



Simulační studie ke projektu do IMS

13. SHO v logistice

Maxim Plička(xplick04)

Jan Zdeněk(xzdene01)

4. prosince 2022

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autoři a zdroje odborných faktů	2
1.2	Validace modelu	2
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	2
2.1	Popis použitých postupů	2
2.2	Původ použitých metod/technologií	2
2.3	Fakta	3
2.3.1	Směna v Brně	3
2.3.2	Výklad/náklad auta	3
2.4	Hypotézy	3
2.4.1	Robot	3
3	Koncepce	4
3.1	Způsob vyjádření konceptuálního modelu	4
3.1.1	Výklad/náklad auta	4
3.1.2	Třídění balíků	4
3.1.3	Nabíjení robotů	4
3.1.4	Pauza pracovníků	4
3.2	Formy konceptuálního modelu	5
4	Architektura simulačního modelu/simulátoru	5
4.1	Mapování konceptuálního modelu do simulačního	5
4.1.1	Proces výkladu a nákladu auta	5
4.1.2	Proces třídění balíku	6
4.1.3	Proces nabíjení robotů	6
4.1.4	Proces odchodu pracovníků na pauzu	6
4.2	Spouštění simulačního modelu	6
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	7
5.1	Postup experimentování	7
5.2	Experiment 1 - Počet pracovníků a robotů	7
5.2.1	Motivace experimentu	7
5.2.2	Závěr experimentu	8
5.3	Experiment 2 - Objem zásilek po přidání robotů	8
5.3.1	Motivace experimentu	8
5.3.2	Závěr experimentu	9
5.4	Experiment 3 - Vliv zásilek z minulé směny na systém	9
5.4.1	Motivace experimentu	9
5.4.2	Závěr experimentu	10
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	10
7	Řešitelská koalice	10

1 Úvod

Cílem této simulační studie ([1], slajd 20) je zjištění vlivu zavedení třídění pomocí robotů typu PackMan pro brněnské depo zásilkovny v Tuřanech. V našem zjednodušeném modelu ([3], slajd 7) depa se věnujeme především procesu ([3], slajd 121) vykládání balíků z přijíždějících aut a jejich následnému třídění. V jednom cyklu simulujeme ([3], slajd 8) pouze jednu osmihodinovou směnu. Výstupem je pak počet vytříděných balíků, který může sloužit jako vstup pro další směnu. V průběhu modelování ([3], slajd 8) a experimentování ([3], slajd 9) jsme dospěli k závěru, že zavedení robotů do depa by přineslo značné zlepšení z pohledu jak časového, tak z pohledu objemu příchozích balíků.

1.1 Autoři a zdroje odborných faktů

Tuto práci vypracovali studenti FIT VUT v Brně Maxim Plička a Jan Zdeněk.

Na práci se jako dodavatel odborných faktů podílel vedoucí zaměstnanec depa Zásilkovny Anna Silová (anna.silova@packeta.com). Ostatní fakta byla zjištěna z oficiálních komunikačních kanálů firmy Zásilkovna ([5], [4], [6]) nebo z vlastní pracovní zkušenosti.

1.2 Validace modelu

Validitu modelu ([3], slajd 37) jsme provedli srovnáním výsledku naší simulace s reálnými poskytnutými daty. Dále jsme mohli model validovat pomocí experimentů, které náš model potvrdili.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Jako téma našeho projektu jsme se rozhodli zaměřit na brněnské depo firmy Zásilkovna. Toto depo se zabývá tříděním balíků a jejich následným posíláním na jiná depa nebo na již cílové adresy. Do depa nejprve přijíždějí auta, která jsou následně vyložena a jejich obsah v podobě balíků je roztříděn na jednotlivé trasy. Tyto roztříděné balíky jsou poté rozesílány na cílová místa.

V brněnském depu aktuálně není využíváno robotů pro třídění a vše dělají přímo pracovníci depa. Avšak v jiném depu firmy Zásilkovna (Praha-Štěrboholy) jsou do provozu zapojeni i roboti typu PackMan. Úkolem naší simulace je pak zjistit vliv zavedení těchto robotů na brněnské depo a celkový nárůst efektivity depa.

2.1 Popis použitých postupů

Pro implementaci programu, který simuluje daný model jsme využili jazyka C++ s podporou knihovny SIMLIB[2]. Jako prostředí pro vývoj jsme si vybrali Ubuntu 22.04.1 LTS. Tyto technologie byly použity, protože byly doporučeny pro řešení tohoto problému v zadání projektu. Dále bylo využito postupů popsanych ve slajdech z přednášek předmětu IMS vyučovaného na FIT VUT v Brně [3].

2.2 Původ použitých metod/technologií

Hlavní použitou technologií byla knihovna SIMLIB verze 3.08.

2.3 Fakta

2.3.1 Směna v Brně

- Trvání směny: 8 hodin + 30 minut pauza
- Pauza: po 6ti hodinách, trvá 30 minut
- Počet pracovníků: 35
- Počet aut: 22
- Počet přijatých balíků: 22000
- Počet ramp pro auta: 10

2.3.2 Výklad/náklad auta

- Počet balíků: normální rozdělení se středem 1000 kusů a odchylkou 200 kusů
- Doba výkladu: rovnoměrné rozdělení od 20ti minut do 25ti minut
- Doba nákladu: rovnoměrné rozdělení od 15ti minut do 20ti minut
- Počet pracovníků pro obsluhu: 4
- Interval pro příjezd: první 4 hodiny, rovnoměrně

2.4 Hypotézy

2.4.1 Robot

Fakta k robotům jsou pouze odvozena z již zavedeného systému, který je v provozu v depu Praha-Štěrboholy. V potaz jsme brali objem balíků a velikost depa v Praze vůči objemu a velikosti v Brně.

- Úloha: třídění balíků na příslušné trasy [5]
- Počet robotů: 58
- Dobíjení: každé 2 hodiny po dobu 10ti minut [4]
- Doba pro roztrídění balíku: rovnoměrně od 24 sekund do 36ti sekund

Počet robotů jsme odhadli na základě počtu příchozích balíků v depu Praha-Štěrboholy (90 000 - 100 000 za den) a v depu Brno (30 000 - 35 000 za den). V Praze je v provozu 170 robotů [5]. Vzhledem k tomu, že brněnské depo přijme 2,9x méně balíků, jsme dospěli k závěru, že v brněnském depu by mělo být přibližně 58 robotů.

Pro výpočet doby potřebné pro roztrídění jednoho balíku robotem jsme brali v potaz velikost depa Praha-Štěrboholy (11500 m^2 [6]), kde je již zaveden systém třídění pomocí robotů, a depa Brno (3400 m^2 [6]). V Praze je čas potřebný pro roztrídění jednoho balíku 51,42 sekund až 55,38 sekund rovnoměrně [5]. V Brně, které je 3,4x menší, by měl být čas potřebný pro roztrídění zásilky 15,2 sekund až 16,3 sekund, ale po konzultaci se zaměstnancem Zásilkovny jsme dospěli k jinému závěru. Tento čas jsme stanovili na 24 sekund až 36 sekund, toto je však jen zkušený odhad.

3 Koncepce

V této sekci se budeme věnovat konceptuálnímu modelu ([3], slajd 48) pro sestavení simulačního modelu ([3], slajd 44). Model obsahuje námi získaná fakta (viz. Fakta) a hypotézy (viz. Hypotézy). Fakta byla odvozena od získaných dat (viz. Autoři a zdroje odborných faktů). Některá fakta byla zanedbána z důvodu jejich irelevance na výslednou simulaci. Mezi zanedbaná fakta patří tzv. kouřové pauzy, poškozené balíky a jiné podpůrné činnosti jako je například úklid depa nebo různé úpravy vnitřních prostor. Tzv. kouřové pauzy můžeme z konceptuálního modelu vynechat z důvodu jejich uskutečnění pouze v případě, že pracovníci depa nemají zrovna co dělat. Poškozené balíky taktéž nezahrnujeme do modelu, protože pravděpodobnost jejich výskytu je zanedbatelná (maximálně pár kusů denně). Podpůrné činnosti nezahrnujeme z důvodu jejich nepravidelnosti a důvodu, že tuto činnost provádí pouze malé množství pracovníků (1-2 denně po dobu pár minut).

3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu

Jako formu konceptuálního modelu využíváme petriho síť (viz. Petriho síť, [3], slajd 123).

3.1.1 Výklad/náklad auta

Auta přijíždí pouze na začátku směny a to v předem daném počtu (viz. Fakta). Příjezdy probíhají v intervalech daných rovnoměrným rozdělením po dobu prvních 4 hodin směny. Jakmile auto přijede a je volná rampa, tak si auto zabere rampu a 4 pracovníky. Dále probíhá výklad auta, který je daný rovnoměrným rozdělením od 20ti minut do 25ti minut. Pokud jsou v depu balíky určené pro odvoz, tak započne náklad auta, který trvá dobu danou rovnoměrným rozdělením od 15ti minut do 20ti minut. Auto poté opouští rampu, uvolňuje přidělené pracovníky a opouští depo (pokud v depu již nejsou žádné balíky, tak se proces nakládání přeskakuje).

3.1.2 Třídění balíků

Přichozí balíky se do depa dostávají po výkladu auta, kdy počet těchto balíků je dán normálním rozdělením se středem 1000 kusů a odchylkou 200 kusů (viz. Fakta). Každý balík je poté obsluhován jedním pracovníkem, který balík zaeviduje do systému a následně balík umísťuje na robota. Robot balík následně roztřídí na příslušné místo za dobu danou rovnoměrným rozdělením od 24 sekund do 36ti sekund (viz. Hypotézy).

3.1.3 Nabíjení robotů

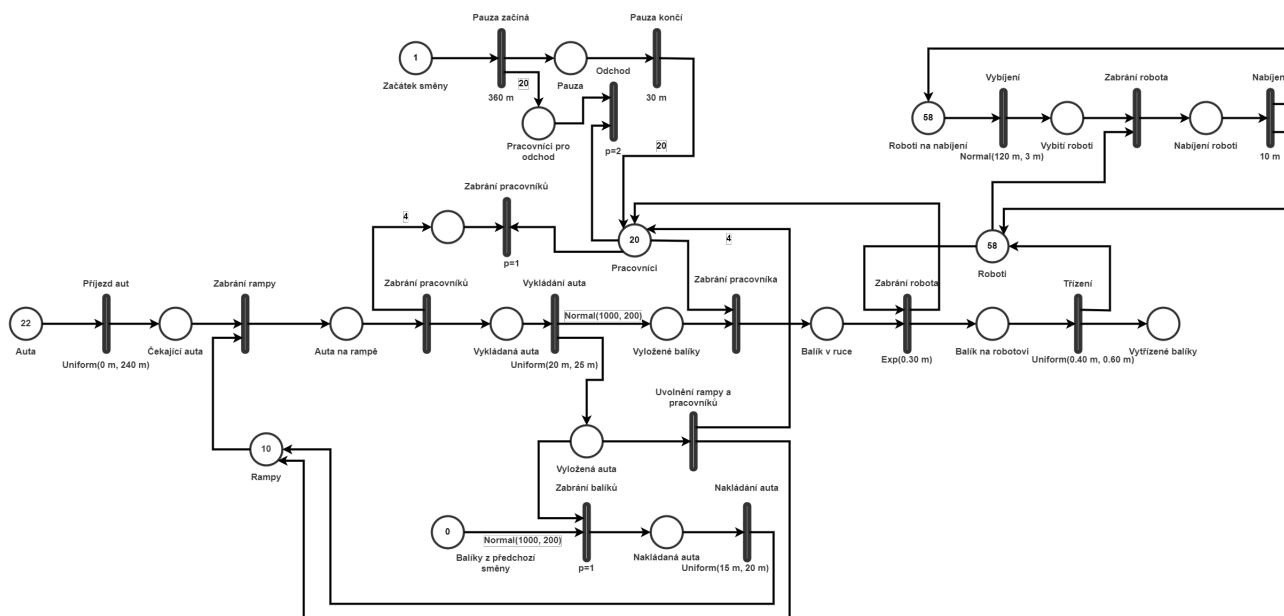
První nabití robota proběhne za dobu danou rovnoměrným rozdělením od 0 minut do 120 minut. Tento čas jsme zvolili, abychom se co nejpřesněji přiblížili realitě (nevíme stav baterie robotů z předchozí směny). Každé další nabití se uskuteční za dobu danou normálním rozdělením se středem 120 minut a odchylkou 3 minuty. Délka nabíjení je přesně 10 minut.

3.1.4 Pauza pracovníků

Pauza začíná po 6ti hodinách od začátku směny a trvá 30 minut. Během pauzy pracovníci dodělají rozpracované činnosti a nezačínají žádné další. Po konci pauzy se obnoví původní běh depa.

3.2 Formy konceptuálního modelu

Jako formu konceptuálního modelu jsme si zvolili petriho síť, jelikož perfektně vyhovuje požadavkům pro modelování systémů hromadné obsluhy ([3], slajd 136). Naši petriho síť jsme obohatili o využití normálního rozdělení nejen při určení časového intervalu, ale i pro popis incidenčních relací ([3], slajd 124).



Obrázek 1: Petriho síť

4 Architektura simulačného modelu/simulátoru

4.1 Mapování konceptuálního modelu do simulačního

Mapuje se do čtyřech různých procesů/tříd, které reprezentují určité řetězce míst ([3], slajd 124) a přechodů ([3], slajd 124) z konceptuálního modelu.

4.1.1 Proces výkladu a nákladu auta

Tento proces je implementován ve třídě `CarProcess` hlavně v metodě `Behavior()`. Instance této třídy jsou zakládány ve funkci `main()`, kde je rovnou i invokována jejich metoda `Activate()`. Počet instancí je určen atributem třídy `Argparser`.

Priorita procesu je nastavena na hodnotu 1. Poté proces čeká dobu danou rovnoměrným rozdělením od 0 minut do 240 minut. Následně si proces zabere jednu rampu a postupně i 4 pracovníky. Proběhne čekání po dobu danou rovnoměrným rozdělením od 20ti minut do 25ti minut. Jsou zakládány nové instance třídy `PackageProcess` a je invokována jejich metoda `Activate()`. V případě že se v systému nachází nějaké balíky z předchozích směn, jsou tyto balíky oddělovány ze skladu a proces čeká po dobu danou rovnoměrným rozdělením od 15ti minut do 20ti minut. Poté proces uvolní rampu a jemu přidělené pracovníky.

4.1.2 Proces třídění balíku

Je implementován ve třídě `PackageProcess` v metodě `Behavior()`.

Proces si nejdříve zabere pracovníka a čeká po dobu danou exponenciálním rozdělením se středem 0,3 minuty poté si zabere robota a uvolní pracovníka. Dále čeká po dobu danou rovnoměrným rozdělením od 0,4 minuty do 0,6 minuty a uvolní robota.

4.1.3 Proces nabíjení robotů

Tento proces je implementován ve třídě `ChargeRobotProcess` v metodě `Behavior()`. Tato třída je zakládána v metodě `Behavior()` třídy `GenChargeRobot`, která je zakládána ve funkci `main()` za dobu danou rovnoměrným rozdělením od 0 minut do 120 minut. Dále je metoda `Activate()` třídy `GenChargeRobot` invokována za dobu danou normálním rozdělením se středem 120 minut a odchylkou 3 minuty po nabití robota.

4.1.4 Proces odchodu pracovníků na pauzu

Na začátku simulace se založí nová instance třídy `BreakProcess` a se zpožděním 360 minut se invokuje její metoda `Activate()`.

Proces si postupně zabere všechny pracovníky ze systému a dále čeká po dobu 30ti minut než tyto pracovníky uvolní.

4.2 Spouštění simulačního modelu

Nejprve je potřeba vytvořit spustitelný soubor příkazem `make`. Následně lze simulaci spustit pomocí příkazů `make run` nebo `./simulator`, v tomto případě se simulace spustí s výchozími vstupními daty. Pokud si chce uživatel vstupní data zvolit sám, lze program spustit následovně:

```
./simulator [-c <cars>] [-w <workers>] [-r <robots>]  
[-p <prev_packages>] [-f <file>] [-h]
```

- `-c <cars>`: počet aut, které přijedou za směnu
- `-w <workers>`: počet pracovníků depa
- `-r <robots>`: počet robotů v depu
- `-p <prev_packages>`: počet balíků z předchozí směny
- `-f <file>`: výstupní soubor pro SIMLIB statistiky (ostatní statistiky jsou tisknuty na standardní výstup)
- `-h`: vypíše pomoc pro spuštění simulátoru na standardní výstup

Pro smazání souborů vytvořených příkazem `make` lze použít příkaz `make clean`. Experimenty se spouští příkazem `make exp_N`, kde `N` je číslo experimentu. Všechny soubory vytvořené experimenty se mažou pomocí příkazu `make clean_exp`.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Hlavním cílem experimentů bylo zjistit vliv zavedení systému robotů do brněnského depa. Dále jsme během experimentování zjišťovali validitu modelu.

5.1 Postup experimentování

Nejprve jsme identifikovali proměnné našeho modelu a poté jsme testovali jejich vliv na výsledek simulace. Na celý model jsme se snažili nahlédnout z různých perspektiv, abychom z něj vytěžili, co nejvíce informací potřebných pro zavedení nového systému do depa.

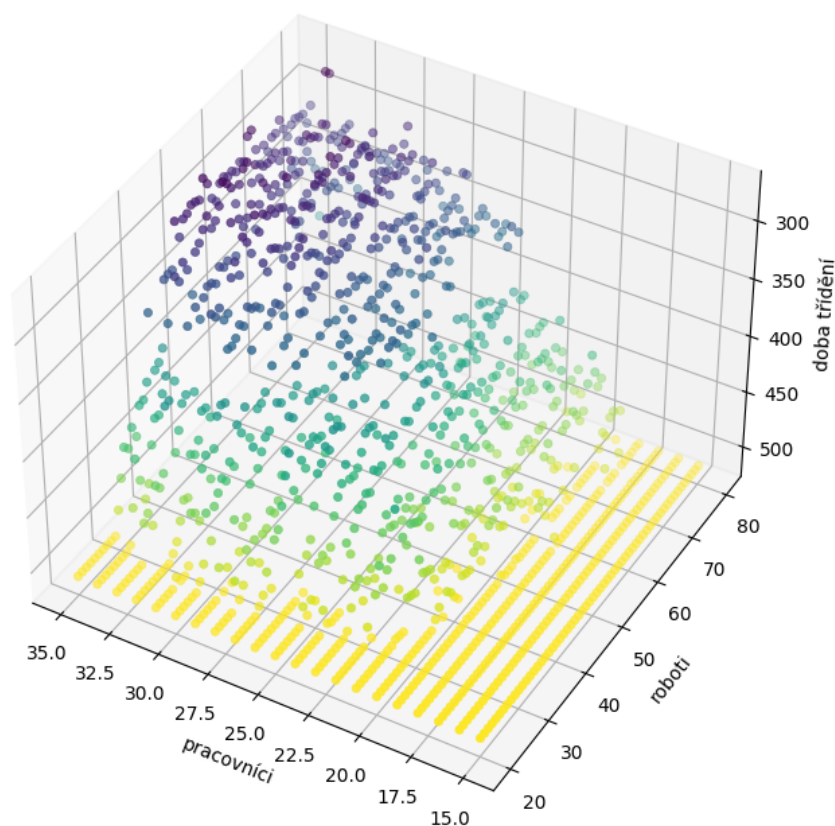
Vstupem pro experimenty jsou intervaly jednotlivých proměnných, jejichž vliv chceme určit. Poté jsme spustili simulaci pro všechny hodnoty v daném intervalu. Tyto hodnoty jsme dále analyzovali pomocí grafů a jiných výsledků experimentů, dospěli jsme tak k závěrům.

5.2 Experiment 1 - Počet pracovníků a robotů

5.2.1 Motivace experimentu

V tomto experimentu jsme se pokusili zjistit, jaký je ideální počet pracovníků a robotů při neměnném objemu příchozích balíků. Vstupem experimentu jsou požadované intervaly pracovníků a robotů, s kterými chceme experimentovat. Dalším důležitým vstupem experimentu je procento nejlepších výsledků z hlediska času, které bereme v potaz při určení ideálního počtu pracovníků a robotů.

V tomto experimentu nejprve spustíme simulaci pro každou kombinaci počtu pracovníků a robotů, kde následně výsledky ukládáme do textového souboru. Z tohoto souboru následně načítáme informace potřebné k dosažení závěru. Ze získaných informací si vezmeme určité procento nejlepších časů a poté z nich vybereme ty ideální z hlediska počtu pracovníků a robotů.



Obrázek 2: Experiment 1

5.2.2 Závěr experimentu

Z výsledků experimentu jsme byli schopni dojít k závěru, že ideální počet pracovníků je okolo 31 a počet robotů okolo 49. Simulace při těchto počtech byla dokončena za 325 minut, což je výrazné zlepšení oproti simulaci s hypotetickými daty (viz. Hypotézy) (zrychlení simulace až 1,5x).

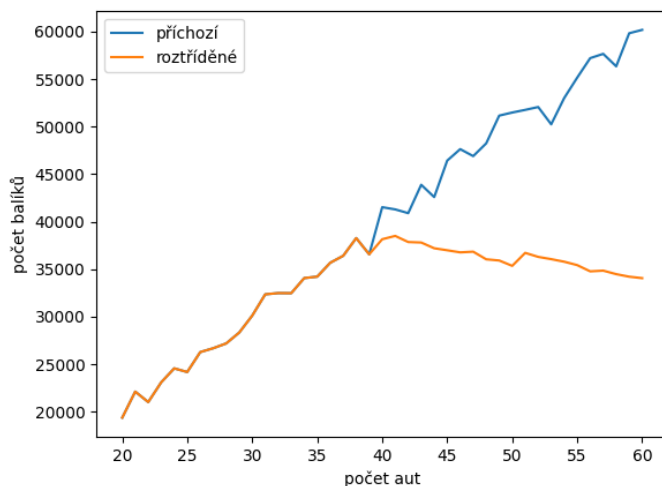
5.3 Experiment 2 - Objem zásilek po přidání robotů

5.3.1 Motivace experimentu

Tento experiment jsme pojali opačně než předchozí. Při hypotetickém počtu robotů (viz. Hypotézy), avšak stávajícím počtu zaměstnanců (viz. Fakta), jsme se pokusili zjistit maximální přijatelný objem zásilek, které depo zvládne zpracovat. Vstupem experimentu je interval počtu aut, které přijedou za směnu.

Posléze jsme spustili simulaci pro jednotlivé počty aut. Výsledek jsme uložili do textového souboru, z kterého jsme následně extrahovali počet příchozích a vytříděných balíků. Výsledkem expe-

rimentu je pak graf, který nám jasně ukáže při jakém počtu příchozích balíků depo není schopno všechny balíky roztrždit.



Obrázek 3: Experiment 2

5.3.2 Závěr experimentu

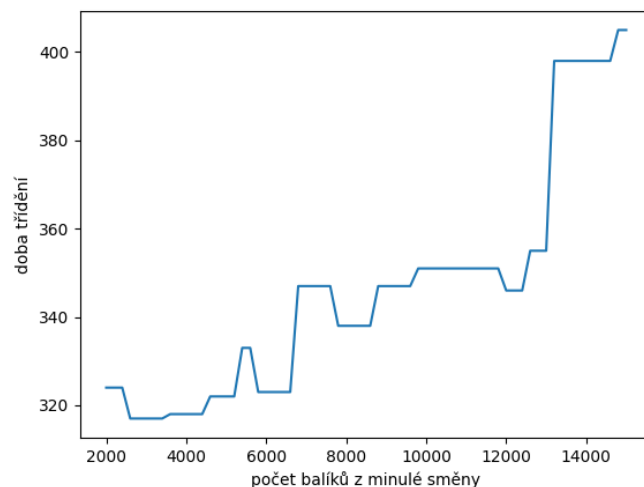
Z výsledků experimentu je patrné, že maximální kapacita depa je okolo 40ti aut, což je vůči aktuálnímu stavu (22 aut) značné zlepšení. Dále z grafu můžeme vyčíst, že počet vytržiděných balíků po překročení maximální kapacity depa klesá.

5.4 Experiment 3 - Vliv zásilek z minulé směny na systém

5.4.1 Motivace experimentu

Tímto experimentem jsme chtěli zjistit míru vlivu zásilek z minulé směny na efektivitu systému za ideálního počtu pracovníků a robotů z experimentu 1. Vstupem tohoto experimentu je interval určující počty balíků z minulé směny, které byly zanechány ve skladu a je potřeba je naložit do vyložených aut (tyto balíky jsou již roztržiděné).

Nejprve se spustí simulace pro všechny hodnoty ze vstupního intervalu a výstupy simulací se uloží do textového souboru. Z tohoto souboru jsou následně hodnoty načteny a zobrazeny do grafu.



Obrázek 4: Experiment 3

5.4.2 Závěr experimentu

Z grafu lze vyčíst, že vyšší počet balíků zvyšuje zátěž systému, avšak vliv těchto balíků na celkovou efektivitu systému není příliš vysoký.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Z výsledků experimentů jsme byli schopni zjistit, že zavedení robotů podle vzoru pražského depa do depa brněnského by značně zrychlilo a zefektivnilo třídění balíků v depu. Navíc jsme byli schopni určit počet potenciálně nasazovaných robotů vzhledem k počtu pracovníků depa a vzhledem k objemu balíků depa v Brně.

7 Řešitelská koalice

S týmem xsila00, xherma34 sdílíme data vzhledem k stejnému kontaktu v Zásilkovně, řešíme však odlišná témata jiným způsobem a žádná jiná spolupráce na projektu neproběhla.

Reference

- [1] Hrubý, M.: Seminář o projektech IMS. [online], 2022. Dostupné z: <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/IMS-2022-seminar-o-projektech.pdf>
- [2] Petr Peringer, D. M., David Leska: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 2022. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>
- [3] Petr Peringer, M. H.: Modelování a simulace. [online], 2022. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>

- [4] Zásilkovna: Seznamte se s PackManem, naším unikátním robotem na třídění zásilek. [online], 2021. Dostupné z: <https://www.zasilkovna.cz/blog/seznamte-se-s-packmanem-nasim-unikatnim-robotem-na-trideni-zasilek>
- [5] Zásilkovna: Ohlédnutí za prvními měsíci s robotickými PackMany. [online], 2022. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=pXXNixmYpTM&ab_channel=Z%C3%A1silkovna
- [6] Zásilkovna: Přehled našich dep. [online], 2022. Dostupné z: <https://www.zasilkovna.cz/blog/prehled-nasich-dep>