

Model výrobného podniku

Technická správa k projektu do predmetu IMS

Obsah

1. Teoretický úvod.....	3
1.1 Autori a zdroje.....	3
1.2 Prostredie pre overenie validity modelu.....	3
2. Rozbor témy a použitých metód/technológií.....	3
2.1 Postup tvorby modelu.....	5
2.2 Pôvod použitých metód a technológií.....	5
3. Konceptcia.....	5
3.1 Konceptuálny model.....	6
3.2 Formy konceptuálneho modelu.....	6
4. Architektura simulačného modelu/simulátoru.....	7
4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného.....	7
4.2 Synchronizácia prístupu k zdrojom.....	8
5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh.....	9
5.1 Návrh experimentov.....	9
5.2 Priebeh experimentov.....	9
5.2.1 Experiment 1.....	9
5.2.2 Experiment 2.....	10
5.3 Výsledky experimentov.....	11
6. Zhrnutie simulačných experimentov a záver.....	12
Referencie.....	13

1. Teoretický úvod

Táto práca popisuje postup pri tvorbe modelu[1, slajd 7] a simulácii[1,slajd 8] strediska pre tvorbu, triedenie a následnú distribúciu zásielok. Naším cieľom je na základe experimentov s modelom zistiť a preukázať optimálne pracovné zataženie podniku a prípadne zefektívniť jednotlivé procesy[1, slajd 121] a navrhnúť zlepšenia. Na základe modelu a simulačných experimentov bude prezentované správanie systému[1, slajd 7] za rôznych podmienok počas bežnej pracovnej doby v stredisku, od 8:00 do 4:00 hodiny.

1.1 Autori a zdroje

Autormi práce sú Michal Cyprian a Filip Barič. Pri tvorbe projektu boli využité znalosti získané z predmetu IMS (Modelování a simulace). Hlavným zdrojom informácií je zamestnanec strediska Patrick Killaars, ktorý poskytol približné údaje. Použité sú aj vlastné zistenia, odhady pretože obaja autori v danom stredisku brigádovali. Dané stredisko sa nachádza v Holandsku, preto komunikácia so zamestnancom prebiehala výhradne elektronickou formou. Keďže väčšina informácií je tajomstvom firmy,tak nie sú normálne dostupné pre verejnosť na internete. Na základe získaných informácií bol vytvorený abstraktný model[1, slajd 41-44].

1.2 Prostredie pre overenie validity modelu

Validita[1, slajd 37] modelu bola priebežne overovaná. Overenie prebiehalo na základe porovnávania získaných hodnôt za posledných pár dní, s výstupnými údajmi simulácie. Validita modelu je overovaná pre konkrétny typ podniku. Podniky rovnakého zamerania môžu používať iné princípy práce, s ktorými model nepočíta. Hodnoty za posledné dni potrebné pre porovnanie boli poskytnuté zamestnancom firmy. Nie všetky údaje bolo možné získať, z dôvodu ochrany údajov firmy a niektoré štatistiky ani nie sú vedené. Z tohto dôvodu sú nezískané údaje nahradené fiktívnymi, ktoré su založené na odhadoch na základe približných dát.

2. Rozbor témy a použitých metód/technológií

Pre modelovanie[1, slajd 8] a simuláciu nami zvoleného strediska pre tvorbu a distribúciu zásielok je nevyhnutné poznať princípy práce v podniku. Výhodou je, že okrem získaných dát prostredníctvom zamestnanca firmy, ktorý nám zodpovedal všetky otázky, sme mohli použiť aj vlastné poznatky, keďže

sme v danom podniku krátku dobu pracovali. Získané informácie a ich zdroje sú zobrazené v tabuľke č.1.

Zvolený podnik sa zaoberá spracovaním prichádzajúcich komponentov, balením podľa jednotlivých objednávok a následnou distribúciou. Prichádzajúce komponenty sú rôznych typov, od elektronických obvodov až po lieky. Komponenty sú priradené v približných časových intervaloch prostredníctvom kamiónov. Po príchode, je kamiónu priradená rampa, v prípade, že sú všetky rampy obsadené kamión čaká na uvoľnenie niektorej z nich. Následne po priradení rampy sú pre vyloženie nákladu potrební dvaja pracovníci. Vyložený náklad čaká na spracovanie a prázdny kamión je priradený smer, na ktorý bude odvážať spracované balíky.

Prvým procesom spracovania nákladu/komponent je vstupný sken. Vstup každej komponenty do strediska musí byť zaznamenaný pre tvorbu štatistiky alebo následne dohľadanie v prípade straty. K dispozícii je šesť skenerov, na obsluhu každého z nich je potrebný jeden zamestnanec. Po naskenovaní balík postupuje na triediaci pás, každá dvojica skenov má priradený jeden pás, ktorý zásobuje. Počas triedenia na páse môže nastať situácia, že pracovník odhalí poškodenie komponenty a dôjde k ich vyradeniu, táto situácia ale nenastáva často.

Po roztriedení komponent na smery nasleduje baliaci proces. Pre balenie na linke je potrebný jeden zamestnanec. Baliace linky sú tri pre smery stred a východ a dve pre smer západ. Toto rozdelenie baliacich liniek má opodstatnenie z dôvodu, že na západ je zasielaných percentuálne menej balíkov. Odchod kamiónov čakajúcich na hotové balíky má na starosti manažér prevádzky. Jeho úlohou je monitorovať počet hotových balíkov pre jednotlivé smery a v prípade, že je možné kamión naplniť, vydá príkaz na začiatok procesu nakladania. Odchod kamiónov nasleduje po naložení balíkov na rampe, kde rovnako ako pri vykladaní sú potrební dvaja zamestnanci.

Interval príchodu kamiónov sa v priebehu smeny mení, v nočných hodinách prichádzajú kamióny len zriedka, nebolo by možné ich spracovať, poprípade naložiť balíky. Pred koncom smeny je kamiónom umožnený odchod aj po naplnení polovičnej kapacity. Balíky, ktoré nie je možné odvieť v daný deň ostávajú na sklade, a sú spracovávané počas nasledujúceho pracovného dňa.

Prostriedky	Počet	Čas	Zdroj
Kamión	1800 komponentov 1600 balíkov	Príchod – exp 150min	Príchody – zamestnanec, kapacita kamiónov *
Rampa	2	Vykládanie, nakladanie – uniform 20-30 min	Náš poznatok
Sken	6	Skenovanie – uniform 1-3s	Náš poznatok
Triediací pás	3	Triedenie – uniform 18-24s	Zamestnanec firmy
Baliaca linka	8	Balenie – 18-30s	Zamestnanec firmy
Zamestnanci	12		Zamestnanec firmy
Manažér	1		Zamestnanec firmy

Tabuľka č.1: Informácie o stredisku

*Keďže kapacita kamiónov je rôzna pre každý typ kamiónu/nákladu, kapacita prichádzajúcich kamiónov s komponentami a odchádzajúcich s balíkmi je približne určená na základe výpočtu podľa získaných dát za niekoľko dní, zobrazené na vzorci č.1 a č.2.

$$Kapacita = \frac{\text{Počet vyložených komponent}}{\text{Počet kamiónov}}$$

Vzorec č.1: Kapacita kamiónov(komponenty)

$$Kapacita = \frac{\text{Počet naložených balíkov}}{\text{Počet kamiónov}}$$

Vzorec č.2: Kapacita kamiónov(balíky)

2.1 Postup tvorby modelu

Pre implementáciu bol použitý výhradne jazyk C++, využitý bol objektovo orientovaný prístup. Využili sme simulačnú knižnicu SIMLIB[2]. Táto knižnica ponúka prostriedky vhodné pre tvorbu simulácie nášho zadania. Výhodou je aj prenositeľnosť medzi jednotlivými platformami ako je napr. Linux, MS Windows a pod. [2]

2.2 Pôvod použitých metód a technológií

Použitá knižnica pre simulovanie SIMLIB je dostupná na internete s licenciou: (GNU LGPL), aj s dokumentáciou[3]. Inšpiráciou pri práci boli poskytnuté algoritmy a konštrukcie, prezentované na demonštračných cvičeniach, na slajdoch z prvého[4], druhého[5] cvičenia a je možné ich vyhľadať aj v materiáloch k predmetu IMS[1].

3. Koncepcia

Zmyslom projektu je simulovať spracovanie jednotlivých komponent na balíky a sledovať priebeh

tohto procesu v rámci systému. Predpokladáme, že model obsahuje fakty z kapitoly 2 a teda vzhľadom na získané dáta a pre typ experimentov uvedený v 5. kapitole je najvhodnejšie modelovať balíky, ktoré sú spracovné a zaslané počas jednej pracovnej smeny. Zanedbávajú sa teda balíky, ktoré ležia na sklade niekoľko dní podľa špeciálnych objednávok. Tiež pre zjednodušenie modelu sme zvolili počet jednotlivých komponent pre zloženie balíkov, a to: jeden, dva, tri alebo päť, podľa najčastejšie sa vyskytujúcich počtov komponent v zásielke. Zanedbaná je aj skutočnosť, že môže dôjsť k strate balíku, pretože tento prípad je veľmi zriedkavý a nemal by zásadný vplyv na výsledky modelu.

Ďalej sa predpokladá, že priestory pre ukladanie balíkov/komponent medzi jednotlivými procesmi spracovávaní nemajú obmedzenú kapacitu, a počet paliet pre ukladanie balíkov v podniku tohto typu nie je obmedzujúci. Situáciu kedy neodvezené balíky ostávajú na konci smeny v sklade modelujeme vygenerovaním náhodného počtu balíkov v rozsahu 0 - 1500 pre každý smer pred začiatkom smeny, opäť vychádzame z informácií poskytnutých zamestnancom.

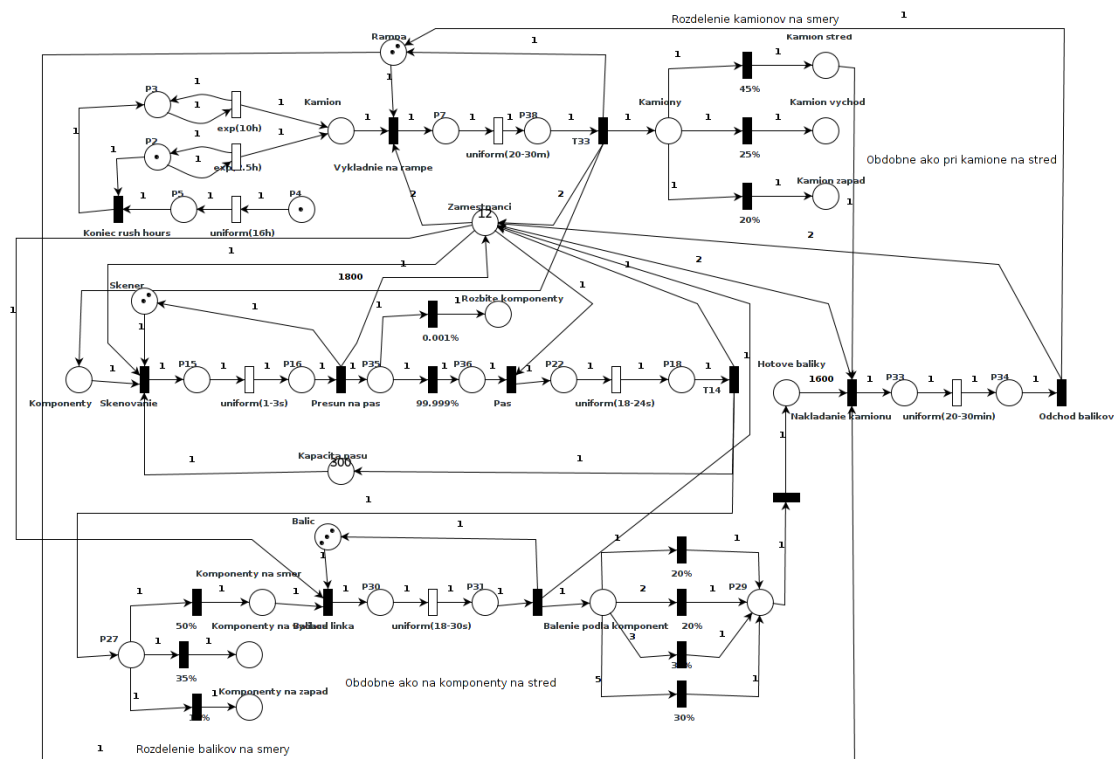
3.1 Konceptuálny model

Vstupom konceptuálneho modelu je kamión, ktorý prichádza v intervaloch daných exponenciálnym rozložením[1,slajd 91]. Po jeho príchode sú jednotlivé komponenty vyložené a ďalej spracovávané. Prvý v poradí je vstupný sken, ktorý môže prevádzať až 6 skenerov, každý skener potrebuje pre obsluhu jedného zamestnanca. Tieto skeny majú spoločnú frontu z ktorej môžu brať po jednom balíku. Po naskenovaní pokračuje balík na triediací pás. Kapacita pásu je 300 balíkov a pre svoju prevádzku potrebuje 2 zamestnancov. Výsledkom pásu sú roztriedené balíky na jednotlivé smery. Následne pre každý smer sú k dispozícii baliace linky. Pre každú baliacu linku je potrebný jeden zamestnanec.

Vyloženým kamiónom je priradený smer pre ktorý budú balíky odvážať. Výstup tvoria buď poškodené komponenty alebo balíky odchádzajúce v kamiónoch na určený smer. Balíky môžu odchádzať na základe povelu manažéra. V prípade, že sa blíži koniec smeny je umožnené odchádzať kamiónom aj s menším nákladom.

3.2 Formy konceptuálneho modelu

Abstraktný model podniku je popísaný pomocou Petriho siete[1, slajd 123-135] na obrázku č.1 na základe získaných informácií. Pre zjednodušenie modelu sa v petriho sieti nachádza len jeden skener spolu s pásom a rovnako niesú modelované balíky na všetky smery ale len na stred, podobne je zobrazené aj delenie kamiónov na smery. Nakoniec v modeli není modelovaný manažér, ktorého rola nie je z hľadiska konceptuálneho modelu zásadná.



Obrázok č. 1: Petriho sieť – návrh modelu strediska

4. Architektura simulačného modelu/simulátoru

Simulačný model je implementovaný v jazyku C++ s využitím knižnice SIMLIB v3.02. Deklarácie tried a prototypy funkcií sa nachádzajú v súbore model.hh, Definície metód, tvorba objektov a hlavný program simulácie v súbore model.cc.

4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného

Zamestnanci a rampy sú implementované inštanciami triedy Store z knižnice SIMLIB s určenou kapacitou. Procesy tvorby, spracovávanie zásielok a tiež vykladania a nakladania kamiónov vyžadujú pre svoj priebeh rôzny počet zamestnancov, čo je reprezentované volaním metódy Enter a následne Leave pri skončení alebo prerušení daného procesu. Trieda Store okrem toho umožňuje efektívne sledovať a vyhodnocovať doby čakania na pridelenie zamestnanca, maximálne, minimálne a priemerné vytťaženie zamestnancov a podobné štatistiky užitočné pri experimentovaní.

Ďalším z hlavných prvkov programu je proces Kamion zobrazujúci správanie kamióna po príchode do strediska. Každá inštancia triedy Kamion ma pri svojom vzniku priradený smer, po vyložení komponent čaká na dostatočný počet hotových balíkov na tento smer aby mohol pokračovať v distribúcií. Percentuálne zastúpenie inštancií triedy Kamióň, ktorým je nastavený atribút na jednotlivé smery zodpovedá rozdeleniu kamióňov na smery v abstraktnom modeli. Za generovanie inštancií tried

Kamion v intervaloch daných exponenciálnym rozložením pravdepodobnosti zodpovedá trieda PrichodKamionov.

Komponenty po vyložení z kamióna postupne prechádzajú procesmi skenovania, triedenia na triediacom páse a balenia. Počet komponent/balíkov, ktoré sa nachádzajú v jednotlivých stavoch spracovania je reprezentovaný hodnotu globálnych premenných, v niektorých prípadoch globálnym polom obsahujúcim hodnoty pre každý z trojice smerov.

Procesy vstupného skenra a triediaceho pásu su implementované dvojicou vzájomne komunikujúcich tried VstupnySken a Pas. VstupnySken zasobuje Pas komponentami a kontroluje prekročenie jeho kapacity. Správanie procesu Pas modeluje pridelenie každej z komponent na jeden zo smerov po určitom časovom zdržaní, toto rozdelenie opäť zodpovedá rozdeleniu z abstraktného modelu.

Nasleduje proces balenia implementovaný triedou Balenie. V tomto bode spracovávaní dôjde po časovom zdržaní k spojeniu určitého počtu komponent pre konkrétny smer do hotovej zásielky na daný smer.

Spoločnou črtou trojice spomínaných procesov je že pri nedostatku vstupných komponent dôjde k uvoľneniu zamestnancov a pozastaveniu procesu volaním metódy Passivate. Za opätovné aktivovanie každého z procesov zodpovedá vždy vhodný objekt, ktorý získa informáciu o dostatočnom počte zdrojov na jeho spustenie.

Kód dopĺňajú triedy Manager a ManagerAktivator, ktorých inštancie monitorujú situáciu v stredisku a udávajú pokyny na začiatok nakladania balíkov na určitý smer do kamiónov.

4.2 Synchronizácia prístupu k zdrojom

V prípade modelovania odoberania vyložených komponent vstupným skenerom dochádzalo k prístupu viacerých inštancií triedy VstupnySken k jednej globálnej premennej. Po kontrole počtu komponent čakajúcich na naskenovanie dochádzalo k viacnásobnému dekrementovaniu tejto premennej čo mohlo v niektorých prípadoch viesť k nastaveniu zápornej hodnoty. Toto správanie bolo v jasom rozpore s abstraktným modelom.

Ako riešenie tohoto problému bola využitá premenná typu Semaphore z knižnice SIMLIB. Pomocou nej je zabezpečená atomicita kontroly stavu a následnej dekrementácie premennej. Podobnú situáciu bolo potrebné ošetriť aj pri implementácii procesu Balenie.

5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Pre overenie optimálneho pracovného zaťaženia podniku sme zvolili metódu porovnávania pracovného výkonu a priemerného využitia zamestnancov, za rôznych podmienok. V každom experimente sme vyhodnocovali výsledky spomínaných atribútov, počas malého, stredného a veľkého zaťaženia podniku. Prvý experiment sa zaoberá bežnou pracovnou prevádzkou podniku. Naopak v druhom experimente sme sa zamerali na extrémne vyťaženie pred koncom kvartálu, kedy môže narásť počet prichádzajúcich kamiónov až na dvojnásobok.

5.1 Návrh experimentov

Cieľom prvého experimentu je určiť optimálne zaťaženie, ako ideálny pomer pracovných výsledkov zamestnancov a ich priemerného využitia počas smeny. Druhý experiment slúži pre zistenie možných riešení ako sa lepšie vysporiadať s extrémnym množstvom balíkov, kedy štandardné vybavenie strediska nedostačuje k spracovaniu veľkého počtu komponent. Dosiahnutie cieľa druhého experimentu sa pokúsime pomocou rozšírenia strojového vybavenia strediska.

Jednotlivé experimenty prebiehali v nasledujúcich krokoch.

- Spustenie simulácie viac násobne s rovnakou konfiguráciou
- Výber zástupcov pre nízke, stredné a vysoké zaťaženie, ktoré sú spracované v tabuľke
- Zmena konfigurácie, nastavenie iného počtu zamestnancov
- Po zmene konfigurácie opätovné spustenie a spracovanie výsledkov
- V prípade druhého experimentu – pridanie dvoch skenerov a triediaceho pásu

5.2 Priebeh experimentov

5.2.1 Experiment 1

Tento experiment je zameraný na optimálne vyťaženie zamestnancov pracujúcich počas bežných podmienok. Ako minimálne vyťaženie bolo zvolených 6 prichádzajúcich kamiónov za smenu, stred – 8 a maximum 12. Jednotlivé merania v tabuľke č. 2 zobrazujú percento zásielok v stredisku, ktoré sa podarilo do konca smeny spracovať. Keďže experiment je zameraný čisto na pracovný výkon zamestnancov, za spracované považujeme aj zásielky, ktoré boli úspešne roztriedené, zabalené a čakajú

na distribúciu.

Počet zamestnancov	Min (%)	Avg (%)	Max (%)	Priemer hodnôt (%)
8	87.69	84.22	65.35	79.09
10	94.37	89.98	73.69	86.01
12	99.54	97.76	86.79	94.70
15	99.94	99.26	92.08	97.09
20	99.96	99.87	96.26	98.70
25	100	99.99	99.88	99.96

Tabuľka č.2: Percentuálny počet spracovaných balíkov v danom dni

V tabuľke č. 3 je zobrazený priemerný počet využitých zamestnancov a priemer týchto hodnôt. Pomocou aritmetického priemeru hodnôt pre jednotlivé úrovne zaťaženia sme vyjadrili priemerne vyťaženie zamestnancov v percentách.

Počet zamestnancov	Min (%)	Avg (%)	Max (%)	Priemer hodnôt	Priemerné vyťaženie zamestnancov (%)
8	5.133	6.461	7.823	6.47	80.90
10	6.049	6.724	9.31	7.36	73.61
12	6.529	8.513	11.192	8.74	72.87
15	6.5	8.432	10.728	8.55	57.02
20	8.988	7.616	10.639	9.08	45.41
25	5.645	6.625	10.711	7.66	30.64

Tabuľka č.3: Priemerné využitie zamestnancov

5.2.2 Experiment 2

Druhý experiment je zameraný na analýzu práce zamestnancov v extrémnych podmienkach. Za extrémne podmienky pokladáme mimoriadne vyťaženie strediska, ku ktorému dochádza štyri-krát ročne na konci kvartálu. Počas týchto dní je bežný príchod viac ako dvojnásobku kamiónov oproti bežným počtom. Túto situáciu sme simulovali nastavením strednej hodnoty exponencionálneho rozloženia pravdepodobnosti príchodu kamiónov na 60 minút. Podobne ako v prvom experimente sme porovnávali výsledky pri rôznom počte prichádzajúcich kamiónov, minimálne vyťaženie – 15, stredné 20 a maximálne 23. V tabuľke č.4 sú zobrazené percentá spracovaných balíkov v stredisku počas jednej smeny ako v prechádzajúcom experimente a následne v tabuľke č. 5 je zobrazené priemerné využitie zamestnancov.

Pocet zamestnancov	Min (%)	Avg (%)	Max (%)
15	74.74	55.73	48.77
20	74.69	56.03	48.59

Tabuľka č.4: Percentuálny počet spracovaných balíkov za extrémnych podmienok

Pocet zamestnancov	Min (%)	Avg (%)	Max (%)
15	12.606	12.842	13.111
20	13.084	12.409	13.221

Tabuľka č.5: Priemerné využitie zamestnancov za extrémnych podmienok

Z výsledkov prvej časti tohto experimentu je zjavné že využitie viacerých zamestnancov ako 20 v stredu nemá odpodstatnenie a preto sme sa rozhodli v druhej časti experimentovať s pridaním zariadení do stredu. Konkrétne sme pridali dvojicu skenovacích zariadení a jeden triediaci pás. Výsledky po pridaní zariadení sú spracované v tabuľke č. 6 a č. 7.

Pocet zamestnancov	Min (%)	Avg (%)	Max (%)
15	84.73	66.7	56.13
20	89.59	71.45	64.83

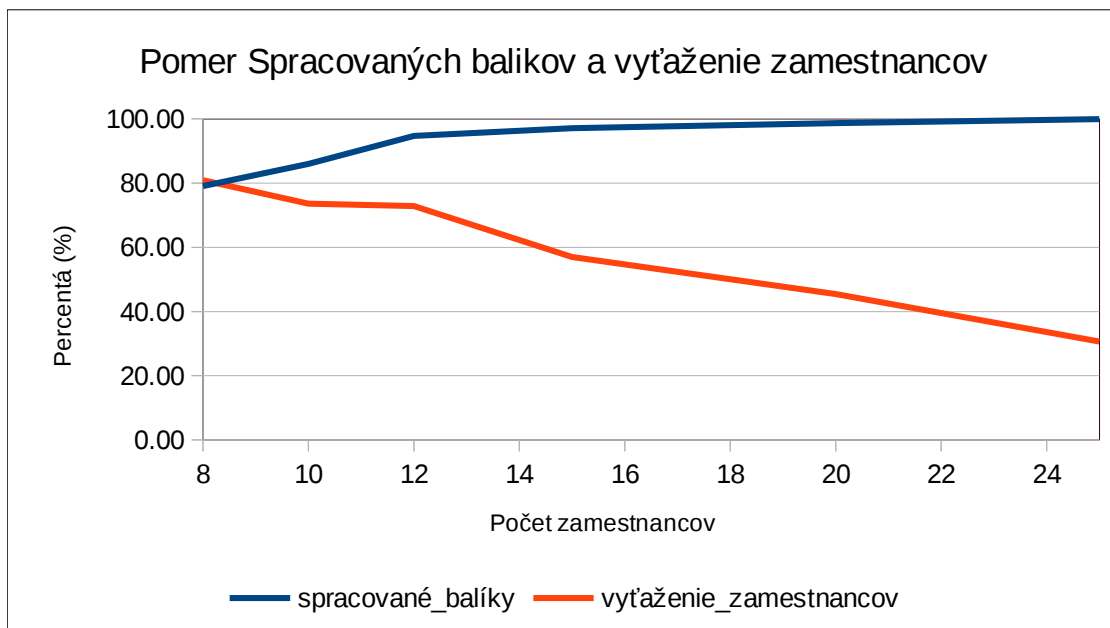
Tabuľka č.6: Percentuálny počet spracovaných balíkov s rozšíreným vybavením

Pocet zamestnancov	Min (%)	Avg (%)	Max (%)
15	14.362	14.374	14.201
20	14.776	16.009	16.607

Tabuľka č.7: Priemerné využitie zamestnancov s rozšíreným vybavením

5.3 Výsledky experimentov

Celkovo boli uskutočnené dva experimenty. Na základe výsledkov z experimentu 5.2.1 zobrazených na grafe č.1 sme došli k záveru, že počet zamestnancov 12 je pre beh podniku ideálny. V prípade väčšieho počtu síce stúpa počet spracovaných balíkov ale oveľa viac zamestnancov je počas procesu spracovávaní balíkov nevyužitých, čo by sa danému podniku neoplatilo.



Graf č.1: Výsledky prvého experimentu

V prípade druhého experimentu 5.2.2 namerané hodnoty preukazujú, že vyšší počet zamestnancov už neovplyvňuje beh podniku a pre zvýšenie schopnosti spracovať veľké množstvo balíkov je potrebné rozšíriť strojové vybavenie. V prípade pridania ďalších dvoch skenerov a prídavného pásu sme docielili zlepšenie produktivity v priemere až o 15.5% v prípade 20 zamestnancov a 9.4% v prípade 15 zamestnancov.

6. Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Experimenty s modelom preukázali, že počet zamestnancov v podniku podľa získaných informácií od zamestnanca je dostačujúci a optimalizovaný pre bežné zaťaženie podniku. Tiež je možné vyvodiť záver že pri extrémnom vyťažení, zvyšovanie počtu zamestnancov neprináša zlepšenie ale vhodným riešením sa ukázalo dodatočné pridanie strojového vybavenia strediska.

Referencie

- [1] PERINGER, Petr. *Slajdy k přednáškám modelování a simulace* [online]. 2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [2] PERINGER, Petr. *SIMulation LIBrary for C++* [online]. [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [3] PERINGER, Petr. *Popis simulační knihovny SIMLIB* [online]. 1997 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/doc/html-cz/>
- [4] HRUBÝ, Martin. *Demonstrační cvičení IMS #1* [online]. [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/ims-demo1.pdf>
- [5] HRUBÝ, Martin. *IMS Democvičení #2* [online]. [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/diskr2-2011.pdf>