

Model logistickej firmy

Projekt do predmetu IMS, 2014

2. decembra 2014

Autori: Michal Kozubík
Marek Hurta
Fakulta Informačních Technologíí
Vysoké Učení Technické v Brně

xkozub03@stud.fit.vutbr.cz
xhurta01@stud.fit.vutbr.cz

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Ciele projektu	1
1.2	Zadanie projektu	1
1.3	Autori	1
1.4	Zdroje informácií	2
1.5	Validita projektu	2
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií	2
2.1	Použité postupy	2
2.1.1	Vzdialenosť a čas medzi pobočkami	3
2.1.2	Systém prepravy zásielok	3
2.1.3	Počet prepravených zásielok	3
2.2	Pôvod použitých technológií	3
3	Koncepcia - modelárska časť	3
3.1	Vzdialenosti medzi mestami	3
3.2	Čas prepravy medzi mestami	4
3.3	Kapacita nákladných áut	4
3.4	Počet zásielok	5
3.5	Systém exportu zásielok	5
3.6	Forma konceptuálneho modelu	5
4	Koncepcia - Implementačná časť	6
4.1	Stratégia č.1	6
4.2	Stratégia č.2	7
4.3	Stratégia č.3	7
4.4	Stratégia č.4	7
4.5	Dve centrály	7
4.6	Modifikácie	7
4.7	Architektúra programu	8
5	Architektúra simulačného modelu	8
5.1	Mapovanie abstraktného modelu do simulačného modelu	8
5.1.1	Trieda Auto	9
5.1.2	Trieda Timeout	9
5.1.3	Trieda PDoba	9
5.1.4	Trieda Pobočka	10
5.1.5	Trieda GeneratorZakazniku	10
5.1.6	Trieda Zakaznik	10
5.1.7	Trieda Zasilka	10
5.1.8	Trieda Statistiky	10
5.2	Výstup	11
5.3	Zostavenie a spustenie	11

6	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	11
6.1	Postup experimentovania	11
6.2	Experimenty	11
6.2.1	Experimenty - Stratégia č.1	12
6.2.2	Experimenty - Stratégia č.2	13
6.2.3	Experimenty - Stratégia č.3	14
6.2.4	Experimenty - Stratégia č.4	15
6.2.5	Dve centrály	16
7	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	17
8	Zoznam grafov, tabuliek a obrázkov	18

1 Úvod

Táto technická správa obsahuje popis riešenia systému hromadej obsluhy (IMS, č. slajdu 136), ktorý je zastúpený logistickou firmou a procesmi s ňou spojenými. Na základe vytvoreného simulačného modelu (IMS, č. slajdu 10), ktorý odráža procesy v rámci firmy a je možné vykonať sadu experimentov (IMS demo, č. slajdu 5), ktoré majú za účel ukázať správanie systému (IMS, č. slajdu 7) pri normálnej a zvýšenej záťaži. Zvýšenie záťaže je spôsobené nerovnomerným objemom zásielok vzhľadom na deň v týždni a tak isto na obdobie v roku, napríklad obdobie Vianoc.

Na základe experimentov je možné detekovať miesta v systéme, ktoré sú zodpovedné za príliš dlhý čas od podania zásielky po jej doručenie. Tieto miesta je možné upraviť tak, aby mali čo najmenší vplyv na čas doručenia zásielky. Jedným z príkladov je zriadenie ďalšej centrálnej pobočky, pre zhromažďovanie zásielok z určitého okruhu miest.

V rámci našej práce sme sa zamerali hlavne na vytvorenie rôznych scenárov, ktorých aplikovaním je možné zvýšiť efektivitu celého systému, hlavne však skrátenie času, ktorý zásielka strávi v systéme logistickej firmy.

Nasledujúce kapitoly sa zaoberajú problematikou zhromažďovania dostatočného množstva dát, pre vytvorenie abstraktného modelu (IMS, č. slajdu 10), ktorý čo najviac korešponduje so systémom logistickej firmy. Podrobne budú rozobrané experimenty (IMS, č. slajdu 9), ktoré boli vykonané na simulačnom modeli, ako aj predpoklady vedúce k ich vytvoreniu.

V záverečnej časti správy budú zhrnuté získané poznatky týkajúce sa správania systému na rôznych úrovniach záťaže, s rôzne nastavenými stratégiami. Tak isto budú uvedené časové rozdiely medzi jednotlivými stratégiami.

1.1 Ciele projektu

1. Analyzovanie vlastností systému za bežných a neštandardných podmienok
2. Analyzovanie času zásielky v systéme pri zmene stratégií riadenia logistiky
3. Porovnanie dosiahnutých výsledkov
4. Návrh ďalších zmien, ktoré by mohli viesť k zlepšeniu výsledkov

1.2 Zadanie projektu

Zadanie projektu¹ je dostupné na stránke k predmetu IMS. Obsah zadania bolo potrebné rozšíriť o niekoľko detailov, nakoľko zadanie špecifikovalo len základné časti a princípy. Doplňujúce informácie budú uvedené v ďalších kapitolách.

1.3 Autori

Na vypracovaní práce sa podieľali:

- Michal Kozubík
- Marek Hurta

¹<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/34>

1.4 Zdroje informácií

Informácie sme čerpali z dostupnej literatúry, ktorá je uvedená na konci dokumentu. Ďalej zo študijných materiálov určených pre predmet IMS, dostupných na stránke² predmetu a materiálov prezentovaných na demonštračných cvičeniach³

Doplňujúce informácie z danej problematiky potrebné k vytvoreniu validného abstraktného modelu, sme sa snažili získať z viacerých logistických firiem. Nakoľko počet takto zistených informácií bol nedostačujúci, museli sme používať aj také zdroje, ktoré obsahovali informácie staršieho dátumu. Tento postup sme zvolili v presvedčení, že abstraktný model založený na týchto dátach bude bližšie odpovedať reálnemu stavu ako keby mal byť založený na nepodložených informáciach.

Pri tvorbe abstraktného modelu bolo potrebné naštudovanie postupov prebiehajúcich vrámci logistickej firmy.

1.5 Validita projektu

Výsledné hodnoty času zásielok v systéme pre jednotlivé stratégie, ktoré sme navrhli približne odpovedajú priemerným dobám doručenia u reálnych logistických firiem. Pre porovnanie firma DHL doručuje zásielky v štandardnom režime približne na druhý deň od podania zásielky⁴. Z výstupov našich experimentov sme zistili, že nami modelovaná firma je schopná doručiť zásielku do doby 1 dňa a 16tich hodín.

Rozdiel medzi dobou doručenia, môže byť spôsobený pevným počtom áut, ktorý vyplýva zo zadania. Tak isto faktom, že prepravná spoločnosť DHL disponuje podstatne väčším počtom nakladacích rámp vo svojich pobočkách. Tento fakt sme nemohli ovplyvniť nakoľko definovaný počet áut by pri reálnom počte nakladacích rámp spôsoboval značné skreslenie štatistík. Bližšie je tento problém rozobrať v nasledujúcej kapitole.

2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

2.1 Použité postupy

Projekt bol vytvorený v programovacom jazyku C++ s použitím simulačnej knižnice SIMLIB⁵. Použitie programovacieho jazyka C++ vyplýva priamo zo zadania projektu. Výber simulačného nástroja (IMS, č. slajdu 38) vychádza z toho, že vytvorený simulačný model v SIMLIB/C++ je program v jazyku C++. Je teda možné v ňom použiť všetky konštrukcie samotného jazyka C++.

Implementácia a všetky experimenty nad simulačným modelom, boli vykonané pod operačným systémom Linux, distribúcia Ubuntu 14.10. Grafy v ktorých sú zobrazené jednotlivé štatistické informácie, boli vytvorené pomocou programu Microsoft Excel.

²<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/>

³<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/1>

⁴http://www.dhl.sk/sk/express/domestikove_sluzby/domestic_day_definite.html#containerpar_productarticle

⁵<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>

2.1.1 Vzdialenosť a čas medzi pobočkami

Informácie o vzdialenostiach medzi jednotlivými mestami v ktorých sídlia pobočky, sme získali pomocou webovej stránky **mapy.cz**. Tak isto bola táto stránka použitá pri meraní času, potrebného na prepravu z jednej pobočky do druhej. Keďže táto stránka meria vzdialenosť a čas na základe optimalizácie trasy, dajú sa považovať namerané hodnoty vzdialenosti a času za dostatočne presné.

2.1.2 Systém prepravy zásielok

Preprava zásielok medzi jednotlivými pobočkami prebieha prostredníctvom nákladných áut, ktoré majú obmedzenú kapacitu. Počet nákladných áut je fixný, 10 kusov a každá pobočka má na počiatku práve jedno nákladné auto vid'. zadanie⁶.

2.1.3 Počet prepravených zásielok

Informácia o počte prepravených zásielok bola odvodená z článku⁷. Po prepočítaní počtu zásielok na jeden deň, sa dal odvodiť čas medzi jednotlivými príchodmi zákazníka. Žiadna z oslovených logistických firiem neposkytla relevantné informácie o počte zákazníkov aspoň na jednu z jej pobočiek. Z tejto informácie by sa dal aproximáciou podľa počtu obyvateľov daného mesta vypočítať približný počet zákazníkov ostatných pobočiek. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli, pracovať s faktom, že príchod jednotlivých zákazníkov na pobočky je vo všetkých mestách rovnaký.

Objem prepravených zásielok, sa mení v závislosti na obdobie v roku. V našom projekte počítame s dvomi obdobiami tak ako to bolo špecifikované v zadaní. V období Vianoc sa objem prepravených zásielok logicky zvyšuje.

2.2 Pôvod použitých technológií

- SIMLIB/C++ - GNU LGPL
- C++
- Ubuntu 14.10 - GNU GPL
- www.mapy.cz
- Windows 7 Home Basic, Microsoft Excel - zakúpená licencia

3 Konceptia - modelárska časť

3.1 Vzdialenosti medzi mestami

V kapitole 2.1.1 sme uviedli postup akým sme získali presné údaje o vzdialenosti medzi jednotlivými mestami v ktorých sú umiestnené pobočky. Všetky uvedené vzdialenosti sú v kilometroch. Prehľad zistených vzdialeností je zachytený v nasledujúcej tabuľke:

⁶<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/34>

⁷<http://www.dnoviny.cz/expresni-sluzby/dpd2909>

	PR	BR	OS	HK	SL	LI	OL	ZL	PL	PA	Legenda	
PR	0	206	375	119	313	111	281	300	92	125	PR	Praha
BR	206	0	174	144	115	309	80	99	296	140	BR	Brno
OS	375	174	0	241	111	341	98	130	465	239	OS	Ostrava
HK	119	144	241	0	220	102	141	208	210	26	HK	Hradec Králové
SL	313	115	111	220	0	416	76	14	402	217	SL	Slušovice
LI	111	309	341	102	416	0	240	403	206	125	LI	Liberec
OL	281	80	98	141	76	240	0	65	371	137	OL	Olomouc
ZL	300	99	130	208	14	403	65	0	390	204	ZL	Zlín
PL	92	296	465	210	402	206	371	390	0	217	PL	Plzeň
PA	125	140	239	26	217	125	137	204	217	0	PA	Pardubice

Tabuľka 1: Vzdialenosť medzi mestami v kilometroch a legenda skratiek

3.2 Čas prepravy medzi mestami

V kapitole 2.1.1 je taktiež uvedený postup zisťovania doby, potrebnej na premiestnenie sa medzi mestami. Všetky hodnoty sú uvedené v minútach. Prehľad zistených časov je zachytený v nasledujúcej tabuľke:

	PR	BR	OS	HK	SL	LI	OL	ZL	PL	PA	Legenda	
PR	0	118	211	77	187	71	159	171	64	81	PR	Praha
BR	118	0	106	134	82	176	54	66	171	123	BR	Brno
OS	211	106	0	171	100	253	68	101	264	171	OS	Ostrava
HK	77	134	171	0	179	89	115	165	130	25	HK	Hradec Králové
SL	187	82	100	179	0	242	73	17	238	176	SL	Slušovice
LI	71	176	253	89	242	0	197	229	128	106	LI	Liberec
OL	159	54	68	115	73	197	0	60	211	112	OL	Olomouc
ZL	171	66	101	165	17	229	60	0	224	163	ZL	Zlín
PL	64	171	264	130	238	128	211	224	0	135	PL	Plzeň
PA	81	123	171	25	176	106	112	163	135	0	PA	Pardubice

Tabuľka 2: Čas prepravy medzi mestami v minútach a legenda skratiek

3.3 Kapacita nákladných áut

Z informácií dostupných na elektoickom periodiku o logistike, firma DHL disponuje autami, ktoré sú vybavené návesmi značky Smitz⁸. Priemerná kapacita týchto návesov je 34 europalet⁹.

Z informácií poskytnutých Slovenskou poštou, sa na jednu europaletu pri dodržaní jej limitov zmestí približne 11 až 13 stredne veľkých zásielok. Tento fakt je však silne závislý na hmotnosti zásielky. Pre naše potreby sme počítali s hodnotou 11 zásielok. Z toho vyplýva, že priemerná kapacita auta je 400 stredne veľkých zásielok.

S kapacitou súvisí aj doba potrebná na naloženie (vyloženie) zásielok z auta. Z informácie zaslanej spoločnosťou DHL o čase, ktorý je potrebný na vyloženie jedného auta sme odvodili

⁸<http://logistika.ihned.cz/c1-62634040-dhl-rozsiruje-vozovy-park>

⁹<http://ww.dnoviny.cz/silnicni-doprava/schmitz-prichazi-s-revolucni-technologie-ve-vyrobe-navesu>

dobu, potrebnú na vyloženie jednej zásielky. Tento čas je vyjadrený exponenciálnym rozdelením so stredom 15 sekúnd.

3.4 Počet zásielok

Po tom, čo sme vypočítali objem zásielok v rámci jedného dňa (približne 2300 zásielok) zo zdroja uvedeného v kapitole 2.1.3, sme dostali dobu medzi jednotlivými príchodmi zákazníkov na pobočku. V bežnom zaťažení sa je táto doba daná exponenciálnym rozdelením so stredom v hodnote 2 minúty.

Na základe poznatku získaného z článku ekonomického portálu¹⁰ v ktorom sa uvádza, že objem prepravených zásielok počas obdobia Vianoc stúpne približne o 100% bolo potrebné upraviť dobu medzi príchodmi zákazníkov na pobočku. V tomto období je doba príchodu daná exponenciálnym rozdelením so stredom v hodnote 1 minúta.

3.5 Systém exportu zásielok

Z poskytnutých informácií vyplýva, že priemerná pobočka je vybavená určitým počtom nakladacích a vykladacích rámp, ktorý sa pohybuje rádovo v desiatkách, v niektorých prípadoch až stovkách kusov. Logistické firmy s takto vybavenými pobočkami, bežne disponujú adekvátnym počtom nákladných áut. Z toho vyplýva, že počet áut je nepriamo prepojený s veľkosťou pobočky.

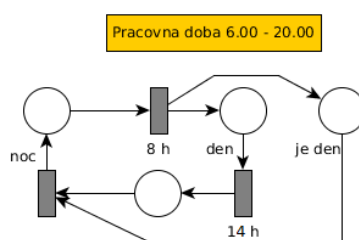
Keďže zadanie projektu jasne špecifikuje počet áut na 10 kusov v prípade, žeby počet nakladacích a vykladacích rámp odpovedal reálnemu stavu, väčšina rámp v pobočke by zostala nevyužitá a pobočka by mohla v niektorých štatistikách vykazovať nízke využitie svojich rámp.

Na základe tohto poznatku sme sa rozhodli, stanoviť fixný počet nakladacích a vykladacích rámp na hodnotu 1 pre každý typ rampy.

3.6 Forma konceptuálneho modelu

Pre popis konceptuálneho modelu sme využili Petriho sieť (IMS, č. slajdu 123). V záujme zachovania prehľadnosti sme v Petriho sieti uviedli len podstatné informácie nakoľko väčšina detailov je rozbraná v samostatných kapitolách. Tak isto sme sa rozhodli logicky rozdeliť Petriho sieť na menšie celky, ktoré budú ľahšie inetrpretovateľné.

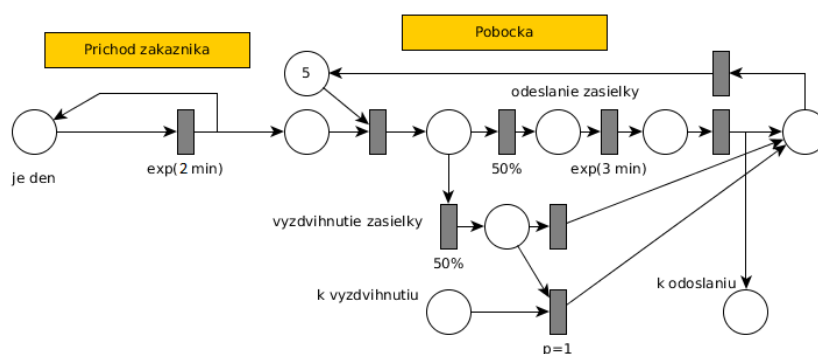
1. Časť modelujúca generátor pracovnej doby



Obr. 1: PN pracovnej doby

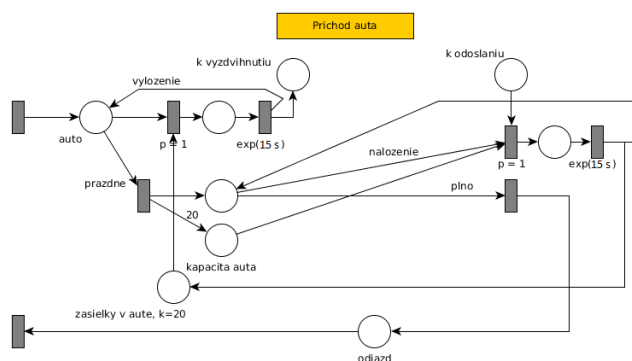
¹⁰http://ekonomika.idnes.cz/srdcem-ceske-posty-projde-pred-vanoci-pres-150-tisic-baliku-denne-psc-/ekoakcie.aspx?c=A101210_124220_ekoakcie_spi

2. Časť modelujúca príchod zákazníka na pobočku a procesy v pobočke



Obr. 2: PN zákazník v spojení s pobočkou

3. Časť modelujúca auto a systém nakladania a vykladania zásielok



Obr. 3: PN auta a jeho procesov

4 Konceptia - Implementačná časť

4.1 Stratégia č.1

Základná stratégia, považujeme ju za referenčnú. Oproti jej výsledkom s modifikáciou PA 100% 4.6 sú porovnávané ostatné stratégie.

Auto, ktoré príde na nakladaciu rampu, nerozlišuje medzi zásielkami, ktoré čakajú na vy-exportovanie. Proces nakladania postupne berie zásielky zo skladu a umiestňuje ich do auta. Auto opúšťa pobočku vo chvíli keď je dosiahnutá jeho maximálna kapacita. Pokiaľ doba od posledného naloženia zásielky prekročí čakací limit, auto odchádza z pobočky s aktuálne naloženými zásielkami. Pokiaľ je v sklade dostatočné množstvo zásielok auto opúšťa pobočku po jeho plnom naložení. Experiment je opakovaný pre všetky uvedené modifikácie.

Výsledky tejto stratégie popisuje kapitola 6.2.1.

4.2 Stratégia č.2

Stratégia, ktorá vylepšuje proces výberu zásielky naloženej do auta. V tomto experimente prebieha proces, triedenia zásielok do skupín podľa cieľových pobočiek. Skupiny sú zoradené od tej z najvyšším počtom zásielok po tú z najnižším. Do auta sa nakladajú zásielky v tomto poradí. Po dosiahnutí kapacity auto opúšťa pobočku.

Výsledky tejto stratégie popisuje kapitola 6.2.2.

4.3 Stratégia č.3

Stratégia, ktorá vylepšuje proces výberu zásielky naloženej do auta. Jednotlivé zásielky sú nakladané do auta podľa najmenšej vzdialenosti do cieľovej pobočky. Po dosiahnutí kapacity auto opúšťa pobočku.

Výsledky tejto stratégie popisuje kapitola 6.2.3.

4.4 Stratégia č.4

Stratégia, ktorá vylepšuje proces výberu zásielky naloženej do auta. Zásielky sú medzi sebou porovnávané na základe času, ktorý už strávili v systéme. Do auta sa nakladajú postupne od zásielky s najvyšším časom stráveným v systéme po tú s najnižším. Po dosiahnutí kapacity auto opúšťa pobočku.

Výsledky tejto stratégie popisuje kapitola 6.2.4.

4.5 Dve centrály

Špeciálnou variantou riadenia logistickej firmy je možnosť zriadenia dvoch centrál. Každá z týchto centrál slúži ďalej ako pobočka. Pri procese nakladania sa vyhodnocuje vzdialenosť zásielky k centrále a podľa toho sa určuje centrálna pobočka zásielky.

Táto varianta má predpoklady na efektívne a rýchle doručovanie keďže sa eliminujú nezmyselné prepravy zásielok, cez jednu centrálu aj keď prepravovaná zásielka smerovala do susednej (pobočka s najmenšou vzdialenosťou k pobočke na ktorej bola zásielka podaná) pobočky.

Túto variantu sme ponechali bez možnosti modifikácií. Prípady založené na variante s dvomi centrálnami a modifikáciami, by mohli byť predmetom ďalších experimentov.

Výsledky tejto stratégie popisuje kapitola 6.2.5.

4.6 Modifikácie

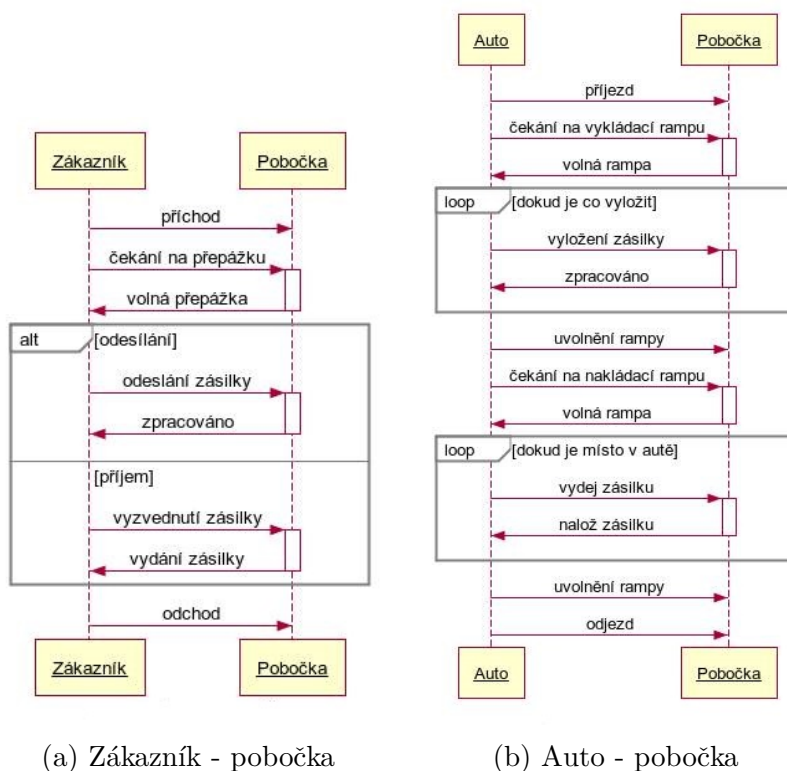
Modifikácie upravujú hodnoty hlavných častí logistického reťazca a tým rozširujú samotný experiment. Zoznam použitých modifikácií:

- Počet nákladných áut v systéme = Cieľom modifikácie je zvýšenie rýchlosti odbytu (nakladanie) a prírastku (vykladanie) zo (do) skladu.
 - navýšenie o 50%, počet áut je 15 kusov. Označenie PA 50%.
 - navýšenie o 100%, počet áut je 20 kusov. Označenie PA 100%.
- Kapacita nákladného priestoru auta = Cieľom modifikácie je zvýšenie jednorázového odbytu (nakladanie) a prírastku (vykladanie) zo (do) skladu.

- navýšenie o 50%, kapacita auta je 600 zásielok. Označenie K 50%.
- navýšenie o 100%, kapacita auta je 800 zásielok. Označenie K 100%.
- Počet triediacich strojov = Cieľom modifikácie je zrýchlenie procesu triedenia.
 - navýšenie o 50%, počet strojov je 7 kusov. Označenie PT 50%.
 - navýšenie o 100%, počet strojov je 10 kusov. Označenie PT 100%.

4.7 Architektúra programu

Popis navrhnutého programu a jeho základné princípy, postupy a procesy popisuje nasledujúca dvojica diagramov:



Obr. 4: Diagramy popisující návrh programu

5 Architektúra simulačného modelu

Pre implementáciu simulačného modelu sme zvolili programovací jazyk C++ (štandard C++11) s využitím knižnice SIMLIB/C++. Pri písaní modelu sme uplatnili princípy OOP a vďaka tomu bolo možné čo najviac kopírovať navrhnutý abstraktný model.

5.1 Mapovanie abstraktného modelu do simulačného modelu

Každému procesu v AM odpovedá samostatná trieda v SM. Okrem toho bolo nutné navrhnuť ešte niekoľko doplnujúcich prvkov pre korektný beh simulácie.

Abstraktný model	Simulačný model
Zákazník	Trieda Zakaznik
Pobočka	Trieda Pobočka
Auto	Trieda Auto
Zásielka	Trieda Zasilka

Tabuľka 3: Mapovanie abstraktného modelu do simulačného

5.1.1 Trieda Auto

Táto trieda odpovedá autám v AM. Je zdedená od triedy Process (SIMLIB). Jej chovanie sa skladá z 3 základných operácií, ktoré sa neustále opakujú:

- naloženie zásielok
- odjazd na inú pobočku
- vyloženie zásielok

Pre naloženie zásielok je nutné zabratie nakladacej rampy. Následne prebieha nakladanie zásielok z pobočky. Pokiaľ po určitom čase (timeout) nedôjde k naloženiu žiadnej zásielky a auto nieje prázdne, okamžite sa ukončí nakladanie a uvoľní sa nakladacia rampa.

Po naložení je nakladacia rampa uvoľnená a auto odchádza. Pre určenie ďalšieho cieľa (pobočky) sú opäť dostupné 4 stratégie, podobné ako u nakladania s tým rozdielom že výsledkom nieje zásielka ale pobočka na ktorú auto smeruje. Tieto stratégie neboli však overené v experimentoch a poskytujú priestor pre ďalšie skúmanie. Samotný odjazd a príjazd je realizovaný čakaním na dobu odpovedajúcu dobe presunu medzi danými pobočkami.

K vyloženiu zásielok na pobočke je opäť určená vykladacia rampa. Po zabratí rampy sa vyložia všetky balíky, ktoré majú cieľovú adresu zhodnú s adresou pobočky. Auto musí reagovať na ukončenie pracovnej doby. Pokiaľ je v tej dobe však na ceste, musí najskôr dôjsť na cieľovú pobočku a následne sa jeho činnosť pozastaví. Začiatkom pracovnej doby je proces opäť aktivovaný.

5.1.2 Trieda Timeout

Trieda je potomkom triedy Event (SIMLIB) a je prepojená s triedou Auto. Pri každom naložení zásielky je naplánované aktivovanie timeoutu (instancia tejto triedy). Pokiaľ dôjde k jeho aktivácii, okamžite odoberie auto z fronty pre zásielky a nakladanie.

5.1.3 Trieda PDoba

Jedná sa o proces, ktorý sleduje pracovnú dobu. Je potomkom triedy Process (SIMLIB). Na konci pracovného dňa informuje všetky pobočky a autá o tom, že by mali ukončiť svoju činnosť. Pri začiatku pracovnej doby im dáva signál pre opätovnú aktiváciu. Zároveň slúži ako čítač celkového počtu simulovaných dní a taktiež dokáže rozlišovať, či je pracovný deň alebo víkend.

5.1.4 Trieda Pobočka

Nededi od žiadnej inej triedy. Jedná sa o zapúzdrenie všetkých informácií a dôležitých prvkov spojených s jednou konkrétnou pobočkou. Obsahuje instanciu generátoru zákazníkov, prepážky dostupné zákazníkom, sklady zásielok, nakladacie a vykladacie rampy.

Jedna z pobočiek je centrálna (model je pripravený na variantu s viacerými centrálnymi pobočkami). Centrálna pobočka ovplyvňuje chovanie procesov, ktoré s ňou operujú.

Reakcia pobočky na koniec pracovnej doby spočíva vo vypnutí (pasivovaní) generátoru zákazníkov. Zároveň klientov, ktorí čakajú vo fronte na prepážku pošle domov.

5.1.5 Trieda GeneratorZakazniku

Dedi od triedy Event (SIMLIB). Periodicky generuje príchod zákazníka na pobočku, ktorá ho vlastní. Čas medzi príchodmi zákazníkov je daný exponenciálnym rozložením, ktorého stred je nastaviteľný v konfiguračnom súbore Defs.cpp.

5.1.6 Trieda Zakaznik

Jedná sa o jednoduchú triedu, ktorá dedí od triedy Process (SIMLIB). Simuluje príchod zákazníkov na pobočku. V polovici prípadov chce zákazník zásielku odoslať, inak si ju chce vyzdvihnúť. V prvých 2 dňoch je tento pomer pozmenený na 9:1, nakoľko sklady zásielok pripravených k vyzdvihnutiu sú na začiatku prázdne, zbytočne by dochádzalo k neúspešným pokusom o vyzdvihnutie.

Po príchode na pobočku sa zákazník postaví do fronty na prepážku. ak je úspešný, vykoná požadovanú operáciu a opúšťa systém. Pokiaľ je behom čakania informovaný o ukončení pracovnej doby, okamžite z pobočky odchádza.

5.1.7 Trieda Zasilka

Reprezentuje zásielku podanú zákazníkom. Dedí od triedy Process (SIMLIB) a jej chovanie spočíva v roztriedení. Pri predaní zásielky na pobočku (od zákazníka alebo auta) dochádza k triedeniu. Pri tom si zásielka zaberie jeden triediaci stroj pobočky a dôjde k určeniu cieľovej adresy. Pokiaľ sa po roztriedení nachádza na pobočke, ktorú má ako cieľ, je pripravená k vyzdvihnutiu zákazníkom. Inak sa nachystá pre naloženie do auta.

Zásielka obsahuje dve informácie o cieľi:

- Skutočný cieľ = adresa, na ktorú ju zákazník odosiela a po celú dobu života zásielky zostáva nemenná
- Aktuálny cieľ = adresa pobočky, na ktorú má byť aktuálne doručená. Pri spracovaní (necentrálnou) pobočkou sa jej priradí adresa najbližšej centrálnej pobočky. Centrálna pobočka priradzuje adresu skutočného cieľa

Zásielka obsahuje časovú značku, zaznamenanú pri jej vytvorení (odoslaní zákazníkom). Tá slúži k štatistickým informáciám a pre niektoré stratégie.

5.1.8 Trieda Statistiky

Nededi od žiadnej triedy. Slúži k zberu dát a taktiež k výpisu podstatných informácií pre hodnotenie simulácie (priemerný čas zásielky v systéme, počet najazdených kilometrov atď...)

5.2 Výstup

Simulátor poskytuje 3 typy výstupov:

- Ladiace informácie = slúžia k výpisu informácií o aktuálnom stave jednotlivých procesov. Zapnutie pomocou premennej `DEBUG_EN` v konfiguračnom súbore.
- Celkové štatistiky = poskytujú dáta podstatné k vyhodnoteniu behu simulácie. Zapnutie pomocou premennej `STATS_EN` v konfiguračnom súbore.
- SIMLIB štatistiky = informujú o vyťažení obslužných liniek, čakaní vo frontách atď. Ukladajú sa do samostatného súboru.

5.3 Zostavenie a spustenie

Pre zostavenie a spustenie je dostupný Makefile podporujúci nasledujúce príkazy:

- `make` = preloží program (zložka `src`) a vytvorí doxygen dokumentáciu (zložka `doc`)
- `make doc` = vytvorenie doxygen dokumentácie
- `make run` = zostavenie a spustenie simulátoru
- `make clean` = vyčistenie pracovného adresára od všetkých vygenerovaných súborov
- `make pack` = zabalenie všetkých potrebných súborov pre zostavenie do zip archívu

6 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Pre účely experimentov sme vytvorili niekoľko stratégií pre riadenie logistiky, ktorých podstata bola podrobne rozobratá v kapitole 4. Predpokladáme, že na základe aplikovania týchto stratégií do simulačného modelu, dôjde k optimalizácii procesov spojených so spracovaním a prepravou zásielok. Tieto optimalizácie by mali viesť k zníženiu celkovej doby, ktorú zásielka strávi v systéme od momentu podania až po jej prebratie.

6.1 Postup experimentovania

Pri experimentovaní sme zvolili postup, pri ktorom sme najskôr vykonali experiment so základnou stratégiou riadenia. Následne sme vykonali experimenty pri ktorých sme zmenili stratégie riadenia. Zaznamenané štatistiky sme nakoniec konfrontovali so štatistikami z prvého experimentu. Každý experiment bol opakovaný 10 krát, z čoho vyplýva, že zistené hodnoty nie sú výsledkom len jedného experimentu ale udávajú priemerné hodnoty.

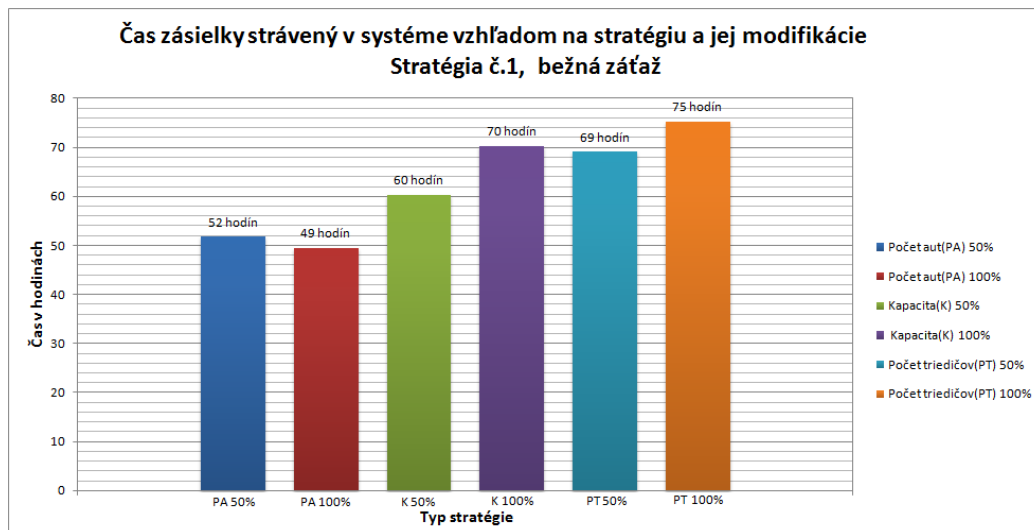
V rámci každej stratégie, sme navyše vykonali modifikácie hlavných atribútov systému. Výsledné porovnania jednotlivých stratégií sú rozobraté v kapitole 7.

6.2 Experimenty

Jednotlivé stratégie sa zameriavajú hlavne na proces akým sa vyberajú zásielky, ktoré sú následne naložené do auta. Experimenty sú vykonané postupne pre stav bežnej záťaže ako aj stav so zvýšenou záťažou (obdobie Vianoc). Modelový čas (IMS, č. slajdu 21) je nastavovaný pre každý experiment na hodnotu 1 mesiac.

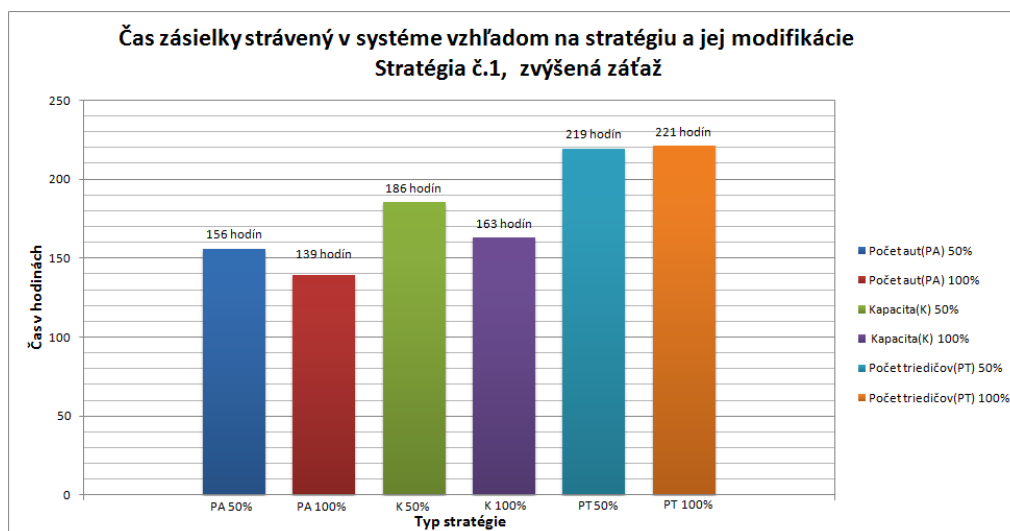
6.2.1 Experimenty - Stratégia č.1

Graf 5, zobrazuje dobu, ktorú strávila zásielka v systéme logistickej firmy od jej podania na pobočke až po jej vyzdvihnutie vzhľadom k jednotlivým modifikáciám. Keďže sa pri výbere zásielky neuplatňuje žiadna špeciálna heuristika o efektívnosti rozhoduje rýchlosť odbytu zásielok zo skladu, čo potvrdzuje aj výsledný nameraný čas modifikácie PA 100%.



Obr. 5: Čas od podania po doručenie zásielky pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.1 a jej modifikáciám

Graf 6, zobrazuje čas medzi podaním zásielky a jej vyzdvihnutím, avšak v období Vianoc. Ako už bolo spomenuté, v období Vianoc sa počet zásielok navyšuje približne o 100%, čo logicky negatívne ovplyvňuje čas, ktorý strávi zásielka v systéme. Ako je vidieť, hodnota času sa približne ztrojnásobila, oproti predchádzajúcemu výsledku. Z grafu je opäť možné usúdiť, že modifikácia PA 100% dosahuje najlepšie výsledky pri danom zaťažení.

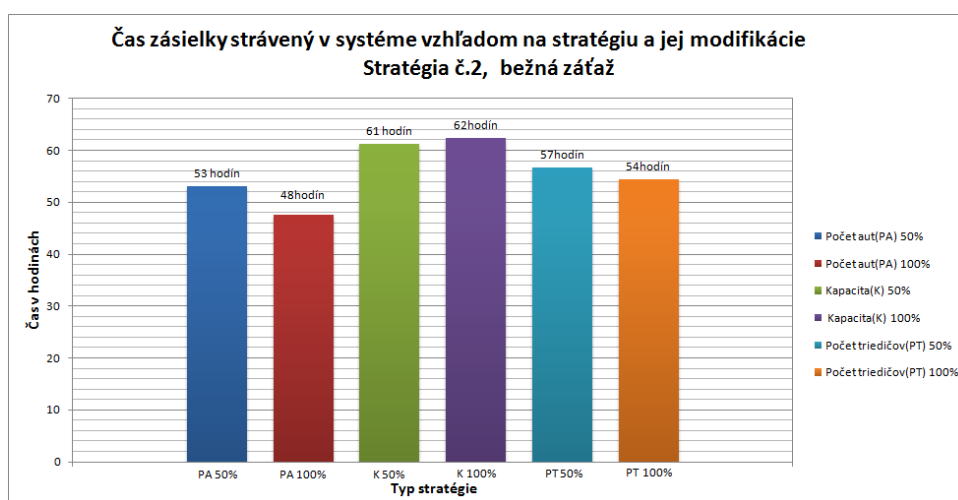


Obr. 6: Čas od podania po doručenie zásielky v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.1 a jej modifikáciám

Predošlé výsledky potvrdzujú počiatočnú hypotézu, že uvedená stratégia nieje vhodná pre obdobie Vianoc, nakoľko aj v kombinácii s najefektívnejšou modifikáciou doba doručenia zásielky presahuje 5 dní.

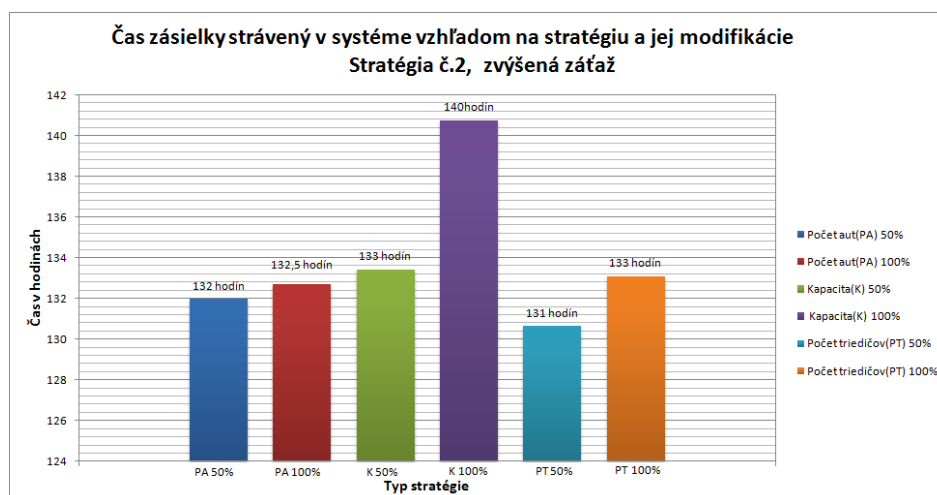
6.2.2 Experimenty - Stratégia č.2

Graf 7, opäť znázorňuje čas zásielky strávený v systéme pri bežnej záťaži. Zo získaných hodnôt opäť vidieť efektívnosť modifikácie PA 100%. Pri porovnaní s grafom 5, je možné vidieť mierne zlepšenie ostatných modifikácií.



Obr. 7: Čas zásielky v systéme pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.2 a jej modifikáciám

V grafe 8, ktorý zobrazuje výsledky experimentu pre obdobie Vianoc, je možné vidieť prudký rozdiel medzi modifikáciou K 100% a ostatnými variantami. Po bližšej analýze štatistik sme zistili, že doba čakania na nakladáciu a vykladáciu rampu v centrálnej pobočke sa priemerne pohybovala okolo **400 minút**. Tento fakt, je spôsobený tým, že pri aktuálnej stratégií sa premiestňuje veľký počet zásielok na relatívne malý počet pobočiek. V kombinácii s veľkou kapacitou auta to má za následok zvyšovanie doby vykladania.

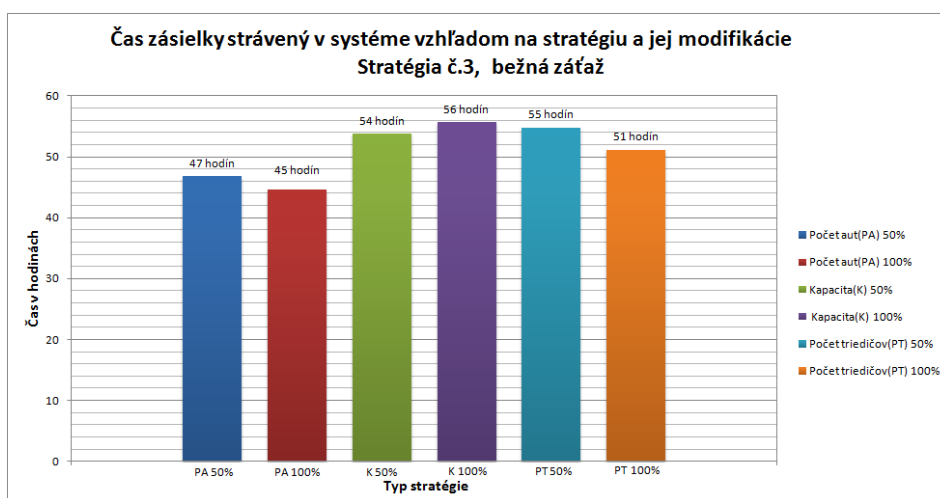


Obr. 8: Čas zásielky v systéme v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.2 a jej modifikáciám

Pri porovnaní grafov 8 a 6 je vidieť pokles času zásielky stráveného v systéme. Najvýraznejší pokles je u modifikácie PT 50%, konkrétne až o **59,8%**. Z popisu tejto stratégie je zjavé, že bude fungovať efektívne pri veľkom počte dostupných zásielok. Navýšenie počtu triediacich strojov viedlo k zvýšeniu spracovaných zásielok, tým pádom môže nakladací proces vyberať z väčšieho objemu zásielok a vybrané zásielky zoskupovať do väčších skupín podľa cieľovej pobočky.

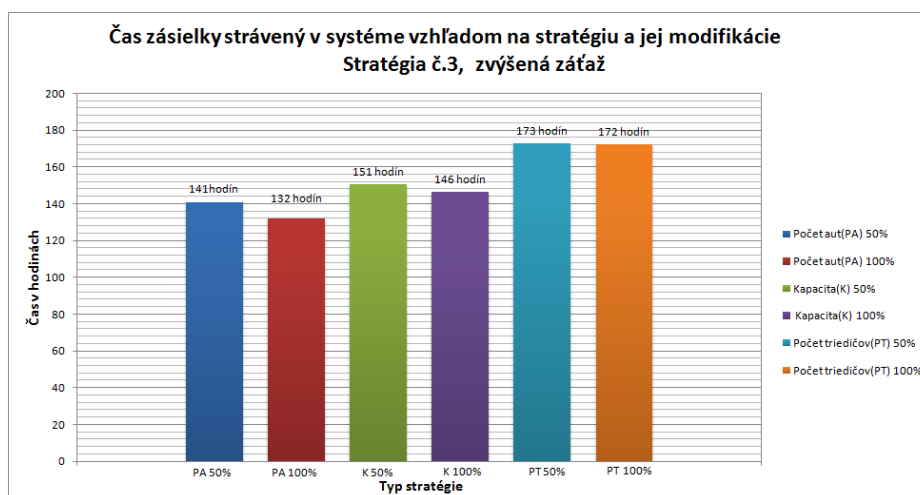
6.2.3 Experimenty - Stratégia č.3

Z grafu 9 je opäť vidieť mierny pokles času, ktorý zásielka strávi v systéme. Rozdiely medzi jednotlivými modifikáciami, ktoré boli viditeľné napríklad v grafe 5, sú menšieho charakteru. Napriek tomu modifikácia PA 100% dosahuje celkovo najlepšiu hodnotu vrámci všetkých stratégií pri bežnom zaťažení. Priemerná doba doručenia je **1 deň a 21 hodín**.



Obr. 9: Čas zásielky v systéme pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.3 a jej modifikáciám

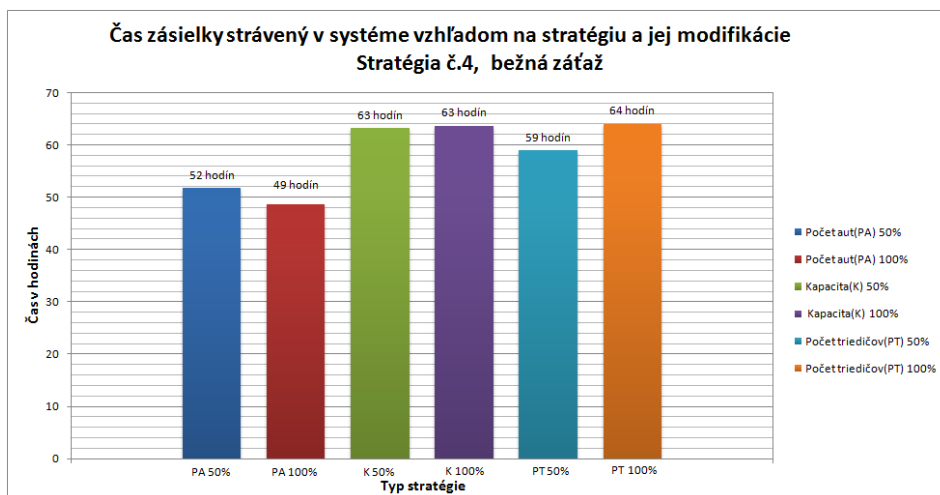
Z nasledujúceho grafu 10 vyplýva, že táto stratégia je primárne určená na obdobie bežnej záťaže. V období Vianoc nedosahuje očakávané výsledky.



Obr. 10: Čas zásielky v systéme v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.3 a jej modifikáciám

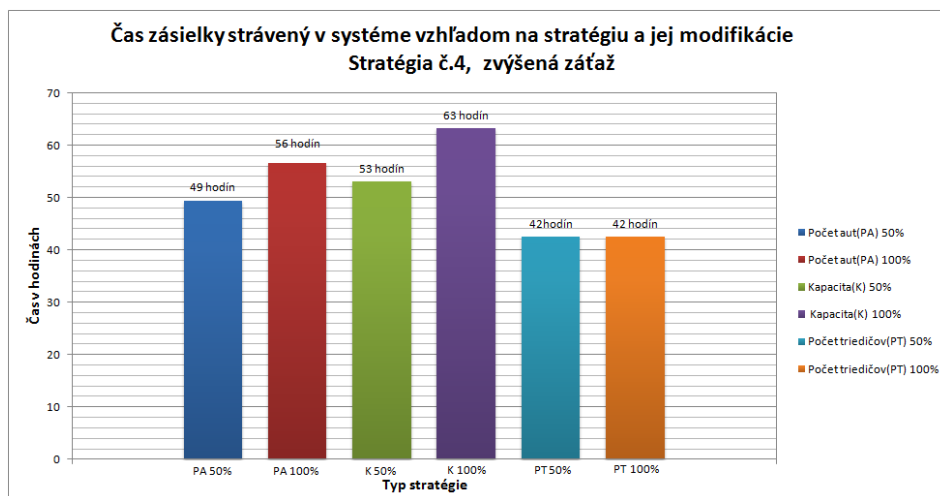
6.2.4 Experimenty - Stratégia č.4

Nasledujúci graf 11, zobrazuje poslednú zo stratégií pri bežnom zaťažení. Nakoľko je táto stratégia primárne určená pre obdobie Vianoc, dosiahnuté hodnoty v bežnom období nemajú výrazný vplyv na zmenu času zásielky v systéme.



Obr. 11: Čas od podania po doručenie zásielky pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.4 a jej modifikáciám

Posledný z grafov 13, zobrazuje najmenšie namerané hodnoty v období Vianoc zo všetkých stratégií. Keďže sa táto stratégia priamo zameriava na čas, je vhodné predpokladať, že bude mať najlepšie výsledky spomedzi všetkých stratégií. Pri bežnom zaťažení sa jej vplyv takmer neprejavuje, avšak hypotézu potvrdzujú výsledky získané v nad obdobím Vianoc. Oproti ostatným stratégiám zkracuje celkový čas až trojnásobne. Najkratšia doba zásielky v systéme bola nameraná v kombinácii s modifikáciami PT 50% a PT 100%. Priemerná doba doručenia je **1 deň a 18hodín**.



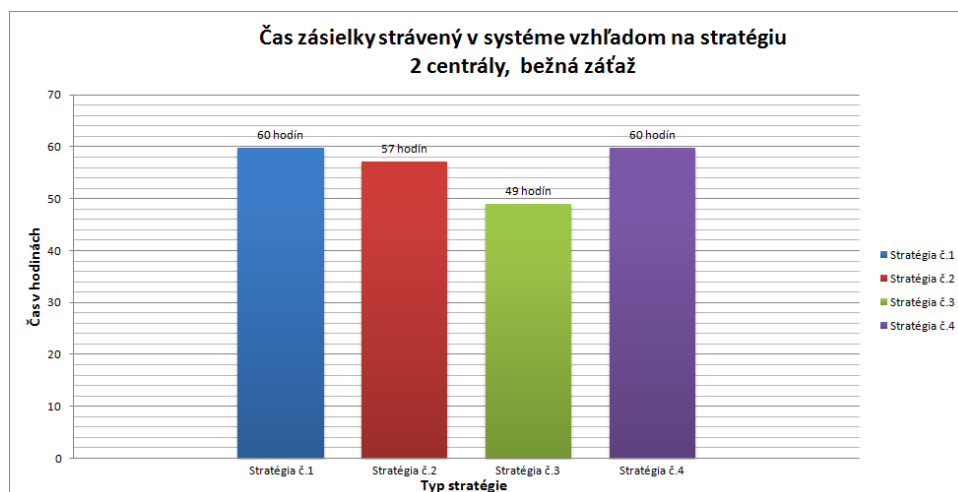
Obr. 12: Čas od podania po doručenie zásielky v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.4 a jej modifikáciám

Na základe zistených informácií je možné prehlásiť, že Stratégia č.4 v kombinácii s jednou

s modifikácií PT, dosahuje najlepšie výsledky rámci všetkých stratégií riadenia. Jej primárne zameranie je hlavne na obdobie Vianoc.

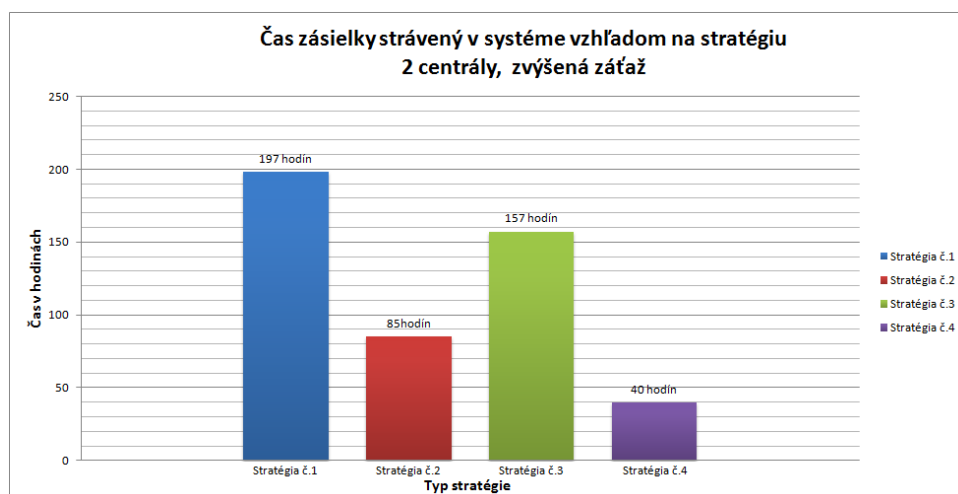
6.2.5 Dve centrály

Graf 13, ilustruje hodnoty času zásielky v systéme s dvomi centrálmami. Na takto vytvorený model, sme aplikovali jednotlivé stratégie s modifikáciou PT 100%. Z nameraných hodnôt je zrejmé, že stratégia č.3 je najlepším riešením, v takto navrhnutom systéme.



Obr. 13: Čas od podania po doručenie zásielky v bežnom období vzhľadom k variante s dvomi centrálmami

Posledný graf 14, zobrazuje hodnoty času zásielky v systéme s dvoma centrálmami. Sledované je Vianočné obdobie, kde je jasne zrejmé, že stratégia č.4 dosahuje výrazne lepšie výsledky ako ostatné stratégie. Tento fakt potvrdil našu hypotézu, pretože varianta s dvomi centrálmami pri zvolenej stratégii č.4 dosiahla najkratšiu dobu doručenia zásielky vôbec. Priemerná doba doručenia je **1 deň a 16hodín**.

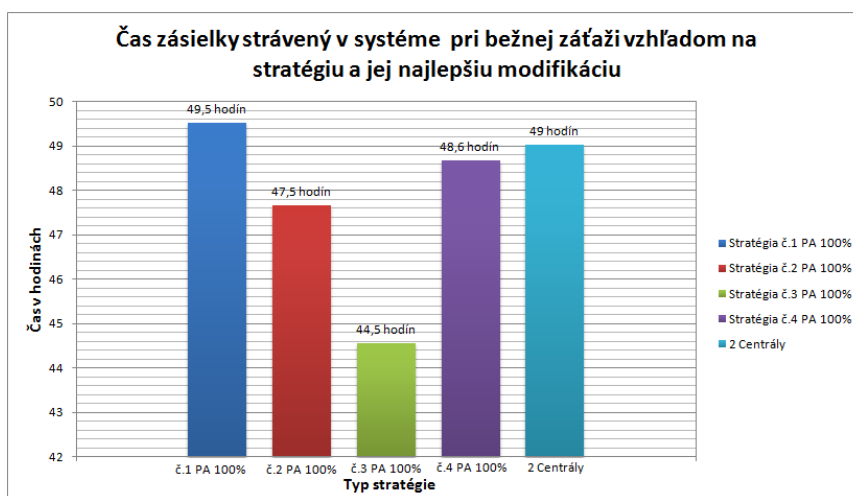


Obr. 14: Čas od podania po doručenie zásielky v období Vianoc vzhľadom k variante s dvomi centrálmami

7 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

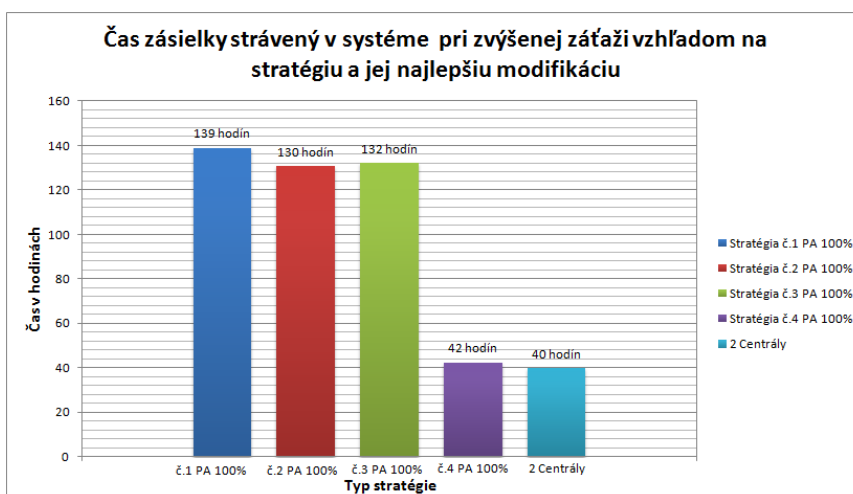
Po vykonaní simulačných experimentov, sme vyhodnotili jednotlivé štatistiky pre každú stratégiu a jej najlepšiu modifikáciu. Tento krok, bol dôležitý k celkovému porovnaniu a vyhodnoteniu stratégií. Výsledkom sú dva grafy pre obe varianty zaťaženia.

Graf 15 zobrazuje porovnanie jednotlivých stratégií a varianty s dvomi centrálnymi počas bežného zaťaženia. Ako je z grafu jasne vidieť, najlepšie výsledky dosahuje Stratégia č.3 s modifikáciou PA 100%. Približná doba doručenia je pri tejto stratégii **1 deň a 20,5 hodín**. V porovnaní s referenčnou stratégiou č.1 je táto varianta v danom období o **10,2%** efektívnejšia.



Obr. 15: Porovnanie efektívnosti navrhnutých stratégií pri bežnom zaťažení

Graf 16 zobrazuje porovnanie stratégií a varianty s dvomi centrálnymi počas Vianočného obdobia. Na prvý pohľad je zrejmé, že varianta s dvomi centrálnymi pobočkami je výrazne efektívnejšia ako prvé tri navrhnuté stratégie. Približná doba doručenia je pri tejto variante **1 deň a 16 hodín**. V porovnaní s referenčnou Stratégiou č.1 je táto varianta v danom období o **71,3%** efektívnejšia.



Obr. 16: Porovnanie efektívnosti navrhnutých stratégií v období Vianoc

8 Zoznam grafov, tabuliek a obrázkov

Zoznam obrázkov

1	PN pracovnej doby	5
2	PN zákazník v spojení s pobočkou	6
3	PN auta a jeho procesov	6
4	Diagramy popisujúce návrh programu	8
5	Čas od podania po doručenie zásielky pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.1 a jej modifikáciám	12
6	Čas od podania po doručenie zásielky v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.1 a jej modifikáciám	12
7	Čas zásielky v systéme pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.2 a jej modifikáciám	13
8	Čas zásielky v systéme v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.2 a jej modifikáciám	13
9	Čas zásielky v systéme pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.3 a jej modifikáciám	14
10	Čas zásielky v systéme v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.3 a jej modifikáciám	14
11	Čas od podania po doručenie zásielky pri bežnom zaťažení vzhľadom k stratégií č.4 a jej modifikáciám	15
12	Čas od podania po doručenie zásielky v období Vianoc vzhľadom k stratégií č.4 a jej modifikáciám	15
13	Čas od podania po doručenie zásielky v bežnom období vzhľadom k variante s dvomi centrálnymi	16
14	Čas od podania po doručenie zásielky v období Vianoc vzhľadom k variante s dvomi centrálnymi	16
15	Porovnanie efektívnosti navrhnutých stratégií pri bežnom zaťažení	17
16	Porovnanie efektívnosti navrhnutých stratégií v období Vianoc	17

Zoznam tabuliek

1	Vzdialenosť medzi mestami v kilometroch a legenda skratiek	4
2	Čas prepravy medzi mestami v minútach a legenda skratiek	4
3	Mapovanie abstraktného modelu do simulačného	9