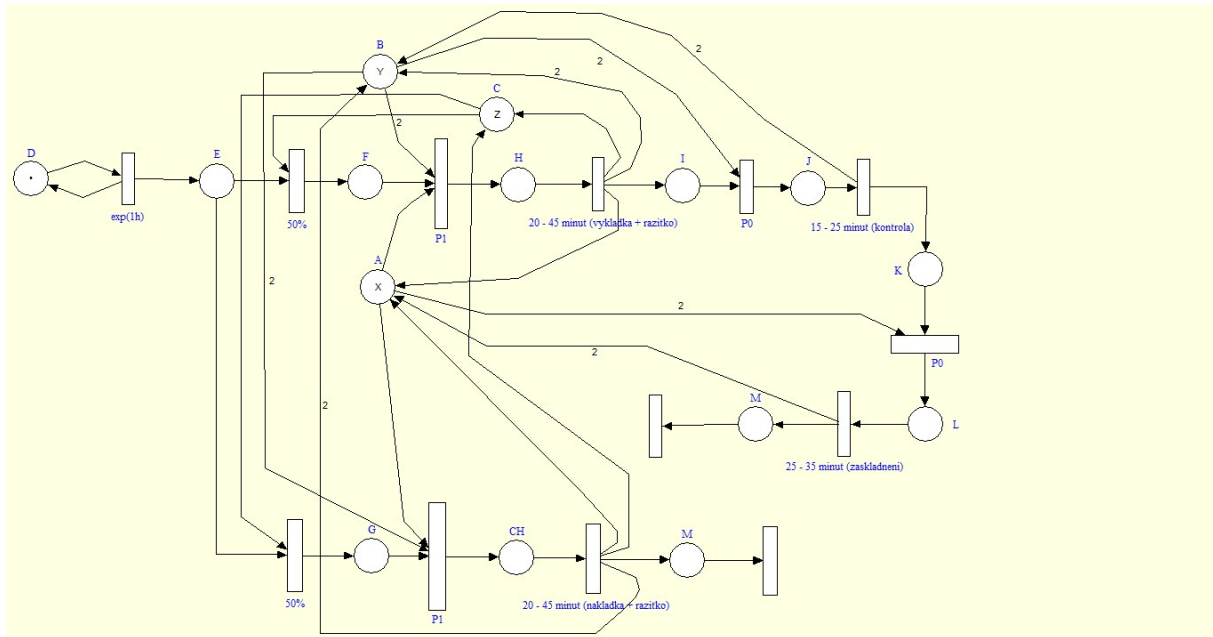
Zkontrolované zboží putuje do fronty na zaskladnění do skladu, které provádí výhradně kvalifikovaní pracovníci „B“, pro splnění je třeba jeden pracovník. Pro dokončení transakce zboží a jeho opuštění systému je zaskladnění nezbytné. Pracovník „B“ se po dokončení obsluhy zaskladnění vrací do výchozí pozice a zaskladněné zboží opouští systém.

Model je navržen pro sklad s nepřetržitým provozem se stejným počtem zaměstnanců na každé směně, proto není modelována obsluha pracovní doby.

4.1.1 Popis procesů a jejich klíčových vlastností v navrženém modelu

- Nákladní auta vstupují do systému v intervalech daných exponenciálním rozložením se středem 60 minut.
- Nákladní auto v 50 % případů přijíždí za účelem dovozu zboží, zatímco v druhých 50 % případů se jedná o naložení a odvoz zboží ze skladu.
- Pokud žádná rampa není volná, nákladní auto se řadí do fronty a čeká na její uvolnění. Pokud po vstupu do rampy není dostatek potřebných pracovníků pro provedení vykládky/nakládky, řadí se auto do fronty obsluhy.
- Pro obsluhu se využívají jeden pracovník „A“ a dva pracovníky „B“ a obsluha trvá 15 až 30 minut (rovnoměrně). Dva pracovníci „B“ provádí kontrolu přijatých palet (10-15 minut rovnoměrně) a následně dva pracovníci „A“ zkontrolované palety zaskladňují (15-20 minut rovnoměrně).

4.1.2 Petriho síť



Obrázek 1 Návrh Petriho sítě

4.1.3 Legenda k PS

- **X** = Počet kvalifikovaných pracovníků
- **Y** = Počet nekvalifikovaných pracovníků
- **Z** = Počet ramp

- **A** = Kvalifikovaní pracovníci
- **B** = Nekvalifikovaní pracovníci
- **C** = Rampy
- **D** = Nákladní auta
- **E** = Fronta na rampu
- **F** = Fronta na vykládku
- **G** = Fronta na nakládku
- **H** = Vykládka
- **CH** = Nakládka
- **I** = Fronta na kontrolu
- **J** = Kontrola
- **K** = Fronta na zaskladnění
- **L** = Zaskladňování
- **M** = Zboží opouští systém

5 Spuštění simulace

V této kapitole si popíšeme, jak simulační model správně zkompileovat a jak následně spustit simulaci s příslušnými parametry.

- Nejprve rozbalíme *zip* soubor s modelem
- V rozbalené složce otevřeme konzoli
- Model zkompilejeme příkazem *make*
- Můžeme začít simulovat

- **Syntaxe příkazu pro spuštění simulace:**

➤ `./model [-r/--ramps <COUNT>] [-a/--awork <COUNT>] [-b/--bwork <COUNT>]
[-f/--file <OUTPUT>]`

6 Experimenty s modelem

V modelu jsou pevně dány operace a časy, případně exponenciální rozložení času, které specifikuje délku provádění jednotlivých operací. Při experimentech jsme se tedy zaměřili na hledání ideálního počtu pracovníků „A“, „B“ a počtu vykládacích **ramp**, který by zajistil plynulý chod skladu bez prostojů pracovníků a případných kolapsů fungování.

6.1 Experiment 1 - zjišťování zatížení rampy

Číslo testu:	Počet ramp:	Počet pracovníků A:	Počet pracovníků B:	Průměrná využitá kapacita:	Pravděpodobnost, že kapacita bude plná:	Průměrná doba čekání na uvolnění rampy (min):
1.	5	4	8	0.589292	0.023866 %	8.27547
2.	4	4	8	3.27815	79.046997 %	7.54447
3.	3	4	8	2.88797	95.497643 %	11.1549
4.	3	6	10	0.544328	1.791619 %	9.11834
5.	2	4	8	1.95803	97.314110 %	18.4606
6.	2	6	10	0.545431	11.059991 %	13.6229
7.	1	4	8	0.999198	99.910156 %	26.1524
8.	1	10	20	0.539714	54.318684 %	37.1137

Poznámka: Během experimentu bylo zjištěno celkem 16637 až 16760 příjezdů kamionů (1.000.000 min).

6.1.1 Interpretace výsledků

Při vyšším počtu otevřených ramp dochází k snížení průměrného využití kapacity ramp a zřejmému snížení pravděpodobnosti, že při příjezdu nakládacího auta nebude dostupná žádná otevřená rampa. Naopak s nižším počtem otevřených ramp a počtem pracovníků stanoveným na 4 pro kvalifikované pracovníky a 8 pro nekvalifikované pracovníky roste zatíženost kapacity ramp. Naopak s nižším počtem otevřených ramp a počtem pracovníků stanoveným na 4 pro kvalifikované pracovníky a 8 pro nekvalifikované pracovníky roste zatíženost kapacity ramp. Ovšem při malém zvýšení počtu pracovníků (o čtyři) dochází k velkému poklesu zatíženosti (řádek 6 tabulky výše).

Ovšem při malém zvýšení počtu pracovníků (o čtyři) dochází k velkému poklesu zatíženosti (řádek 4 a 6). Z posledního experimentu je ale zřejmé, že počet pracovníků nemá velký vliv na snížení zatížení ramp při velmi nízkém počtu ramp v provozu.

6.2 Experiment 2 - hledání optima počtu pracovníků při obsluze nákladních aut

Číslo testu:	Počet ramp:	Počet pracovníků A:	Počet pracovníků B:	Kapacita pracovníků A je plná:	Kapacita pracovníků B je plná:	Pro obsluhu kamionů není potřebný počet pracovníků ($1 \cdot A + 2 \cdot B$):
1.	5	4	8	4.468974 %	0.202864 %	4.791170 %
2.	4	4	8	0.991222 %	0.011942 %	1.074819 %
3.	3	4	8	0.214682 %	0.000000 %	0.214682 %
4.	5	2	2	8.615938 %	15.422408 %	25.925705 %
5.	5	3	2	15.220654 %	57.616329 %	67.187027 %
6.	5	2	3	10.568229 %	4.185378 %	69.259331 %
7.	5	3	3	16.390238 %	11.011728 %	54.715080 %
8.	5	4	3	0.297089 %	10.903149 %	54.604870 %
9.	5	3	4	13.012178 %	7.528946 %	25.634411 %
10.	5	4	4	3.850969 %	10.885246 %	19.034277 %
11.	5	4	5	4.658107 %	2.114064 %	13.645865 %
12.	5	5	4	1.435205 %	10.046432 %	17.608395 %
13.	5	5	5	1.014345 %	1.938659 %	12.208151 %
14.	5	5	6	1.410218 %	1.631312 %	4.182850 %
15.	5	6	5	0.234305 %	1.826374 %	11.228598 %
16.	5	6	6	0.467991 %	1.589968 %	3.413932 %

6.2.1 Interpretace výsledků

Při nízkém počtu dostupných ramp došlo k poklesu zatíženosti kapacity pracovníků potřebných k obsluze nákladních aut. V Experimentu 1 však bylo zjištěno, že s nižším počtem ramp se fronta na použití rampy zvyšuje.

Nejvyšší pravděpodobnost, že pracovníci nebudou k dispozici, když nákladní auto přijede na rampu pro obsluhu, je zaznamenána v řádcích 5 až 8. Tento výsledek lze interpretovat jako neschopnost určitého počtu pracovníků, kteří jsou k dispozici, začít obsluhovat nákladní auto bez dalších kolegů.

Zlepšením by mohla být modifikace počtu pracovníků na jednotlivých pozicích (kvalifikovaní „A“, nekvalifikovaní „B“) nutných pro provádění operací ve skladu a/nebo definování prioritních operací.

6.3 Experiment 3 - hledání optima počtu pracovníků pomocí celkové doby obsluhy

Číslo testu:	Počet ramp:	Počet pracovníků A:	Počet pracovníků B:	Počet nákladních aut:	Počet obsluh:	Pracovník A - Průměrná doba obsluhy + zaskladnění:	Pracovník B - Průměrná doba obsluhy + kontroly:
1.	2	4	8	16717	502	0.825006 %	0.472224 %
2.	4	4	8	16747	3518	5.694959 %	3.318239 %
3.	6	4	8	16775	16775	27.074783 %	15.772286 %
4.	5	4	7	16746	16743	27.017981 %	17.996307 %
5.	5	4	6	16813	16811	27.135859 %	21.114780 %
6.	5	4	5	16745	16744	26.874548 %	25.246450 %
7.	5	3	3	16882	16881	35.816742 %	42.330078 %
8.	5	4	4	16770	16770	27.262020 %	32.225349 %
9.	5	5	5	16661	16661	20.849142 %	25.059050 %
10.	5	6	6	16667	16666	17.365599 %	20.895708 %
11.	5	7	7	16693	16693	14.897598 %	17.910295 %
12.	5	10	12	16748	16748	10.439085 %	10.465750 %
13.	5	15	20	16748	16748	6.959390 %	6.279450 %
14.	5	25	30	16748	16748	4.175634 %	4.186299 %
15.	5	50	50	16720	16720	2.087817 %	2.511780 %

Poznámka: Procento v posledních dvou sloupcích udává průměrnou dobu obsluhy + další operace na pracovníka, tj. procento z celkové doby simulace (1 000 000 min).

6.3.1 Interpretace výsledků

Pokud nedochází k přetížení kapacity ramp (řádek 1 a 2), tak počet ramp nemá skoro žádný vliv na optimalizaci počtu pracovníků.

Vzhledem k celkovému času strávenému obsluhou a skladováním/kontrolou zboží a vypočteným průměrným celkovým časem stráveným na pracovníka lze tvrdit, že nejlepší poměr kvalifikovaných a nekvalifikovaných pracovníků je v tomto případě 1:1. Nejlepší výsledek v tomto experimentu měl poměr 3:3 (řádek 7). O něco horší průměr pracovní doby měl poměr 4:4 (řádek 8), nicméně v tomto případě nedošlo k žádnému velkému přetížení kapacity ramp a všechna nákladní auta byla obsloužena. Zatímco při velmi nízkém počtu pracovníků nebo ramp dochází k velkému zatížení (nákladní auta dlouho čekají na obsluhu), při navýšení počtu pracovníků ve skladu se snižuje jejich efektivita.

Zdroje

- <https://www.fmlfreight.com/loading-and-unloading-operations/>
- <https://www.camcode.com/blog/what-is-warehouse-logistics/>
- <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Návrh Petriho sítě	5
------------------------------------	---