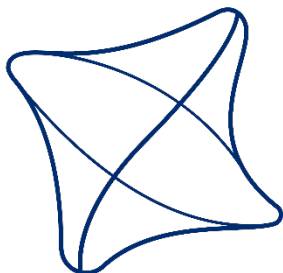


Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky



Semestrálna práca S3

Diskrétna simulácia

Bc. Dominik Ježík

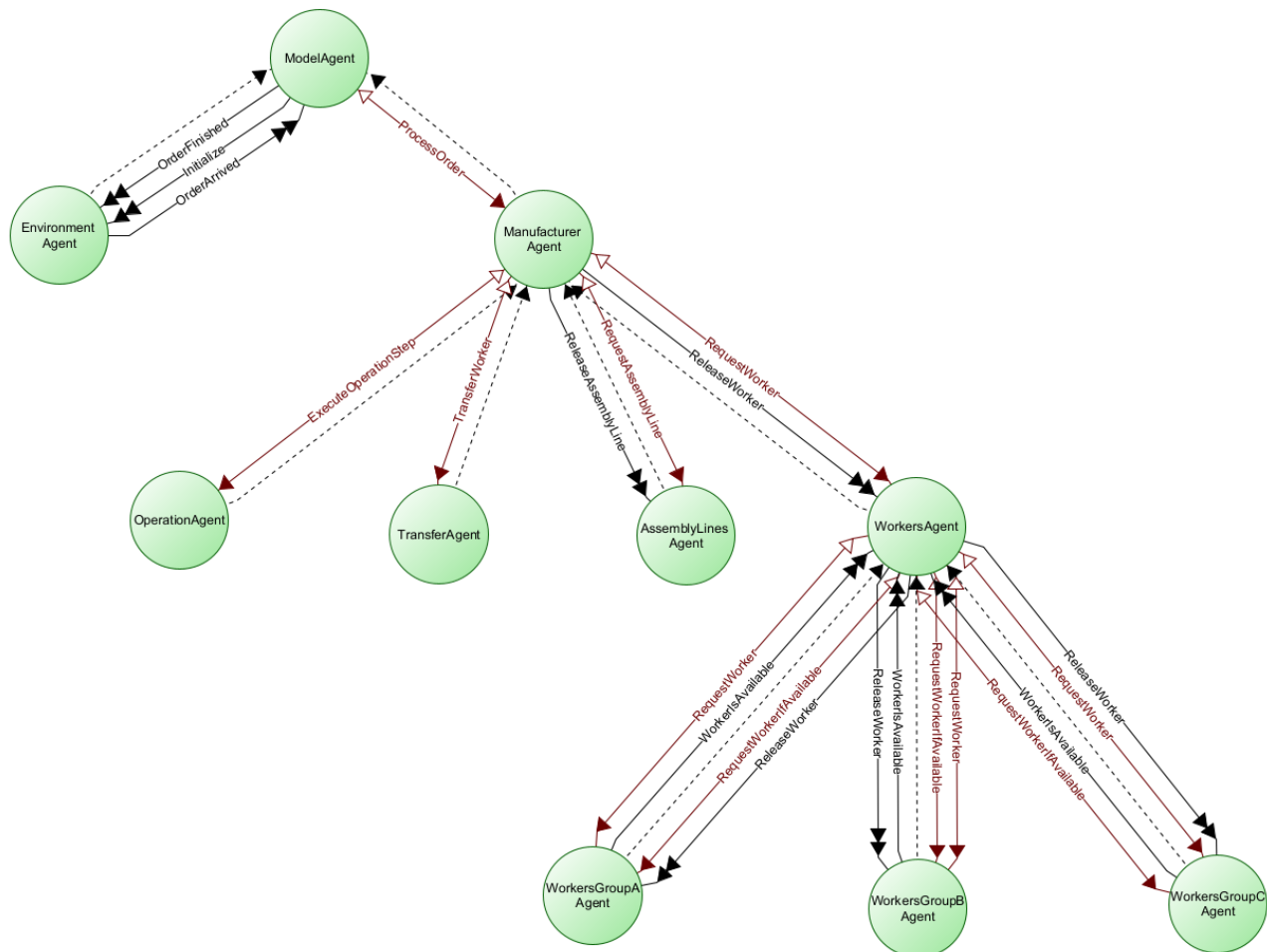
2025



Obsah

1 Agentovo orientovaný model	3
1.1 Environment Agent	3
1.2 Model Agent	5
1.3 Manufacturer Agent.....	6
1.4 Assembly Line Agent	9
1.5 Workers Group A/B/C Agent.....	10
1.6 Workers Agent	11
1.7 Transfer Agent.....	14
1.8 Operation Agent.....	15
2 Architektúra aplikácie.....	17
3 Vyhodnotenie simulačných experimentov	19
3.1 Paralelný analyzátor konfigurácií	19
3.2 Určenie počiatočného riešenia pomocou analýzy náhodných premenných	20
3.3 Séria experimentov s konfiguráciami 5, 5, c , 9999	25
3.4 Séria experimentov s konfiguráciami 5, 5, 39, L	27
3.5 Séria experimentov s konfiguráciami 5, 5, 40, L	31
3.6 Séria experimentov v okolí konfigurácie 5, 5, 40, 59	37
3.7 Séria experimentov s konfiguráciami 6, 5, C , 59	38
3.8 Séria experimentov s konfiguráciami 6, 5, 38, L	39
3.9 Séria experimentov s konfiguráciami 6, 6, 39, L	43
3.10 Záver vyhodnotenia simulačných experimentov	44

1 Agentovo orientovaný model



1.1 Environment Agent

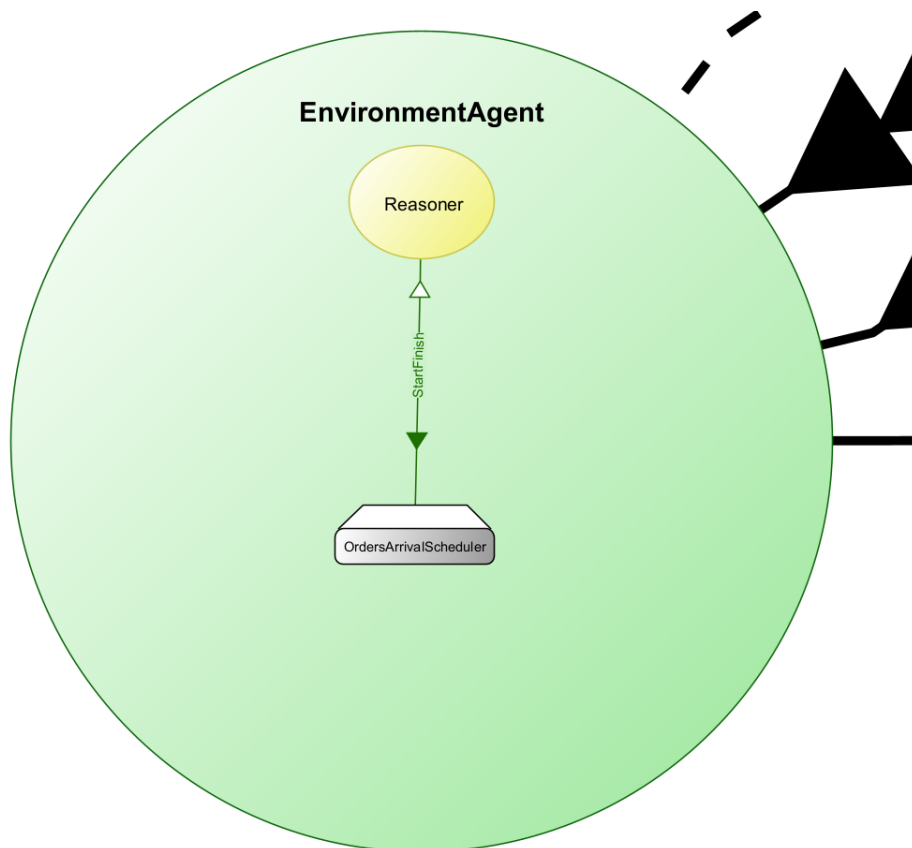
Agent okolia (*EnvironmentAgent*), je zodpovedný za správu okolia systému. Z okolia do systému prichádzajú nové objednávky pre spracovanie. Na začiatku simulácie je jeho činnosť zahájená, keď hlavný agent modelu pošle agentovi okolia správu *Initialized*, na základe ktorej spúšťame kontinuálneho asistenta plánovač *OrdersArrivalScheduler*. Ten naplánuje príchod novej objednávky do systému, ktorý je daný exponenciálnym pravdepodobnosti s parametrom $\lambda = 30$ minút. Keď sa plánovač vykoná a príde nová objednávka, vygenerujeme počet položiek, ktoré objednávka obsahuje daný diskretným rovnomerným rozdelením pravdepodobnosti $\min = 1$,



max= 5. Pre každú položku objednávky vygenerujeme o aký typ nábytku ide podľa pravdepodobnosti:

Typ nábytku	Pravdepodobnosť vygenerovania
Stôl	50%
Stolička	15%
Skriňa	35%

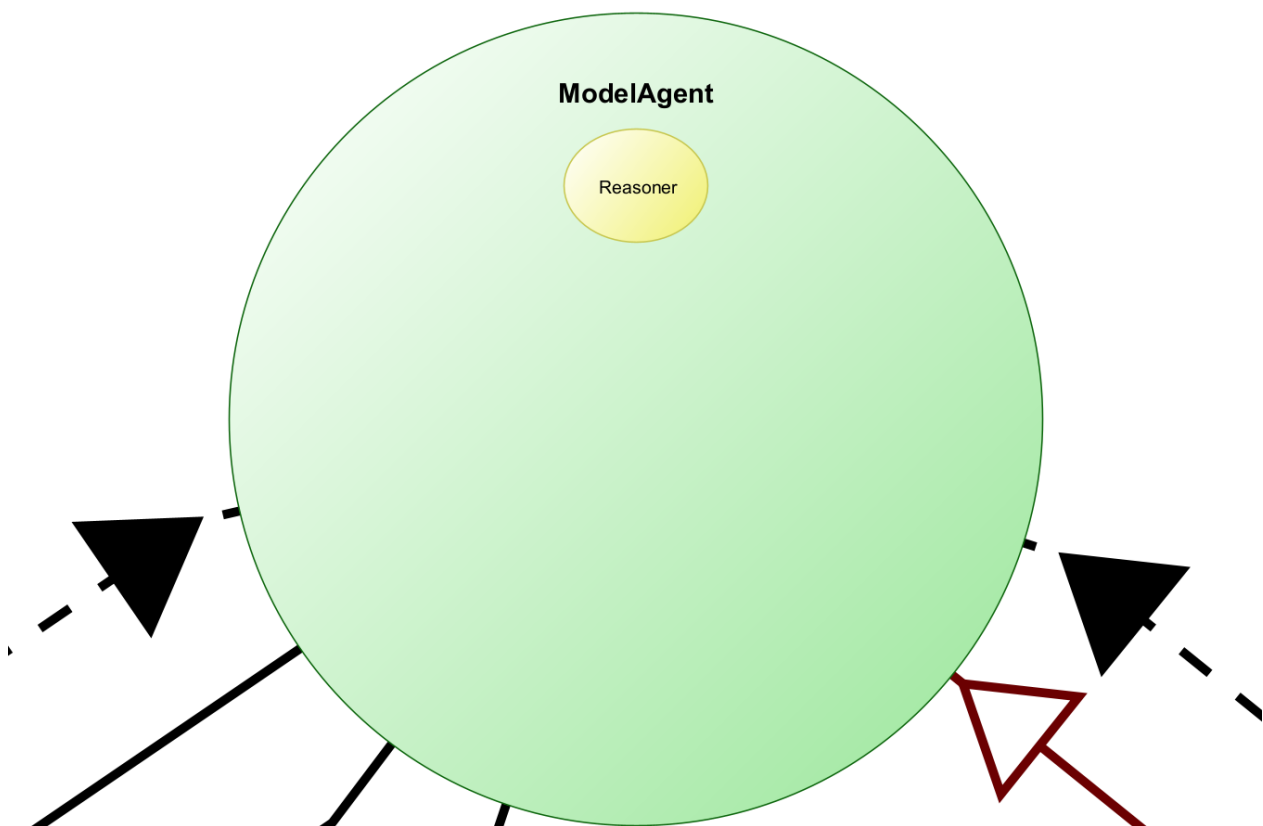
Pre položku tiež vygenerujeme rozhodnutie s pravdepodobnosťou 15%, že potrebuje byť nalakovaná. Vygenerovanú objednávku odošleme agentovi modelu pre spracovanie cez správu *OrderArrived*. Po spracovaní nám agent modelu pošle správu *OrderFinished*, po prijatí ktorej si z objednávky prečítame jej čas príchodu a vypočítame čas jej pobytu v systéme a vložíme do štatistiky v tomto agentovi.





1.2 Model Agent

Agent modelu je hierarchicky hlavným agentom simulácie. Jeho úlohou je prijímať nové objednávky z agenta okolia a preposielať ich ako požiadavku správou *ProcessOrder* na agenta výrobcu (*ManufacturerAgent*). Po spracovaní objednávky dostáva spätne odpoveď o spracovaní, ktorú prepošle na agenta okolia. Pri počiatočnom spustení simulácie posiela správu *Initialize* agentovi okolia.





1.3 Manufacturer Agent

Agent výrobcu (*ManufacturerAgent*) riadi proces spracovania objednávky, čo zahŕňa zadávanie činností, ktoré treba vykonať nad položkou objednávky a zabezpečenie potrebných zdrojov pre vykonanie činností.

Agent na začiatku prijme správu *ProcessOrder* pre spracovanie novej objednávky. Zaradí ju do zoznamov – všetkých objednávok, nedokončených objednávok a nezačatých objednávok. Následne pre každú položku vytvorí správu *RequestAssemblyLine*, čím sa pokúsime získať voľnú výrobnú linku potrebnú pre spracovanie položky. Správu odosielame agentovi výrobných liniek (*AssemblyLinesAgent*).

Keď agent výrobných liniek vráti pre položku objednávky výrobnú linku, priradíme k linke položku. Následne pre uskutočnenie prvého výrobného kroku položky, vyžiadame pracovníka skupiny A z agenta pracovníkov (*WorkersAgent*) správou *RequestWorker*.

Po prijatí správy o pridelení pracovníka zistíme, v akom aktuálnom stave sa nachádza spracovanie objednávky. Skontrolujeme či išlo o priradenie pracovníka skupiny A pre začatie spracovania prvej položky z objednávky – pokiaľ áno, odoberieme objednávku zo zoznamu nezačatých objednávok a jej čas čakania vložíme do štatistiky.

Ešte pred samotným vykonaním kroku spracovania, musíme zistiť aktuálnu polohu pracovníka a v prípade, že sa nenachádza v sklade (na úplnom začiatku spracovania položky) alebo na výrobnéj linke, kde je daná objednávka (zvyšné činnosti spracovania), pracovníka presunieme. Na presun používame agenta presunov (*TransferAgent*), ktorý modeluje čas presunov. Danému agentovi odošleme správu.

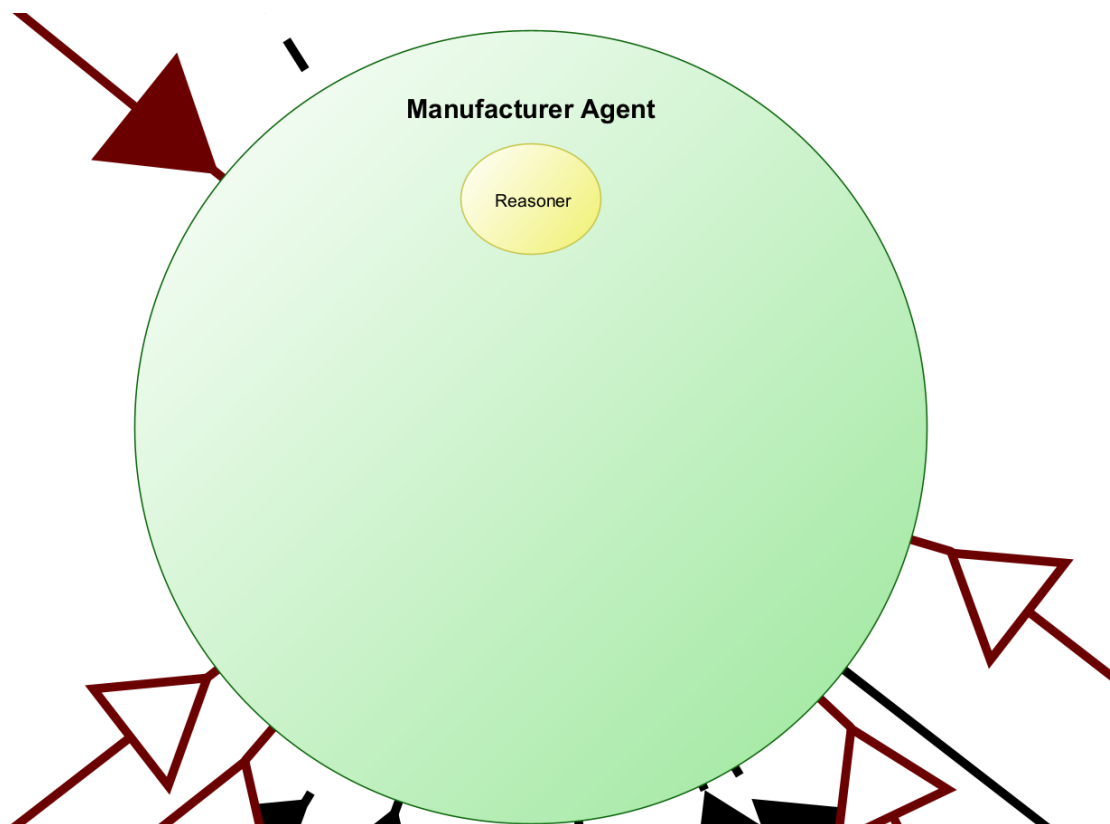
Keď sa pracovník nachádza na správnom mieste, môže vykonať krok spracovania. Toto je zabezpečené agentom spracovania (*OperationAgent*), ktorému v správe *ExecuteOperationStep* pripojíme položku a agent na základe jej aktuálneho stavu vykoná nasledujúcu činnosť.

Po dokončení spracovania kroku, uvoľníme pracovníka, ktorý danú činnosť vykonával odoslaním správy *ReleaseWorker* agentovi pracovníkov. Následne pokiaľ položka nebola celá spracovaná,



zistíme jej aktuálny stav a vyžiadame pracovníka z potrebnej skupiny. Po vykonaní kroku morenia robíme menšiu výnimku. Keďže nasledujúci krok je lakovanie, ktoré je vykonávané pracovníkom z tej istej skupiny (C) ako morenie, neodošleme správu *ReleaseWorker*. Miesto toho odosielame správu *RequestWorker*, do ktorej pribalíme daného pracovníka, ktorého by sme mali v tomto momente uvoľniť. Týmto indikujeme agentovi zodpovednému za pridelenie pracovníkov, že pokiaľ nemá prioritnejšiu požiadavku na pracovníka danej skupiny, tak nech spätne prideli daného pracovníka danej položke. Keby neimplementujeme túto výnimku mohla by nastať situácia, že štandardne uvoľníme daného pracovníka, ale v tom momente v rovnakom simulačnom čase príde požiadavka na pracovníka z danej skupiny a bude pridelený k inej objednávke, ktorej priorita nemusí byť väčšia. Následne by sme sa snažili vyžiadať pracovníka z danej skupiny, ale už by to nebol ten istý pracovník, ale pracovník z inej linky a musel by sa premiestniť na danú linku.

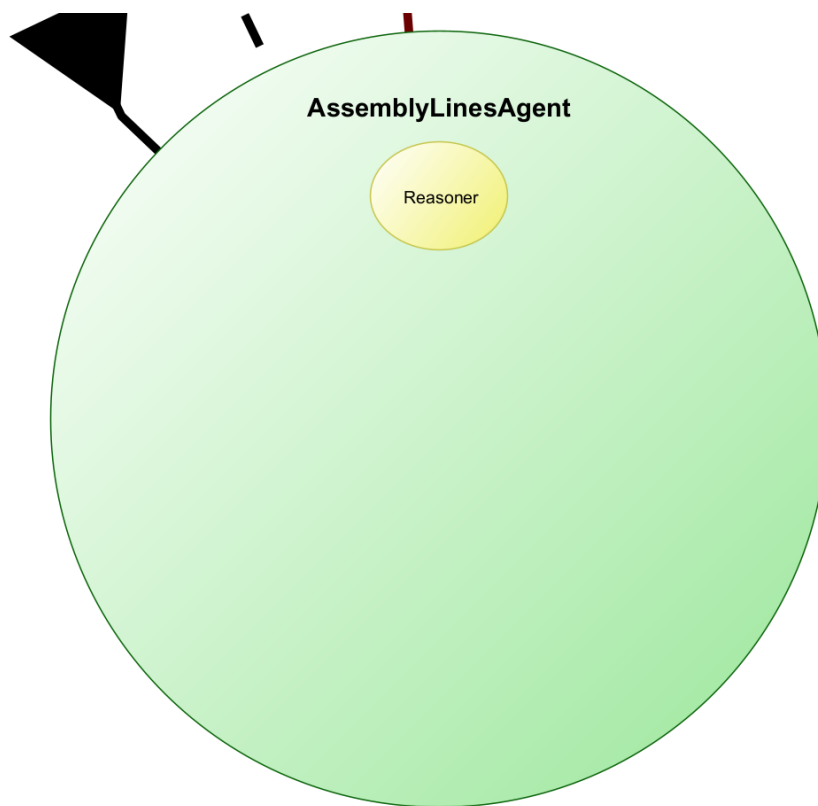
Pri zistení, že sme spracovali celú položku z objednávky uvoľníme výrobnú linku poslaním správy *ReleaseAssemblyLine* agentovi výrobných liniek. Potom skontrolujeme, či sme už vyrobili všetky položky z objednávky danej položky. Pokiaľ áno, odoberieme objednávku zo zoznamu nedokončených objednávok a jej pôvodnú správu na spracovanie odošleme ako response agentovi modelu.





1.4 Assembly Line Agent

Hlavnou úlohou agenta výrobných liniek je na požiadanie vrátiť voľnú výrobnú linku. Po prijatí správy *RequestAssemblyLine* skontroluje, či má k dispozícii voľnú výrobnú linku. Pokiaľ áno, odošle response, do ktorého linku pribalí. Pokiaľ nemá k dispozícii voľnú linku, zaradí požiadavku do frontu čakajúcich požiadaviek na linku. Po prijatí správy *ReleaseAssemblyLine*, zoberie zo správy uvoľnenú linku a pokiaľ na voľnú linku nečaká žiadna požiadavka, zaradí ju do svojho frontu voľných liniek. V prípade, že na ňu čaká nejaká požiadavka, vyberie ju z frontu požiadaviek, pripojí do nej voľnú linku a odošle response. Tento agent spravuje štatistiku dobu čakania na voľnú linku vrátane veľkosti frontu požiadaviek.



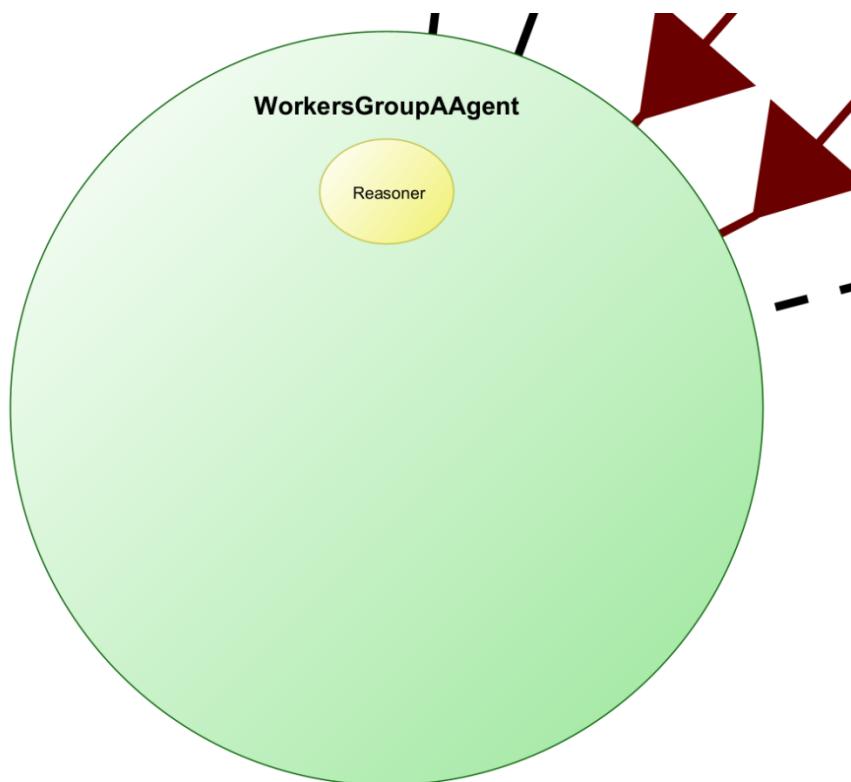


1.5 Workers Group A/B/C Agent

Pre každý typ pracovníka máme samostatného agenta, ktorý je zodpovedný za pridelovanie pracovníkov na vyžiadanie. Pracovníka je možné vyžiadať zaslaním správy *RequestWorker*. Pokiaľ má agent k dispozícii voľného pracovníka, pripojí ho do správy a odošle response. Ak nemá voľného pracovníka, zaradí požiadavku do prioritného frontu požiadaviek. V prípade, že v požiadavke na pridelenie pracovníka bol pripojený aj pracovník, ide o situáciu, kedy tohto pracovníka uvoľňujeme a zároveň ho chceme spätne vyžiadať a priradiť (pracovník skupiny C dokončil morenie a nasledujúca činnosť lakovanie je vykonávaná tiež pracovníkom skupiny C). Vtedy skontrolujeme či vo fronte čakajúcich požiadaviek na pracovníka sa nachádza prioritnejšia požiadavka. Ak nie tak pracovníka spätne pridelíme, ale ak áno, pracovníka zo správy odoberieme, pridelíme prioritnejšej požiadavke a pôvodnú požiadavku zaradíme do fronty.

Pracovníka je možné uvoľniť poslaním správy *ReleaseWorker* tomuto agentovi, kde skontrolujeme či vo fronte čakajúcich požiadaviek nejaká je. Ak áno pripojíme pracovníka do požiadavky a odošleme. Inak zaradíme voľného pracovníka do zoznamu voľných pracovníkov. V prípade, že v správe bol poznačený boolean flag *NotifyIfWorkerAvailable*, odošleme správu *WorkerIsAvailable* nadriadenému agentovi *WorkersAgent*. Táto správa je využívaná v procese vyžiadania pracovníka zo skupiny A alebo zo skupiny C (pri montáži kovaní).

Agent dokáže ešte prijímať requesty správy *RequestWorkerIfAvailable*, ktorá na rozdiel od štandardnej správy na vyžiadanie *RequestWorker*, odosiela response v aktuálnom simulačnom čase. V prípade, že máme k dispozícii pracovníka tak do pripojíme do správy a v prípade, že nemáme, do správy nastavíme null (požiadavka nie je zaradená do frontu požiadaviek). Táto správa je tiež využívaná v procese získavania pracovníka zo skupiny A alebo zo skupiny C.



1.6 Workers Agent

Tento agent prijíma požiadavky na pridelenia agenta z danej skupiny. Po prijatí správy *RequestWorker*, zistí, či je požadovaný pracovník iba z jednej určenej skupiny. Pokiaľ áno, podľa typu požadovaného pracovníka prepošle túto správu na jedného z troch agentov danej skupiny.

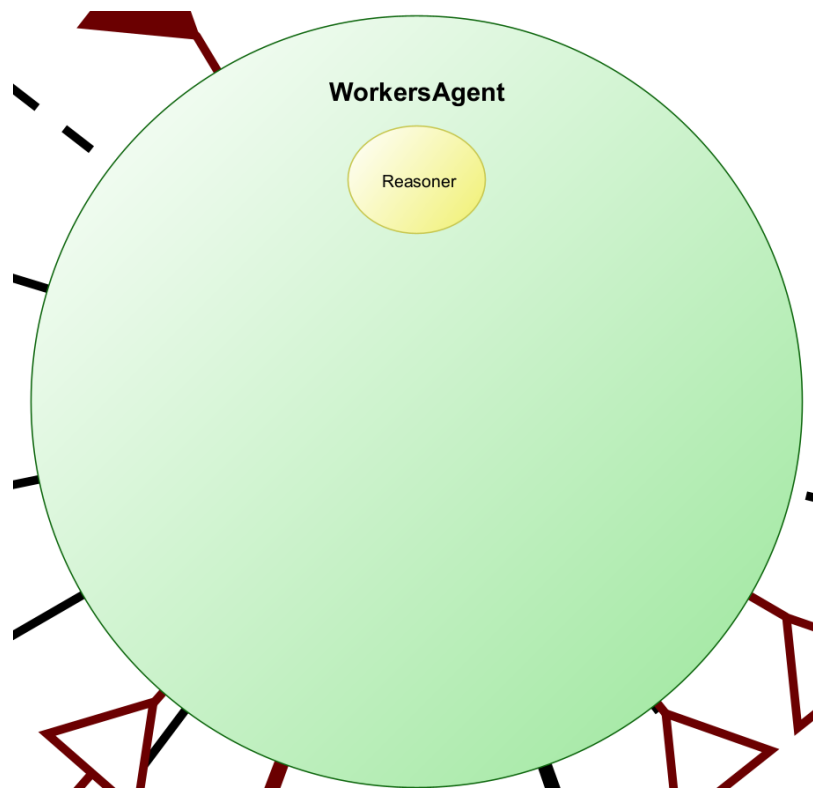
Ak ale požadujeme pracovníka, ktorý môže byť zo skupiny A alebo skupiny C uložíme si najskôr túto požiadavku do pomocného zoznamu aktuálne kontrolovaných požiadaviek. Pokúsime sa pre túto požiadavku vyžiadať najskôr pracovníka zo skupiny C cez správu *RequestIfAvailable*. Odpoveď dostávame v aktuálnom simulačnom čase, a ak je v odpovedi pripojený voľný pracovník, odosielame ho ako response, a tiež túto požiadavku odoberieme z pomocného zoznamu. Ak sme ale nedostali voľného pracovníka, skúsime skupinu A rovnakým spôsobom. Ak ale nedostaneme voľného pracovníka ani zo skupiny A, odoberieme požiadavku z pomocného zoznamu aktuálne kontrolovaných požiadaviek a vložíme ju do prioritného frontu čakajúcich požiadaviek (požiadaviek na pracovníkov z rôznych skupín), ktorý sa nachádza v tomto agentovi.



V prípade, že nám príde správa o uvoľnení pracovníka *ReleaseWorker*, nastavíme správe flag *NotifyIfWorkerAvailable* a správu prepošleme na príslušného agenta danej skupiny pracovníkov. Ak tento agent má v sebe požiadavku tak ju klasicky obslúži vybratím z frontu a odoslaním response. Avšak v nadriadenom agentovi *WorkersAgent* pri prijatí správy na response, ešte pred vykonaním response, skontrolujeme či nemáme požiadavku v prioritnom fronte požiadaviek na pracovníkov z viacerých skupín. Ak áno a požiadavka je prioritnejšia, tak obslúžime túto prioritnejšiu požiadavku a pôvodnú požiadavku z agenta konkrétneho pracovníka vrátime späť agentovi. Týmto spôsobom dokážeme obsluhovať požiadavky na pracovníka z rôznych skupín.

Ak agent konkrétnej skupiny po prijatí releasu, nemal žiadnu požiadavku vo svojom fronte, nadriadený agent by nemal možnosť obslúžiť svoje prípadné požiadavky. Preto v takomto prípade (a ak je nastavený flag *NotifyIfWorkerAvailable*), odosielame z podriadeného agenta správu *WorkersIsAvailable*. Po prijatí tejto správy nájdeme vo fronte požiadaviek čakajúcich na pracovníka z rôznych skupín, takú požiadavku, ktorá čaká na tento typ pracovníka. Keď získame požiadavku zopakujeme algoritmus s presunutím požiadavky do pomocného zoznamu a prekontrolovaním podriadených agentov.

Počas kontroly podriadených agentov na dostupnosť pracovníka sú pozastavené odosielania releasov agentov – toto nastane iba ak v rovnakom simulačnom čase robíme kontrolu (prišla požiadavka na pracovníka z rôznych skupín) a zároveň v tomto istom čase sa uvoľnil nejaký pracovník/pracovníci. Po skončení kontroly sú release uvoľnené a odoslané podriadeným agentom.

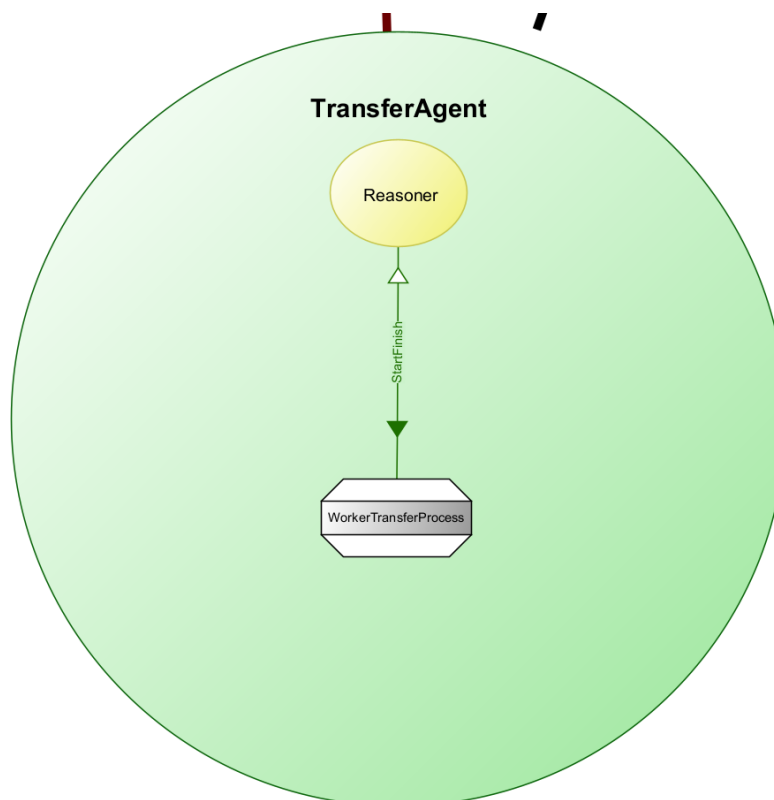


1.7 Transfer Agent

Agent presunov zabezpečuje presun daného pracovníka na požadované miesto (výrobná linka, sklad). Po prijatí správy `TransferWorker` spúšťa proces presunu (*`WorkerTransferProces`*). Na začiatku procesu sa zistí o aký typ presunu ide a podľa toho zvolí rozdelenie pravdepodobnosti, ktorým modelujeme čas presunu:

- Presun medzi skladom a výrobnou linkou – trojuholníkové rozdelenie pravdepodobnosti s parametrami 60, 480, 120 sekúnd.
- Presun medzi výrobnými linkami – trojuholníkové rozdelenie pravdepodobnosti s parametrami 120, 500, 150 sekúnd.

Po skončení presunu zákazníka, proces nastaví pracovníkovi novú pozíciu a ukončí svoju činnosť. Následne odosielame agentovi výrobcu response o vykonanom presune.



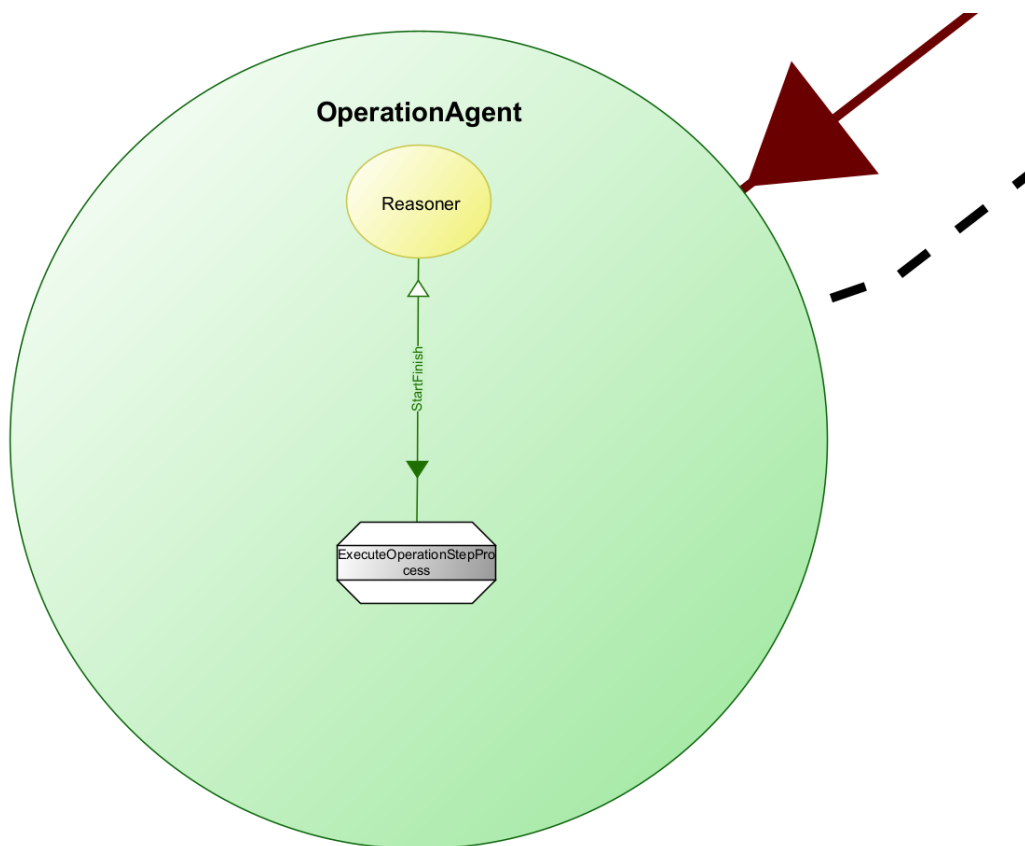


1.8 Operation Agent

Agent spracovania prijíma správu *ExecuteOperationStep*, do ktorej je pripojená objednávka. Po prijatí spúšťa proces *ExecuteOperationStepProcess*, ktorý je zodpovedný za modelovanie času trvania vykonania kroku výroby. Pri štarte zistí aký je aktuálny stav položky objednávky a podľa toho zvolí nasledujúci krok výroby. Ešte pred vykonaním prvého technologického kroku sa vykonáva príprava materiálu v sklade, ktoré sa vykoná za čas určený trojuholníkovým rozdelením pravdepodobnosti s parametrami 300, 900, 500 sekúnd. Neskôr sa už vyberie rozdelenie pravdepodobnosti pre daný typ nábytku a daný technologický krok:

Typ nábytku	Technologický krok	Doba trvania	
		Typ rozdelenia	Čas v minútach
Stôl	Rezanie	Spojité empirické	$U = <10, 25); p = 0.6$ $U = <25, 50); p = 0.4$
	Morenie	Spojité rovnomerné	$U = <100, 480)$
	Lakovanie	Spojité empirické	$U = <50, 70); p = 0.1$ $U = <70, 150); p = 0.6$ $U = <150, 200); p = 0.3$
	Skladanie	Spojité rovnomerné	$U = <30, 60)$
Stolička	Rezanie	Spojité rovnomerné	$U = <12, 16)$
	Morenie	Spojité rovnomerné	$U = <90, 400)$
	Lakovanie	Spojité rovnomerné	$U = <40, 200)$
	Skladanie	Spojité rovnomerné	$U = <14, 24)$
Skriňa	Rezanie	Spojité rovnomerné	$U = <15, 80)$
	Morenie	Spojité rovnomerné	$U = <300, 600)$
	Lakovanie	Spojité rovnomerné	$U = <250, 560)$
	Skladanie	Spojité rovnomerné	$U = <35, 75)$
	Rezanie	Spojité rovnomerné	$U = <15, 25)$

Po ukončení procesu aktualizujeme aktuálny stav položky objednávky a výsledok odosielame ako response agentovi výroby.



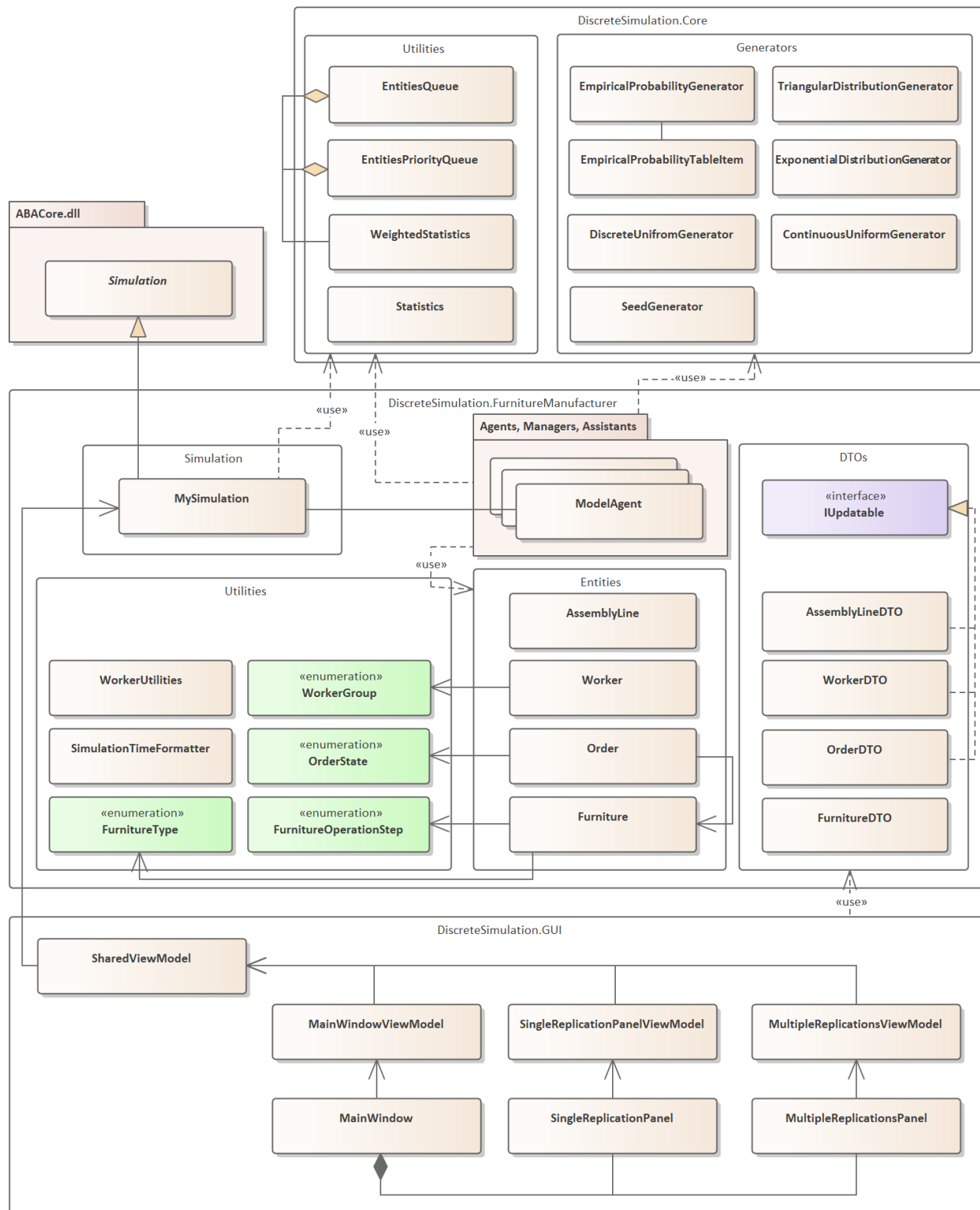


2 Architektúra aplikácie

Architektúra aplikácie je rozdelená na 3 vrstvy. Vrstva všeobecných tried (*DiscreteSimulation.Core*) obsahuje generátory pseudonáhodných čísel, štatistiky a fronty entít, ktoré zapuzdrujú výpočet priemernej dĺžky frontu. Tiež je tu aj knižnica agentového simulačného jadra ABASim (ABACore.dll).

Vrstva (*DiscreteSimulation.FurnitureManufacturer*) konkrétnej simulácie prevádzky výrobcu nábytku obsahuje samotný agentovo orientovaný model zložený z tried agentov, manažérov, asistentov a samotnej simulácie. Nachádzajú sa tu aj entity systému a ich DTO verzie (*Data Transfer Object*) pre mapovanie údajov entít využívané v GUI vrstve. DTO triedy navyše implementujú rozhranie *IUpdatable*, ktoré využívame na GUI pre jednoduchšiu synchronizáciu údajov v tabuľkách.

Vrstva používateľského rozhrania je realizovaná cez MVVM architektúru, kde hlavné okno *MainWindow* prepája svoje prvky s triedou *MainWindowViewModel*. Hlavné okno sa skladá z dvoch panelov, pričom vždy je zobrazený jeden podľa režimu simulácie – *SingleReplicationPanel* a *MultipleReplicationsPanel*. Tieto panely majú svoje vlastné view modely. Spoločné dáta využívané vo viacerých view modeloch sú oddelené v *SharedViewModel*. GUI je implementované pomocou frameworku Avalonia.





3 Vyhodnotenie simulačných experimentov

So simulačným modelom bolo potrebné vykonať experimenty tak, aby sme boli schopný odporučiť minimálny počet stolárov pre každú skupinu a minimálny počet pracovných liniek, pri ktorom priemerný pracovný čas vybavenia objednávky nebude vyšší ako 32 hodín. Pre realizáciu jednotlivých experimentov máme k dispozícii 4 parametre simulácie – počet jednotlivých pracovníkov v každej skupine a počet výrobných liniek. Jednu konfiguráciu budeme značiť zápisom $\langle a, b, c, L \rangle$, kde a, b, c je počet pracovníkov danej skupiny a L je počet pracovných liniek.

Poznámka: Pri vyžiadaní voľného pracovníka pre začatie vykonávania práce položky objednávky, ktorá sa nachádza na niektorej z liniek je v prípade viacerých voľných pracovníkov viacero spôsobov ako zvoliť pracovníka. Keďže v zadaní nebol presne špecifikovaný spôsob výberu, zvolili sme stratégiu, ktorou sa snažíme čo “najvernejšie modelovať realitu”:

- Prioritne volíme takého voľného pracovníka, ktorý sa už na danej linke s objednávkou nachádza – čas jeho presunu k linke je tým pádom rovný 0.
- Ak nie je takýto pracovník voľný, vyberáme voľného pracovníka, ktorý sa nachádza v sklade – v sklade sa pracovníci nachádzajú iba na začiatku simulácie.
- Ako poslednú možnosť vyberáme voľného pracovníka, ktorý sa nachádza na niektorej z iných liniek.

Stredná hodnota $E(\Delta_1)$ náhodnej premennej $\Delta_1 \sim \text{Triangular}(50, 480, 120)$, ktorou modelujeme čas presunu zo skladu na linku je menšia, ako stredná hodnota $E(\Delta_2)$ náhodnej premennej $\Delta_2 \sim \text{Triangular}(120, 500, 150)$, ktorou modelujeme čas presunu medzi dvoma linkami. Čiže touto stratégiou navyše minimalizujeme čas presunov.

3.1 Paralelný analyzátor konfigurácií

Pre vykonávanie experimentov so simulačným modelom bol využitý vlastný paralelný analyzátor konfigurácií (projekt *DiscreteSimulation.Console*). Vstupnými parametrami analyzátora sú počet inštancií simulácie, ktoré môžu bežať súčasne paralelne a počet replikácií pre každú konfiguráciu.



Zoznam konfigurácií, pre ktoré je potrebné spustiť simuláciu sa zadávajú do samostatného textového súboru. Pri zadaní napríklad 30-tich konfigurácií a 6 inštancií simulácie, analyzátor postupne pre voľnú inštanciu simulácie vyberie nespracovanú konfiguráciu a spustí simuláciu. Po dokončení behu simulácie sa inštancia uvoľní a ak sú dostupné ďalšie nespracované konfigurácie, spustí sa nová simulácia. Po vykonaní simulácií všetkých konfigurácií sa výsledky zapisujú do csv súboru, s ktorým je jednoducho možné vykonávať analýzu.

3.2 Určenie počiatočného riešenia pomocou analýzy náhodných premenných

V tejto SP3 na rozdiel od SP2 je komplikovanejšie určiť počiatočné riešenie a následný smer realizácie experimentov kvôli:

- Novému parametru L (počet výrobných liniek), ktorý neovplyvňuje len jednu časť simulačného modelu (ako napríklad konkrétna skupina pracovníkov zodpovedná za jediný krok výroby), ale výrazne ovplyvňuje čakanie položiek objednávky na pracovníkov. Pokiaľ je počet výrobných liniek malý a počet pracovníkov veľký "vstupný tok" sa zúži a pracovníci sú menej vyťažení. Naopak, pri neobmedzených linkách je "vstupný tok" uvoľnený a je závislý od počtu pracovníkov skupiny A, ktorý vykonávajú prvý technologický krok.
- Technologický krok montáž kovaní, teraz môžu realizovať pracovníci zo skupiny A alebo skupiny C, podľa toho kto je voľný. Toto vplýva tiež na analýzu, keďže už nie je za konkrétny krok zodpovedná iba jedna skupina a je potrebné sledovať vyťaženia viacerých skupín s ohľadom na daný krok súčasne, čo môže skomplikovať úvahy.

Z týchto dôvodov bol pre počiatočné riešenie zvolený heuristický prístup, ktorého myšlienka spočíva vo vypočítaní "dôležitosti" jednotlivých skupín pracovníkov. Túto dôležitosť vypočítame na základe stredných hodnôt náhodných premenných pomocou, ktorých realizujeme jednotlivé činnosti. Všetky výpočty sú priložené v súbore *Analýza náhodných premenných.xlsx*.

Každý technologický krok pre každý typ nábytku modelujeme iným rozdelením pravdepodobnosti – preto si vypočítame stredného hodnoty $E(X)$, pre každú náhodnú premennú. Technologický krok lakovania sa vykonáva s 15% pravdepodobnosťou, preto $E(X)$ lakovania vynásobíme hodnotou



0,15. Výskyt každého typu nábytku má tiež svoju pravdepodobnosť, preto náhodné premenné pre daný typ vynásobíme danou pravdepodobnosťou a vznikne $E(Y)$. Následne každé $E(Y)$ znormujeme na interval $<0;1>$ čím získame "dôležitosť" daného kroku daného typu nábytku – táto dôležitosť hovorí o tom, ako veľmi je krok nákladný na realizáciu (čím je viac je nákladný, tým dlhšie bude trvať kým ho pracovník vykoná).

Typ nábytku	Technologický krok	E(X)	Výskyt	E(Y)	"Náklady" na vykonanie		Pracovník
Stôl	Rezanie	25,5	50%	12,75	0,02786	2,79%	A
	Morenie	290		145	0,31685	31,69%	C
	Lakovanie	18,675		9,3375	0,02040	2,04%	C
	Skladanie	45		22,5	0,04917	4,92%	B
Stolička	Rezanie	14	15%	2,1	0,00459	0,46%	A
	Morenie	245		36,75	0,08031	8,03%	C
	Lakovanie	2,85		0,4275	0,00093	0,09%	C
	Skladanie	47,5		7,125	0,01557	1,56%	B
Skriňa	Rezanie	47,5	35%	16,625	0,03633	3,63%	A
	Morenie	450		157,5	0,34417	34,42%	C
	Lakovanie	60,75		21,2625	0,04646	4,65%	C
	Skladanie	55		19,25	0,04206	4,21%	B
	Montáž kovaní	20		7	0,01530	1,53%	A/C

Je vidieť, že percentuálne najdlhšie trvá morenie skríň a stolov. Vypočítané náklady teraz vieme priradiť jednotlivým pracovníkom podľa toho, za ktorú činnosť sú zodpovedný. Pri montáži kovaní, ktorú môžu vykonávať aj pracovníci skupiny A aj C, náklady prerozdělíme na polovicu pre obe skupiny. Pracovníci skupiny A navyše vždy vykonávajú činnosť prípravy v sklade, ktorej strednú hodnotu tiež zahrnieme do nákladov skupiny A.

Pracovník	Náklady	Pomer práce potrebnej vykonať	
A	44,41944	0,095101932	9,51%
B	48,875	0,104641267	10,46%
C	373,7775	0,800256801	80,03%

Vďaka týmto výpočtom máme k dispozícii **teoretický pomer** potrebných počtov pracovníkov jednotlivých skupín. Je vidieť, že bude potrebný veľký počet pracovníkov skupiny C oproti skupinám A a B. Počet pracovníkov skupiny A a B by mal byť skoro rovnaký. Výpočty predpokladajú neobmedzený počet výrobných liniek, tento počet určíme neskôr vykonaním

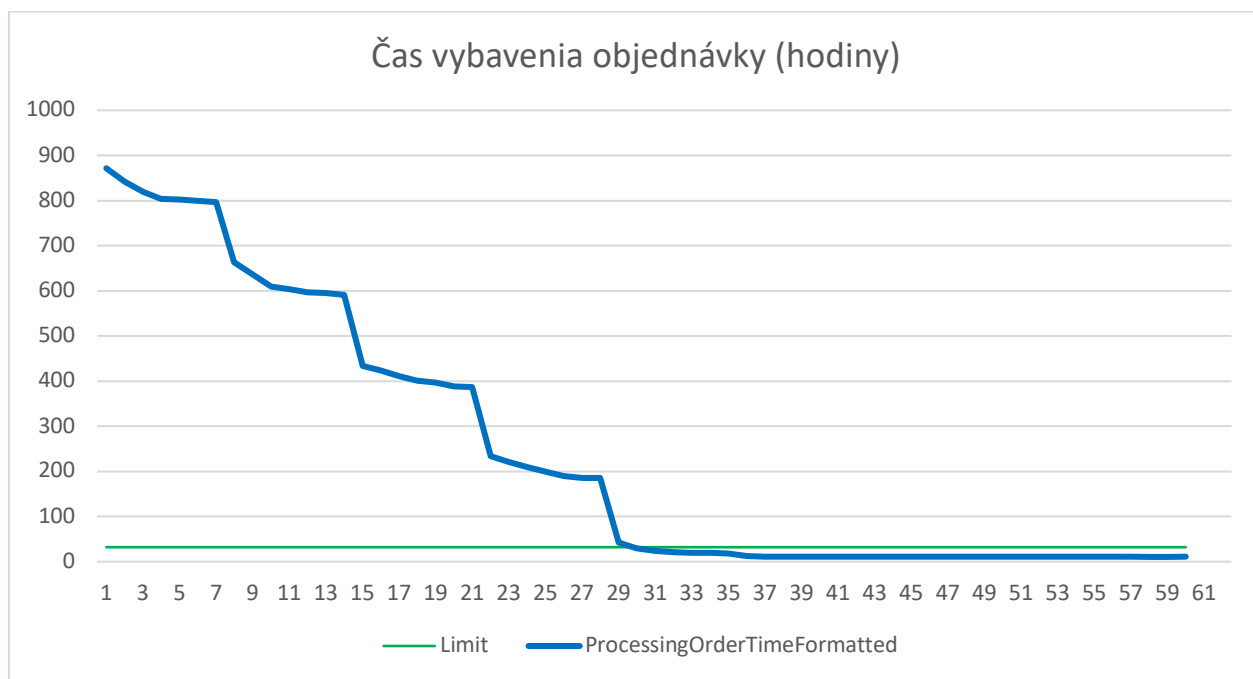


experimentov. Zatiaľ nastavíme počet výrobných liniek na vysoké číslo. Na základe pomeru zostrojíme počiatočné konfigurácie, pre ktoré vykonáme simulačné experimenty (100 replikácií každá konfigurácia). Čas vybavenia objednávky bude klesať pričom nás budú zaujímať hlavne konfigurácie v okolí limitu 32 hodín:

no.	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti
1	<1, 1, 5, 9999>	871,6
2	<1, 1, 6, 9999>	842,61
3	<1, 1, 7, 9999>	819,17
4	<1, 1, 8, 9999>	804,14
5	<1, 1, 10, 9999>	802,51
6	<1, 1, 11, 9999>	799,22
7	<1, 2, 12, 9999>	796,4
8	<2, 2, 13, 9999>	663,72
9	<2, 2, 14, 9999>	636,36
10	<2, 2, 16, 9999>	610,02
11	<2, 2, 17, 9999>	604,04
12	<2, 2, 18, 9999>	597,23
13	<2, 3, 19, 9999>	595,34
14	<2, 3, 20, 9999>	590,68
15	<3, 3, 22, 9999>	433,64
16	<3, 3, 23, 9999>	423,44
17	<3, 3, 24, 9999>	411,21
18	<3, 3, 25, 9999>	400,49
19	<3, 3, 26, 9999>	396,64
20	<3, 4, 28, 9999>	388,72
21	<3, 4, 29, 9999>	386,58
22	<4, 4, 30, 9999>	233,7
23	<4, 4, 31, 9999>	220,54
24	<4, 4, 32, 9999>	209,95
25	<4, 4, 34, 9999>	199,87
26	<4, 5, 35, 9999>	190,22
27	<4, 5, 36, 9999>	185,45
28	<4, 5, 37, 9999>	186,13
29	<5, 5, 38, 9999>	42,4
30	<5, 5, 40, 9999>	28,85
31	<5, 5, 41, 9999>	24,33
32	<5, 5, 42, 9999>	21,23
33	<5, 6, 43, 9999>	19,87
34	<5, 6, 44, 9999>	18,96



35	$\langle 5, 6, 46, 9999 \rangle$	18,35	$\langle 17,34 ; 19,36 \rangle$
36	$\langle 6, 6, 47, 9999 \rangle$	11,73	$\langle 11,69 ; 11,77 \rangle$
37	$\langle 6, 6, 48, 9999 \rangle$	11,65	$\langle 11,61 ; 11,68 \rangle$
38	$\langle 6, 6, 49, 9999 \rangle$	11,64	$\langle 11,6 ; 11,68 \rangle$
39	$\langle 6, 7, 50, 9999 \rangle$	11,42	$\langle 11,39 ; 11,46 \rangle$
40	$\langle 6, 7, 52, 9999 \rangle$	11,39	$\langle 11,35 ; 11,42 \rangle$
41	$\langle 6, 7, 53, 9999 \rangle$	11,39	$\langle 11,36 ; 11,43 \rangle$
42	$\langle 6, 7, 54, 9999 \rangle$	11,37	$\langle 11,34 ; 11,41 \rangle$
43	$\langle 7, 7, 55, 9999 \rangle$	10,84	$\langle 10,82 ; 10,85 \rangle$
44	$\langle 7, 7, 56, 9999 \rangle$	10,84	$\langle 10,82 ; 10,86 \rangle$
45	$\langle 7, 8, 58, 9999 \rangle$	10,78	$\langle 10,76 ; 10,79 \rangle$
46	$\langle 7, 8, 59, 9999 \rangle$	10,76	$\langle 10,74 ; 10,77 \rangle$
47	$\langle 7, 8, 60, 9999 \rangle$	10,76	$\langle 10,75 ; 10,78 \rangle$
48	$\langle 7, 8, 61, 9999 \rangle$	10,76	$\langle 10,75 ; 10,78 \rangle$
49	$\langle 7, 8, 62, 9999 \rangle$	10,75	$\langle 10,74 ; 10,77 \rangle$
50	$\langle 8, 8, 64, 9999 \rangle$	10,56	$\langle 10,55 ; 10,58 \rangle$
51	$\langle 8, 8, 65, 9999 \rangle$	10,57	$\langle 10,56 ; 10,58 \rangle$
52	$\langle 8, 9, 66, 9999 \rangle$	10,54	$\langle 10,53 ; 10,55 \rangle$
53	$\langle 8, 9, 67, 9999 \rangle$	10,53	$\langle 10,52 ; 10,55 \rangle$
54	$\langle 8, 9, 68, 9999 \rangle$	10,54	$\langle 10,53 ; 10,55 \rangle$
55	$\langle 8, 9, 70, 9999 \rangle$	10,53	$\langle 10,52 ; 10,54 \rangle$
56	$\langle 8, 9, 71, 9999 \rangle$	10,52	$\langle 10,51 ; 10,54 \rangle$
57	$\langle 9, 9, 72, 9999 \rangle$	10,44	$\langle 10,43 ; 10,45 \rangle$
58	$\langle 9, 10, 73, 9999 \rangle$	10,43	$\langle 10,42 ; 10,44 \rangle$
59	$\langle 9, 10, 74, 9999 \rangle$	10,43	$\langle 10,42 ; 10,44 \rangle$
60	$\langle 9, 10, 76, 9999 \rangle$	10,44	$\langle 10,43 ; 10,45 \rangle$



Z tabuľky a grafu je vidieť, že postupným pridávaním pracovníkov vo vypočítanom pomere sa dostaneme do limitu v konfigurácii číslo 30 **(5, 5, 40, 9999)** s časom 28,85 hodín. Prechádzajúca konfigurácia číslo 29 bola **(5, 5, 38, 9999)**. Výpočty nám preskočili jednu konfiguráciu, ktorá sa nachádza medzi týmito dvoma konfiguráciami (počet pracovníkov $C = 39$), a ktorá vyzerá ako veľmi kľúčová. Od konfigurácie číslo 36 a viac sa čas vybavenia objednávky už veľmi nemení a ostáva konštantný.

Na základe dát je tiež vidieť, že je kľúčové mať minimálne 5 pracovníkov skupiny A, keďže práve v konfiguráciách kde dochádza k zvýšeniu pracovníkov zo 4 na 5 sa skokom zníži čas zo 186,13 hodín na 42,4.

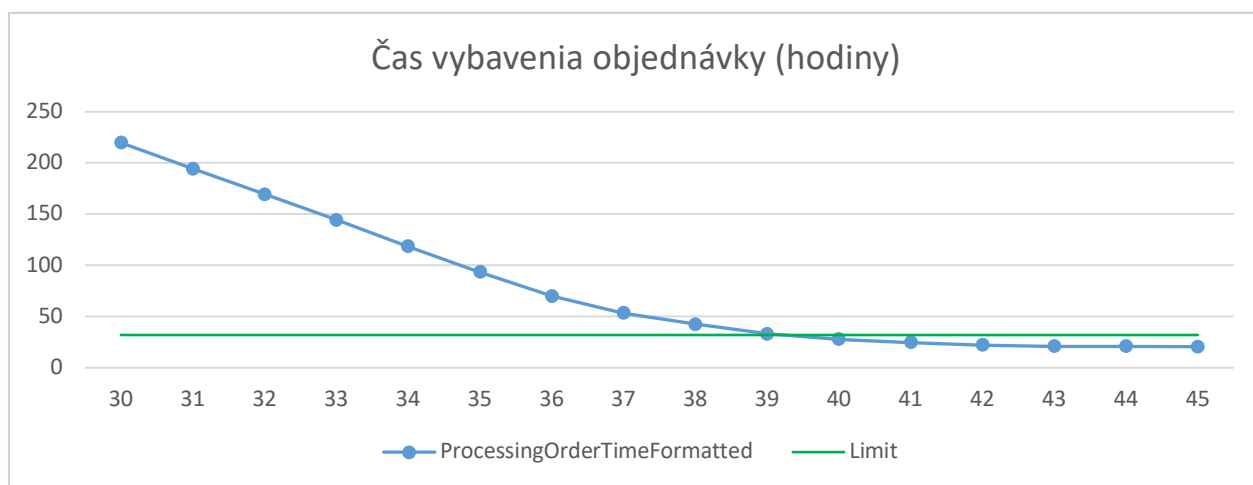
Pokračujeme vykonaním experimentov pri zafixovaní pracovníkov skupín A a B na 5.



3.3 Séria experimentov s konfiguráciami $\langle 5, 5, c, 9999 \rangle$

V tejto sérii experimentov sme spustili analyzátor pre prejdienie viacerých riešení, pričom sme zafixovali hodnoty premenných $a = 5$ a $b = 5$ a menili sme iba hodnotu premennej c . Vykonali sme experimenty pre $c = 30, \dots, 45$. Namerané časy vybavenia objednávky v hodinách sú uvedené v tabuľke a grafe (vykonaných 1000 replikácií pre každú konfiguráciu):

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 30, 9999 \rangle$	219,76	$\langle 218,6 ; 220,91 \rangle$
$\langle 5, 5, 31, 9999 \rangle$	194,36	$\langle 193,18 ; 195,54 \rangle$
$\langle 5, 5, 32, 9999 \rangle$	169,31	$\langle 168,11 ; 170,52 \rangle$
$\langle 5, 5, 33, 9999 \rangle$	144,31	$\langle 143,12 ; 145,51 \rangle$
$\langle 5, 5, 34, 9999 \rangle$	118,35	$\langle 117,14 ; 119,56 \rangle$
$\langle 5, 5, 35, 9999 \rangle$	93,42	$\langle 92,3 ; 94,54 \rangle$
$\langle 5, 5, 36, 9999 \rangle$	70,09	$\langle 68,95 ; 71,23 \rangle$
$\langle 5, 5, 37, 9999 \rangle$	53,34	$\langle 52,31 ; 54,37 \rangle$
$\langle 5, 5, 38, 9999 \rangle$	42,48	$\langle 41,55 ; 43,42 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 9999 \rangle$	33,28	$\langle 32,54 ; 34,02 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 9999 \rangle$	27,92	$\langle 27,33 ; 28,51 \rangle$
$\langle 5, 5, 41, 9999 \rangle$	24,8	$\langle 24,27 ; 25,34 \rangle$
$\langle 5, 5, 42, 9999 \rangle$	22,34	$\langle 21,93 ; 22,75 \rangle$
$\langle 5, 5, 43, 9999 \rangle$	20,91	$\langle 20,56 ; 21,26 \rangle$
$\langle 5, 5, 44, 9999 \rangle$	20,88	$\langle 20,5 ; 21,26 \rangle$
$\langle 5, 5, 45, 9999 \rangle$	20,57	$\langle 20,22 ; 20,92 \rangle$

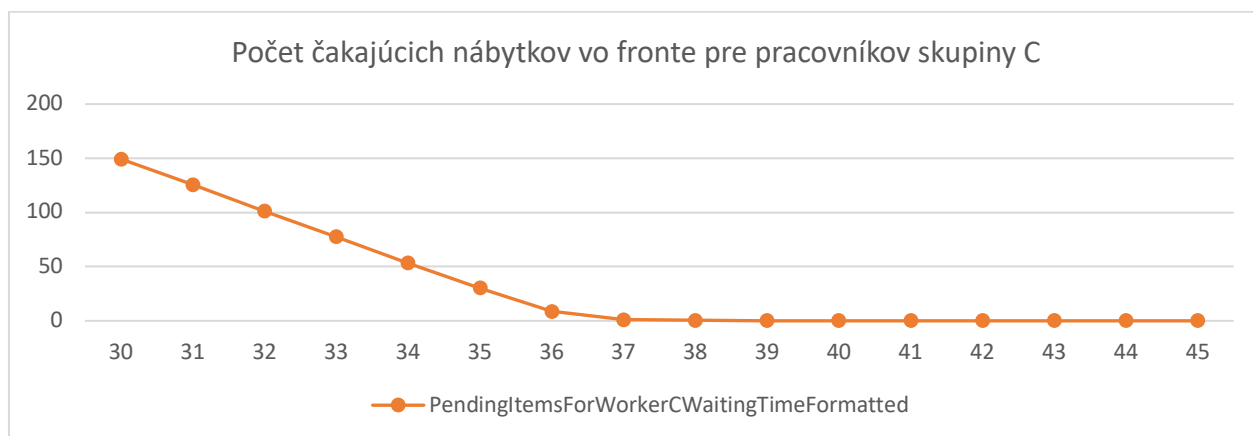




Z grafu a tabuľky je vidieť, že potrebujeme minimálne 40 pracovníkov skupiny C pre zaistenie času vybavenia celej objednávky pod 32 hodín. Avšak pri počte 39 pracovníkov skupiny C, vyšiel 95% interval spoľahlivosti na počet hodín $\langle 32,54 ; 34,02 \rangle$, ktorého dolná hranica je veľmi blízko požadovanému limitu. Z toho dôvodu toto riešenie celkom nevylúčime, keďže čas môže byť ovplyvnený aj spôsobom výberu pracovníkov ale aj nižší počtom replikácií.

Počet položiek objednávky (nábytok) čakajúcich na obsluhu pracovníkom skupiny C postupne výrazne klesá pričom sa klesanie spomalí pri 37 pracovníkoch a práve pri 40 je klesanie a aj hodnota takmer nulová.

Počet čakajúcich nábytkov vo fronte pre pracovníkov skupiny C		95% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 30, 9999 \rangle$	149,32	$\langle 148,9 ; 149,75 \rangle$
$\langle 5, 5, 31, 9999 \rangle$	125,56	$\langle 125,15 ; 125,96 \rangle$
$\langle 5, 5, 32, 9999 \rangle$	101,16	$\langle 100,74 ; 101,58 \rangle$
$\langle 5, 5, 33, 9999 \rangle$	77,48	$\langle 77,08 ; 77,88 \rangle$
$\langle 5, 5, 34, 9999 \rangle$	53,28	$\langle 52,9 ; 53,66 \rangle$
$\langle 5, 5, 35, 9999 \rangle$	30,38	$\langle 30,05 ; 30,71 \rangle$
$\langle 5, 5, 36, 9999 \rangle$	8,86	$\langle 8,64 ; 9,08 \rangle$
$\langle 5, 5, 37, 9999 \rangle$	0,98	$\langle 0,96 ; 1 \rangle$
$\langle 5, 5, 38, 9999 \rangle$	0,41	$\langle 0,41 ; 0,41 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 9999 \rangle$	0,23	$\langle 0,23 ; 0,23 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 9999 \rangle$	0,14	$\langle 0,14 ; 0,14 \rangle$
$\langle 5, 5, 41, 9999 \rangle$	0,09	$\langle 0,08 ; 0,09 \rangle$
$\langle 5, 5, 42, 9999 \rangle$	0,05	$\langle 0,05 ; 0,05 \rangle$
$\langle 5, 5, 43, 9999 \rangle$	0,03	$\langle 0,03 ; 0,03 \rangle$
$\langle 5, 5, 44, 9999 \rangle$	0,02	$\langle 0,02 ; 0,02 \rangle$
$\langle 5, 5, 45, 9999 \rangle$	0,01	$\langle 0,01 ; 0,01 \rangle$

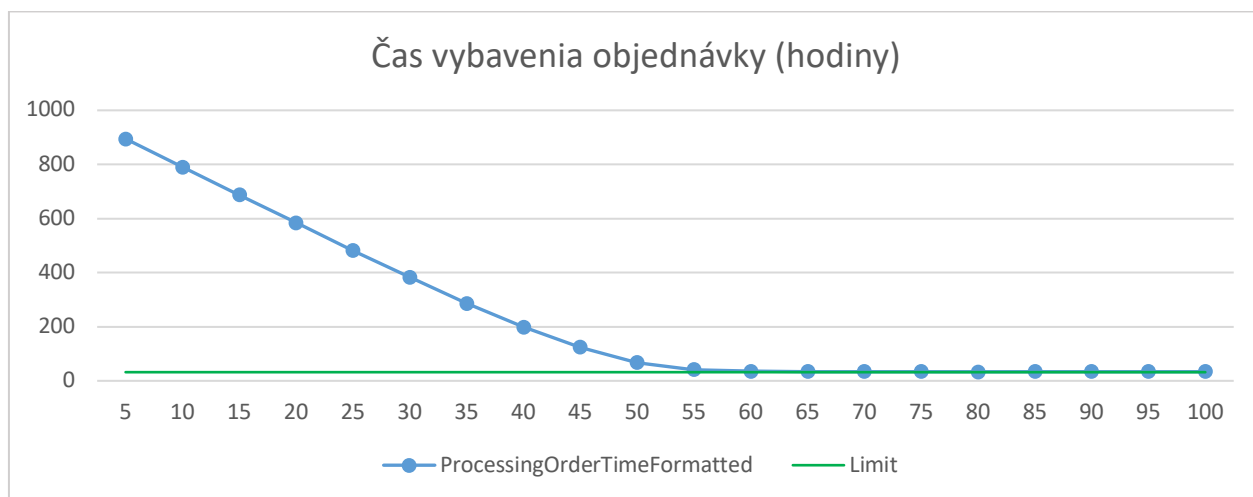




3.4 Séria experimentov s konfiguráciami $\langle 5, 5, 39, L \rangle$

V ďalšom kroku experimentov zoberieme neprípustné ale veľmi hraničné riešenie a skúsime určiť počet pracovných liniek aby sme zistili, do akej miery sa zmení neprípustnosť. Analyzátor sme spustili pre prejdienie viacerých riešení, pričom sme zafixovali hodnoty premenných $a = 5$, $b = 5$ a $c = 39$ a menili sme iba hodnotu premennej L . Vykonali sme experimenty pre $L = 5, \dots, 100$ s krokom 5. Namerané časy vybavenia objednávky v hodinách sú uvedené v tabuľke a grafe (vykonaných 1000 replikácií pre každú konfiguráciu):

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 39, 5 \rangle$	894,72	$\langle 893,69 ; 895,75 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 10 \rangle$	790,46	$\langle 789,59 ; 791,33 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 15 \rangle$	686,82	$\langle 685,93 ; 687,72 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 20 \rangle$	584,19	$\langle 583,26 ; 585,12 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 25 \rangle$	481,51	$\langle 480,55 ; 482,48 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 30 \rangle$	382,71	$\langle 381,7 ; 383,72 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 35 \rangle$	286,03	$\langle 284,96 ; 287,1 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 40 \rangle$	198,18	$\langle 197,01 ; 199,34 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 45 \rangle$	124,74	$\langle 123,58 ; 125,9 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 50 \rangle$	67,98	$\langle 66,89 ; 69,08 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 55 \rangle$	41,92	$\langle 41,01 ; 42,83 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 60 \rangle$	35,36	$\langle 34,53 ; 36,18 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 65 \rangle$	34,72	$\langle 33,92 ; 35,51 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 70 \rangle$	34,31	$\langle 33,54 ; 35,09 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 75 \rangle$	34,11	$\langle 33,35 ; 34,88 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 80 \rangle$	33,61	$\langle 32,84 ; 34,38 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 85 \rangle$	33,79	$\langle 33,04 ; 34,53 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 90 \rangle$	33,86	$\langle 33,1 ; 34,62 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 95 \rangle$	33,75	$\langle 32,97 ; 34,53 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 100 \rangle$	34,09	$\langle 33,32 ; 34,86 \rangle$

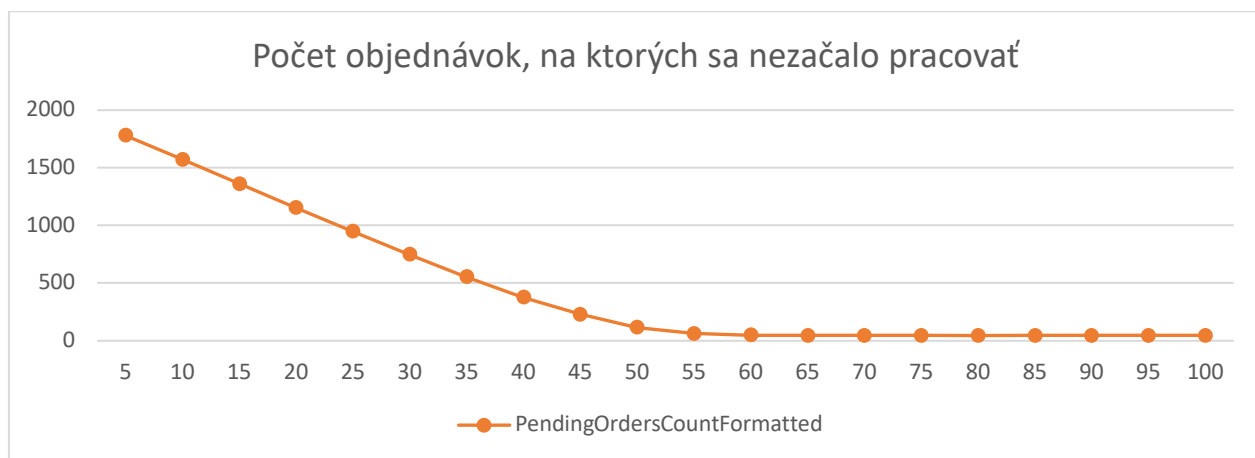


Je vidieť, že čas vybavenia objednávky klesal a zastavil sa až pri 55 až 60 pracovných linkách. Riešenia sú stále v tesnej blízkosti akceptovanej hranice času vybavenia objednávky, ale z tabuľky a intervalov spoľahlivosti je zrejmé, že žiadna konfigurácia z tejto série experimentov nespĺňa zadanie – limit 32 hodín. S týmto počtom pracovníkov sme schopní dosiahnuť najlepší čas približne 33 hodín.



Počet objednávok, na ktorých sa ešte nezačalo pracovať sa tak isto stabilizoval pri 55 až 60 pracovných linkách:

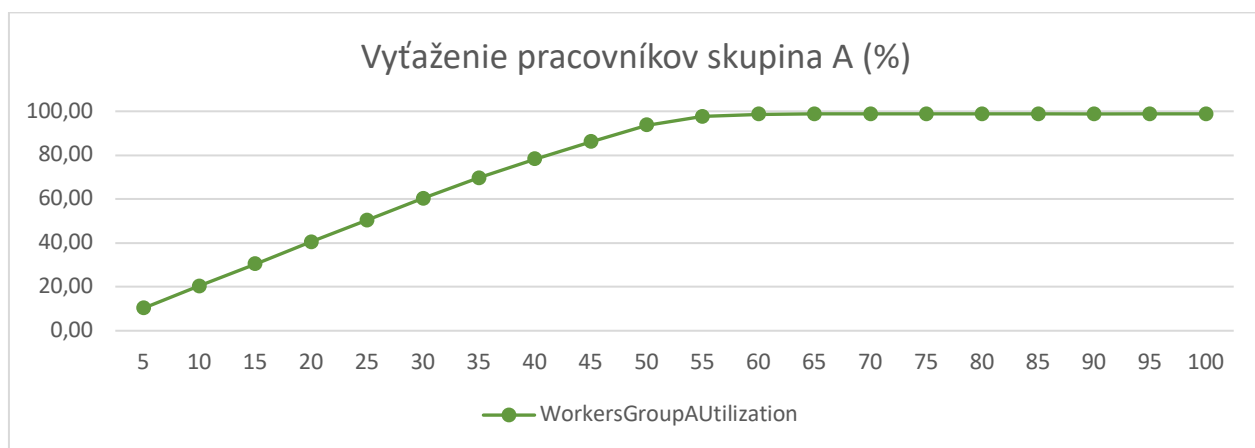
Počet objednávok, na ktorých sa ešte nezačalo pracovať		95% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 39, 5 \rangle$	1779,26	$\langle 1777,07 ; 1781,45 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 10 \rangle$	1572,38	$\langle 1570 ; 1574,76 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 15 \rangle$	1361,88	$\langle 1359,46 ; 1364,3 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 20 \rangle$	1154,7	$\langle 1152,32 ; 1157,09 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 25 \rangle$	947,45	$\langle 945,07 ; 949,84 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 30 \rangle$	748,76	$\langle 746,42 ; 751,11 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 35 \rangle$	554,97	$\langle 552,57 ; 557,37 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 40 \rangle$	377,3	$\langle 374,79 ; 379,81 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 45 \rangle$	229,45	$\langle 227,02 ; 231,88 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 50 \rangle$	114,96	$\langle 112,7 ; 117,23 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 55 \rangle$	62,21	$\langle 60,34 ; 64,08 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 60 \rangle$	48,75	$\langle 47,07 ; 50,44 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 65 \rangle$	47,37	$\langle 45,75 ; 48,99 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 70 \rangle$	46,59	$\langle 45,01 ; 48,17 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 75 \rangle$	46,15	$\langle 44,58 ; 47,72 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 80 \rangle$	45,18	$\langle 43,6 ; 46,75 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 85 \rangle$	45,46	$\langle 43,95 ; 46,97 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 90 \rangle$	45,61	$\langle 44,05 ; 47,17 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 95 \rangle$	45,38	$\langle 43,78 ; 46,99 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 100 \rangle$	46,1	$\langle 44,52 ; 47,67 \rangle$





Vyťaženie pracovníkov skupiny A, ktorý zabezpečujú vykonanie prvého technologického kroku sa zvýši prakticky na 100% pri rovnakej hranice 55 až 60 pracovných linkách.

	Vyťaženie pracovníkov skupiny A (%)	95% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 39, 5 \rangle$	10,23	$\langle 10,22 ; 10,24 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 10 \rangle$	20,29	$\langle 20,28 ; 20,3 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 15 \rangle$	30,39	$\langle 30,38 ; 30,41 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 20 \rangle$	40,45	$\langle 40,44 ; 40,47 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 25 \rangle$	50,43	$\langle 50,41 ; 50,45 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 30 \rangle$	60,20	$\langle 60,19 ; 60,22 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 35 \rangle$	69,62	$\langle 69,6 ; 69,63 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 40 \rangle$	78,15	$\langle 78,13 ; 78,17 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 45 \rangle$	86,03	$\langle 86,02 ; 86,05 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 50 \rangle$	93,73	$\langle 93,71 ; 93,76 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 55 \rangle$	97,63	$\langle 97,59 ; 97,68 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 60 \rangle$	98,63	$\langle 98,57 ; 98,69 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 65 \rangle$	98,79	$\langle 98,72 ; 98,85 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 70 \rangle$	98,78	$\langle 98,71 ; 98,84 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 75 \rangle$	98,77	$\langle 98,7 ; 98,84 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 80 \rangle$	98,74	$\langle 98,68 ; 98,81 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 85 \rangle$	98,76	$\langle 98,69 ; 98,83 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 90 \rangle$	98,80	$\langle 98,74 ; 98,86 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 95 \rangle$	98,73	$\langle 98,67 ; 98,8 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 100 \rangle$	98,79	$\langle 98,72 ; 98,85 \rangle$



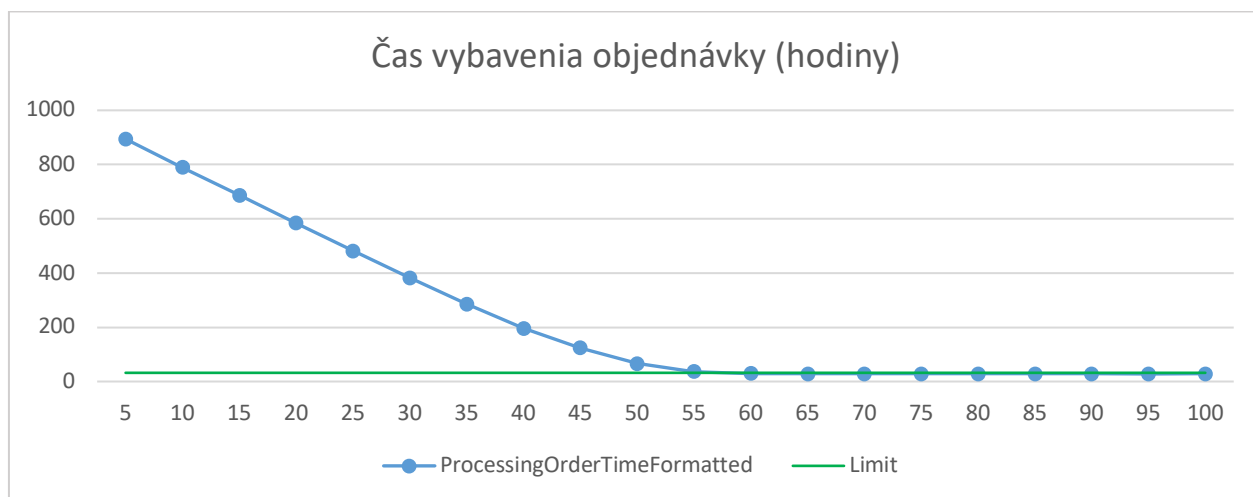
Keďže sme sa v tejto sérii nedokázali dostať k prípustnému riešeniu, zvýšime počet pracovníkov v skupine C o jedného pracovníka navyše na hodnotu 40 a vyskúšame novú sériu experimentov.



3.5 Séria experimentov s konfiguráciami $\langle 5, 5, 40, L \rangle$

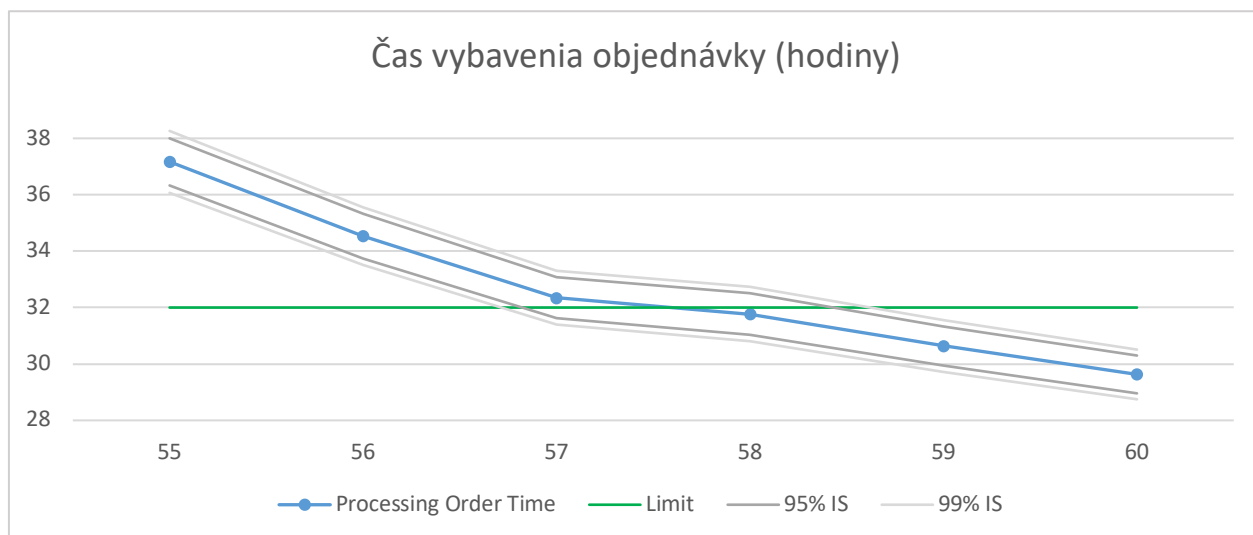
V tomto kroku zoberieme doposiaľ najlepšie prípustné riešenie a pokúsime sa určiť počet pracovných liniek. Pre túto sériu experimentov sme spustili analyzátor pre prejdienie viacerých riešení, pričom sme zafixovali hodnoty premenných $a = 5$, $b = 5$ a $c = 40$ a menili sme iba hodnotu premennej L . Vykonali sme experimenty pre $L = 5, \dots, 100$ s krokom 5. Namerané časy vybavenia objednávky sú uvedené v tabuľke a grafe (vykonaných 1000 replikácií pre každú konfiguráciu):

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 40, 5 \rangle$	894,23	$\langle 893,24 ; 895,23 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 10 \rangle$	790,04	$\langle 789,16 ; 790,92 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 15 \rangle$	686,83	$\langle 685,95 ; 687,71 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 20 \rangle$	584,68	$\langle 583,71 ; 585,65 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 25 \rangle$	482,1	$\langle 481,17 ; 483,04 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 30 \rangle$	381,88	$\langle 380,83 ; 382,94 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 35 \rangle$	286,02	$\langle 284,92 ; 287,12 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 40 \rangle$	196,18	$\langle 195,04 ; 197,31 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 45 \rangle$	123,86	$\langle 122,67 ; 125,04 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 50 \rangle$	65,78	$\langle 64,69 ; 66,87 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 55 \rangle$	37,23	$\langle 36,39 ; 38,06 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 60 \rangle$	29,87	$\langle 29,22 ; 30,52 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 65 \rangle$	28,57	$\langle 27,92 ; 29,22 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 70 \rangle$	28,1	$\langle 27,47 ; 28,74 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 75 \rangle$	28,32	$\langle 27,67 ; 28,97 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 80 \rangle$	28,28	$\langle 27,66 ; 28,91 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 85 \rangle$	28,12	$\langle 27,51 ; 28,74 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 90 \rangle$	28,3	$\langle 27,69 ; 28,91 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 95 \rangle$	27,73	$\langle 27,14 ; 28,32 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 100 \rangle$	28,56	$\langle 27,93 ; 29,19 \rangle$



Čas vybavenia objednávky klesal rovnako ako v predchádzajúcej sérii a zastavil sa až pri 55 až 60 pracovných linkách. Práve v tomto intervale sa nachádza naše riešenie keďže čas vybavenia objednávky sa pohybuje od 37,23 hodín do 29,87 hodín. Musíme teraz vykonať sériu experimentov pre $L = 55, \dots, 60$ ale teraz s krokom 1 aby sme nepreskočili žiadne riešenie:

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti	99% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 40, 55 \rangle$	37,17	$\langle 36,33 ; 38 \rangle$	$\langle 36,07 ; 38,26 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 56 \rangle$	34,53	$\langle 33,74 ; 35,31 \rangle$	$\langle 33,5 ; 35,56 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 57 \rangle$	32,35	$\langle 31,62 ; 33,07 \rangle$	$\langle 31,39 ; 33,3 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 58 \rangle$	31,77	$\langle 31,03 ; 32,5 \rangle$	$\langle 30,8 ; 32,73 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 59 \rangle$	30,64	$\langle 29,94 ; 31,33 \rangle$	$\langle 29,73 ; 31,55 \rangle$
$\langle 5, 5, 40, 60 \rangle$	29,63	$\langle 28,96 ; 30,3 \rangle$	$\langle 28,75 ; 30,51 \rangle$





V grafe a tabuľke je vidieť, že riešenia s počtom liniek **59 a 60 spĺňajú** limit 32 hodín aj vrátane hraníc ich 95% a 99% intervalov spoľahlivosti. Riešenia s počtom liniek 55 a 56 majú čas vybavenia objednávky horší ako 32 hodín a ani ich intervaly spoľahlivosti nespĺňajú tento limit.

Zaujímavé sú riešenia s počtom liniek **57 a 58** liniek, o ktorých **nedokážeme úplne presne rozhodnúť** pri aktuálnom počte replikácií.

Riešenie s počtom 58 má síce priemer 31,77 čo je pod limitom 32 hodín ale horné hranice intervalov spoľahlivosti tohto riešenia sú 32,5 (pre 95% IS) a 32,73 (pre 99% IS), čo je viac ako 32.

Riešenie s počtom 57 má zase priemer 32,35 čo je za hranicou limitu 32, ale dolné hranice intervalov spoľahlivosti tohto riešenia sú 31,62 (pre 95% IS) a 31,39 (pre 99% IS), čo je ešte v rámci limitu 32.

Pri týchto hraničných výsledkoch je potrebné pripomenúť, že pri výbere voľného pracovníka pre spracovanie technologického kroku preferujeme pracovníkov, tak aby sme minimalizovali čas ich presunov. Tiež po ukončení činnosti morenia a začiatku činnosti lakovania, je ošetrový prípad, keď pre lakovanie vyžadujeme pracovníka C, tak vyžadujeme tú istú osobu a je nám aj spätne pridelené (samozrejme pokiaľ nie je vo fronte prioritnejšia požiadavka). Tieto implementačné detaily môžu **ovplyvniť** tieto hraničné výsledky a môžu sa z nich stať **neprípustné riešenia**, keďže aj v realite nemusí byť vždy dodržané priradenie pracovníkov podľa ich priemerných časov presunov.

Keď vyskúšame spustiť simuláciu, v modely kde je vypnuté preferovanie pracovníkov na základe polohy a vyžadovanie pracovníka C po morení pre lakovanie bude prebiehať štandardne, bez explicitného vyžadovania tej istej osoby dostaneme nasledujúce výsledky (1000 replikácií):

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti	99% Interval spoľahlivosti
<5, 5, 40, 57>	33,28	< 32,52 ; 34,03>	< 32,29 ; 34,27>
<5, 5, 40, 58>	31,99	<31,25 ; 32,73 >	<31,02 ; 32,97 >
<5, 5, 40, 59>	30,98	<30,3 ; 31,66 >	<30,08 ; 31,88 >



Na výsledkoch je vidieť, že konfigurácia s **57** výrobnými linkami už nie je prípustná, aj keď je veľmi blízko. Konfigurácia s **58** je naďalej nerozhodná a konfigurácia s **59** je naďalej prípustná. Budeme ďalej pokračovať s konfiguráciou **(5, 5, 40, 59)**.

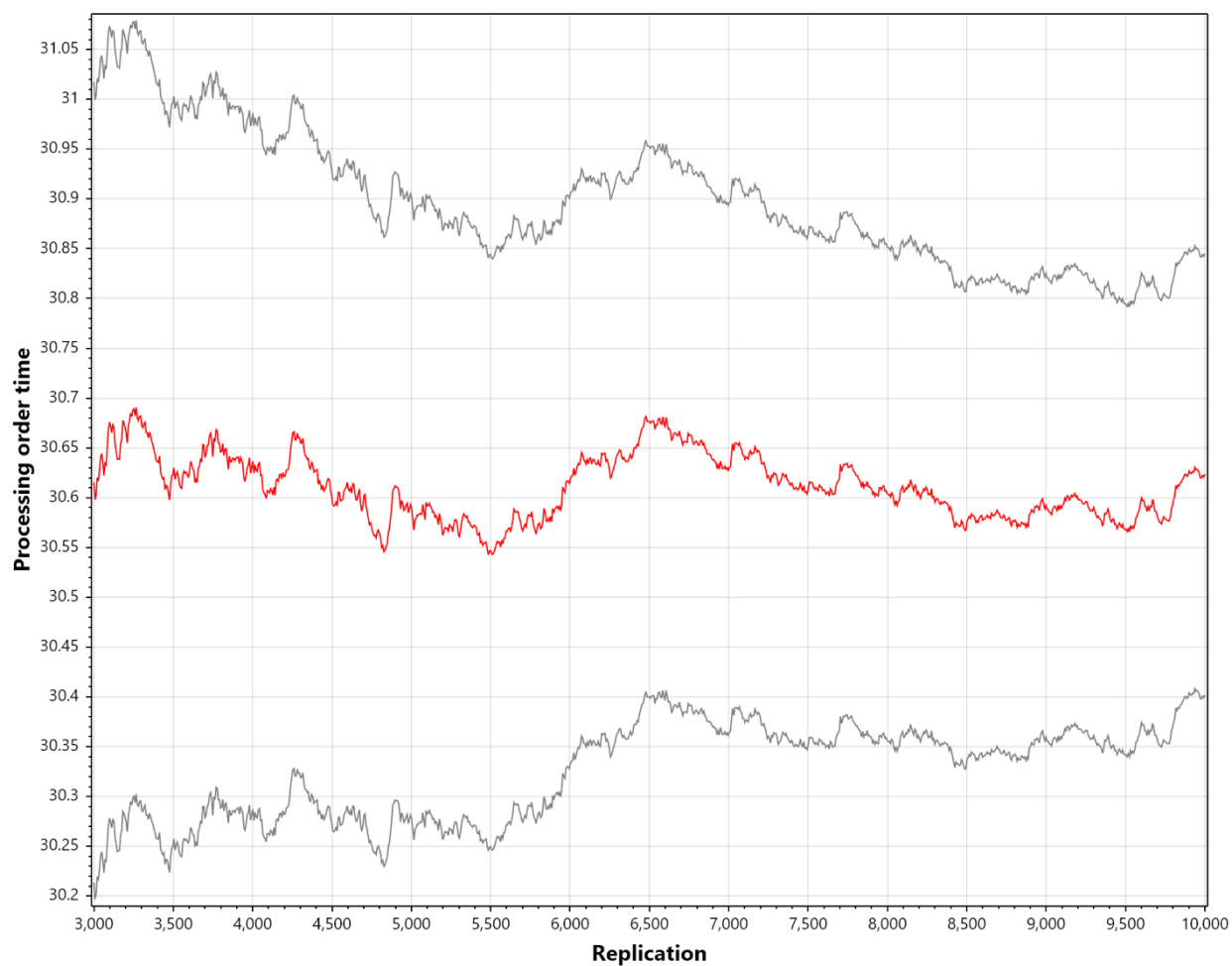
Pre túto konfiguráciu sme ešte raz spustili simuláciu s pôvodným preferovaním pracovníkov pre získanie grafu vývoja času vybavenia objednávky a všetkých ostatných štatistík (10 000 replikácií):

(5, 5, 40, 59)	Priemerná hodnota	95% Interval spoľahlivosti	
Čas vybavenia objednávky	30,62	<30,40 ; 30,85>	hodín
Čas vybavenia položky objednávky	28,66	<28,43 ; 28,88>	hodín
Čakajúce nezačaté objednávky	39,34	<38,89 ; 39,80>	počet
Čakajúce položky na výrobnú linku	114,21	<112,84 ; 115,58>	počet
Čakajúce položky na pracovníka skupiny A	5,13	<5,13 ; 5,14>	počet
Čakajúce položky na pracovníka skupiny C	0,82	<0,82 ; 0,82>	počet
Čakajúce položky na pracovníka skupiny B	4,50	<4,49 ; 4,51>	počet
Čakajúce položky na pracovníka skupiny A/C	0,06	<0,06 ; 0,06>	počet
Čas čakania nezačatých objednávok	19,57	<19,35 ; 19,79>	hodín
Čas čakania na výrobnú linku	18,90	<18,67 ; 19,12>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny A	0,79	<0,78 ; 0,79>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny C	0,12	<0,12 ; 0,12>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny B	0,76	<0,76 ; 0,77>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny A/C	0,06	<0,06 ; 0,06>	hodín
Záťaž pracovných liniek	98,10	<98,08 ; 98,13>	%
Záťaž pracovníkov A	97,99	<97,97 ; 98,01>	%
Záťaž pracovníkov B	95,82	<95,80 ; 95,83>	%
Záťaž pracovníkov C	94,20	<94,18 ; 94,22>	%

(5, 5, 40, 59)	Priemerná hodnota	95% Interval spoľahlivosti	
Záťaž pracovníka A1	98,00	<97,98 ; 98,02>	%
Záťaž pracovníka A2	98,00	<97,97 ; 98,02>	%
Záťaž pracovníka A3	97,99	<97,97 ; 98,01>	%
Záťaž pracovníka A4	97,99	<97,97 ; 98,01>	%
Záťaž pracovníka A5	97,98	<97,96 ; 98,00>	%
Záťaž pracovníka B1	95,83	<95,81 ; 95,85>	%
Záťaž pracovníka B2	95,82	<95,80 ; 95,84>	%
Záťaž pracovníka B3	95,82	<95,80 ; 95,83>	%
Záťaž pracovníka B4	95,81	<95,79 ; 95,83>	%



Záťaž pracovníka B5	95,80	<95,78 ; 95,82>	%
Záťaž pracovníka C1	94,34	<94,32 ; 94,36>	%
Záťaž pracovníka C2	94,35	<94,33 ; 94,37>	%
Záťaž pracovníka C3	94,34	<94,32 ; 94,36>	%
Záťaž pracovníka C4	94,34	<94,32 ; 94,36>	%
Záťaž pracovníka C5	94,33	<94,31 ; 94,35>	%
Záťaž pracovníka C6	94,33	<94,31 ; 94,35>	%
Záťaž pracovníka C7	94,32	<94,30 ; 94,34>	%
Záťaž pracovníka C8	94,31	<94,29 ; 94,33>	%
Záťaž pracovníka C9	94,30	<94,28 ; 94,32>	%
Záťaž pracovníka C10	94,29	<94,27 ; 94,31>	%
Záťaž pracovníka C11	94,28	<94,26 ; 94,30>	%
Záťaž pracovníka C12	94,28	<94,26 ; 94,30>	%
Záťaž pracovníka C13	94,27	<94,25 ; 94,29>	%
Záťaž pracovníka C14	94,26	<94,24 ; 94,28>	%
Záťaž pracovníka C15	94,25	<94,23 ; 94,27>	%
Záťaž pracovníka C16	94,25	<94,23 ; 94,27>	%
Záťaž pracovníka C17	94,24	<94,22 ; 94,26>	%
Záťaž pracovníka C18	94,23	<94,21 ; 94,25>	%
Záťaž pracovníka C19	94,22	<94,20 ; 94,24>	%
Záťaž pracovníka C20	94,21	<94,19 ; 94,23>	%
Záťaž pracovníka C21	94,21	<94,19 ; 94,23>	%
Záťaž pracovníka C22	94,20	<94,18 ; 94,22>	%
Záťaž pracovníka C23	94,19	<94,17 ; 94,21>	%
Záťaž pracovníka C24	94,18	<94,16 ; 94,20>	%
Záťaž pracovníka C25	94,17	<94,15 ; 94,19>	%
Záťaž pracovníka C26	94,16	<94,14 ; 94,18>	%
Záťaž pracovníka C27	94,16	<94,14 ; 94,18>	%
Záťaž pracovníka C28	94,15	<94,13 ; 94,17>	%
Záťaž pracovníka C29	94,13	<94,11 ; 94,15>	%
Záťaž pracovníka C30	94,13	<94,11 ; 94,15>	%
Záťaž pracovníka C31	94,12	<94,10 ; 94,14>	%
Záťaž pracovníka C32	94,10	<94,08 ; 94,12>	%
Záťaž pracovníka C33	94,09	<94,07 ; 94,11>	%
Záťaž pracovníka C34	94,08	<94,06 ; 94,10>	%
Záťaž pracovníka C35	94,08	<94,06 ; 94,10>	%
Záťaž pracovníka C36	94,06	<94,04 ; 94,08>	%
Záťaž pracovníka C37	94,05	<94,03 ; 94,07>	%
Záťaž pracovníka C38	94,04	<94,02 ; 94,06>	%
Záťaž pracovníka C39	94,02	<94,00 ; 94,04>	%
Záťaž pracovníka C40	94,01	<93,99 ; 94,03>	%



Graf ustáľovania priemerného času vybavenia objednávky v hodinách



3.6 Séria experimentov v okolí konfigurácie $\langle 5, 5, 40, 59 \rangle$

Na záver pre potvrdenie nájdeného riešenie prejdeme okolité riešenia konfigurácie

$\langle 5, 5, 40, 59 \rangle$. V tomto okolí prejdeme tie konfigurácie, ku ktorým je možné sa dostať:

- 1-1 výmenou (-1 +1) jedného zdroja za iný zdroj
- 2-2 výmenou (-1 -1 +1 +1) jedného zdroja za iný zdroj

Získali sme nasledujúce časy vybavenia objednávky v hodinách:

Čas vybavenia objednávky (hodiny)		95% Interval spoľahlivosti
$\langle 5, 5, 40, 59 \rangle$	30,05	$\langle 29,38 ; 30,71 \rangle$
1-1 výmena		
$\langle 6, 4, 40, 59 \rangle$	188,9	$\langle 187,75 ; 190,05 \rangle$
$\langle 6, 5, 39, 59 \rangle$	23,96	$\langle 23,44 ; 24,49 \rangle$
$\langle 6, 5, 40, 58 \rangle$	22,27	$\langle 21,82 ; 22,72 \rangle$
$\langle 4, 6, 40, 59 \rangle$	180,04	$\langle 178,89 ; 181,19 \rangle$
$\langle 5, 6, 39, 59 \rangle$	33,55	$\langle 32,77 ; 34,33 \rangle$
$\langle 5, 6, 40, 58 \rangle$	28,55	$\langle 27,89 ; 29,21 \rangle$
$\langle 4, 5, 41, 59 \rangle$	181,16	$\langle 179,97 ; 182,34 \rangle$
$\langle 5, 4, 41, 59 \rangle$	189,7	$\langle 188,57 ; 190,84 \rangle$
$\langle 5, 5, 41, 58 \rangle$	28,67	$\langle 28,05 ; 29,29 \rangle$
$\langle 4, 5, 40, 60 \rangle$	180,71	$\langle 179,58 ; 181,83 \rangle$
$\langle 5, 4, 40, 60 \rangle$	189,53	$\langle 188,38 ; 190,68 \rangle$
$\langle 5, 5, 39, 60 \rangle$	35,66	$\langle 34,85 ; 36,47 \rangle$
2-2 výmena		
$\langle 6, 6, 39, 58 \rangle$	19,41	$\langle 19,08 ; 19,74 \rangle$
$\langle 4, 4, 41, 60 \rangle$	192,71	$\langle 191,54 ; 193,88 \rangle$
$\langle 6, 4, 41, 58 \rangle$	189,07	$\langle 187,91 ; 190,22 \rangle$
$\langle 4, 6, 39, 60 \rangle$	181,61	$\langle 180,44 ; 182,79 \rangle$
$\langle 6, 4, 39, 60 \rangle$	189,18	$\langle 188,03 ; 190,33 \rangle$
$\langle 4, 6, 41, 58 \rangle$	181,83	$\langle 180,68 ; 182,99 \rangle$

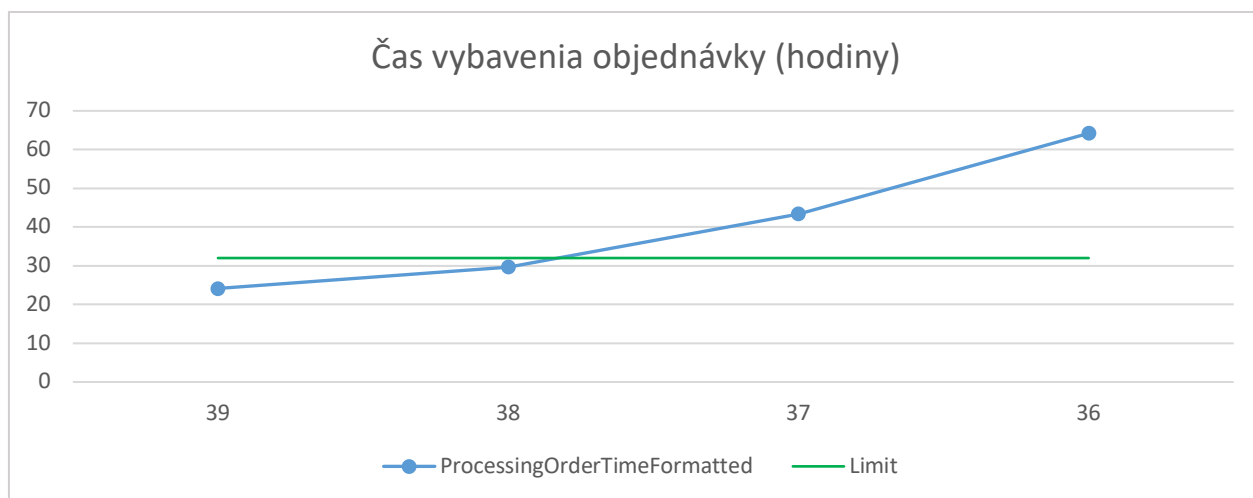
Pokiaľ sa primárne snažíme znížiť počet pracovníkov a sekundárne znížiť počet výrobných liniek je pre nás zaujímavé nájdené riešenie $\langle 6, 5, 39, 59 \rangle$. Tým, že sme premiestnili jedného pracovníka skupiny C do skupiny A sa čas zlepšil. Tiež sa tu nachádzajú aj iné lepšie riešenia v celkovom počte zdrojov, ale zvýši sa pri nich počet pracovníkov, napríklad $\langle 6, 6, 39, 58 \rangle$.



3.7 Séria experimentov s konfiguráciami $\langle 6, 5, C, 59 \rangle$

Skontrolujeme teda riešenie $\langle 6, 5, 39, 59 \rangle$, pričom na základe tabuľky je zrejmé, že počet pracovníkov skupiny B musí byť určite minimálne 5 inak sa čas výrazne zvýši. Vyskúšame preto ešte postupne znížiť počet pracovníkov skupiny C:

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti
$\langle 6, 5, 39, 59 \rangle$	24,15	$\langle 23,63 ; 24,68 \rangle$
$\langle 6, 5, 38, 59 \rangle$	29,71	$\langle 29,03 ; 30,39 \rangle$
$\langle 6, 5, 37, 59 \rangle$	43,39	$\langle 42,44 ; 44,33 \rangle$
$\langle 6, 5, 36, 59 \rangle$	64,19	$\langle 63,12 ; 65,25 \rangle$



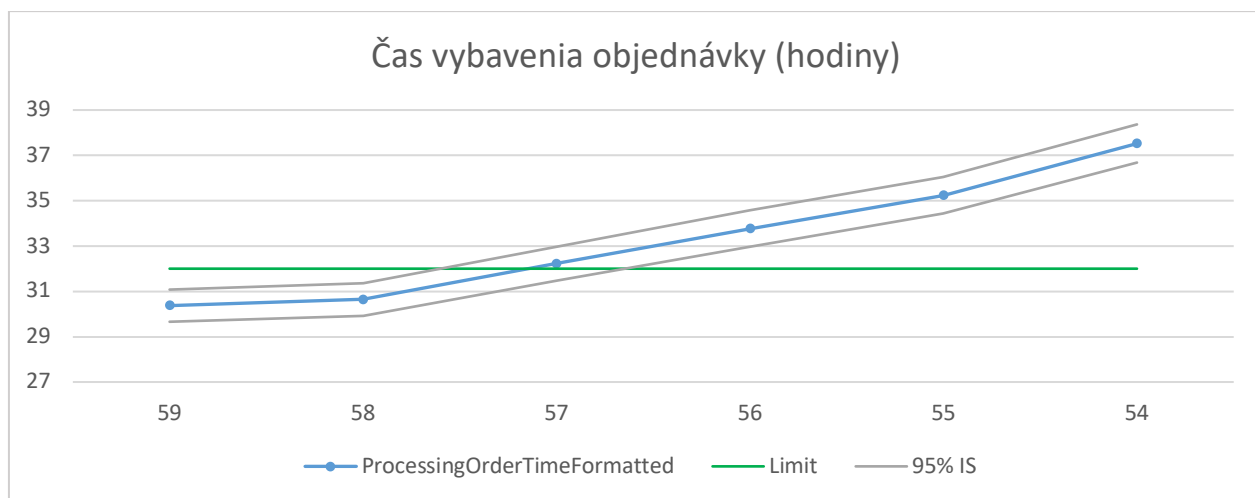
Našli sme ešte lepšie riešenie $\langle 6, 5, 38, 59 \rangle$, ktoré je stále v limite 32 hodín pričom sa nám podarilo znížiť jedného pracovníka. Celkový počet pracovníkov je teraz 49 a počet liniek 59. Vyskúšame ešte znížiť počet pracovných liniek.



3.8 Séria experimentov s konfiguráciami $\langle 6, 5, 38, L \rangle$

Keďže sme prišli k inej variante počtu pracovníkov, vyskúšame znížiť počet pracovných liniek pokiaľ sme stále v limite 32 hodín.

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti
$\langle 6, 5, 38, 59 \rangle$	30,37	$\langle 29,66 ; 31,08 \rangle$
$\langle 6, 5, 38, 58 \rangle$	30,65	$\langle 29,93 ; 31,37 \rangle$
$\langle 6, 5, 38, 57 \rangle$	32,23	$\langle 31,48 ; 32,98 \rangle$
$\langle 6, 5, 38, 56 \rangle$	33,76	$\langle 32,96 ; 34,57 \rangle$
$\langle 6, 5, 38, 55 \rangle$	35,24	$\langle 34,43 ; 36,05 \rangle$
$\langle 6, 5, 38, 54 \rangle$	37,52	$\langle 36,68 ; 38,37 \rangle$



Našli sme nové najlepšie nájdené riešenie $\langle 6, 5, 38, 58 \rangle$, ktorého čas vybavenia objednávky je 30,65 hodín. Do úvahy by sme mohli brať aj riešenie s počtom liniek 57, ktoré je veľmi hraničné ale dolná hranica jeho 95% intervalu spoľahlivosti sa v rámci limitu.

Štatistiky pre toto riešenie (10 000 replikácií):

$\langle 6, 5, 38, 58 \rangle$	Priemerná hodnota	95% Interval spoľahlivosti	
Čas vybavenia objednávky	30,94	$\langle 30,71 ; 31,16 \rangle$	hodín
Čas vybavenia položky objednávky	28,98	$\langle 28,75 ; 29,21 \rangle$	hodín
Čakajúce nezačaté objednávky	38,89	$\langle 38,42 ; 39,36 \rangle$	počet
Čakajúce položky na výrobnú linku	117,13	$\langle 115,73 ; 118,54 \rangle$	počet
Čakajúce položky na pracovníka skupiny A	0,81	$\langle 0,81 ; 0,81 \rangle$	počet

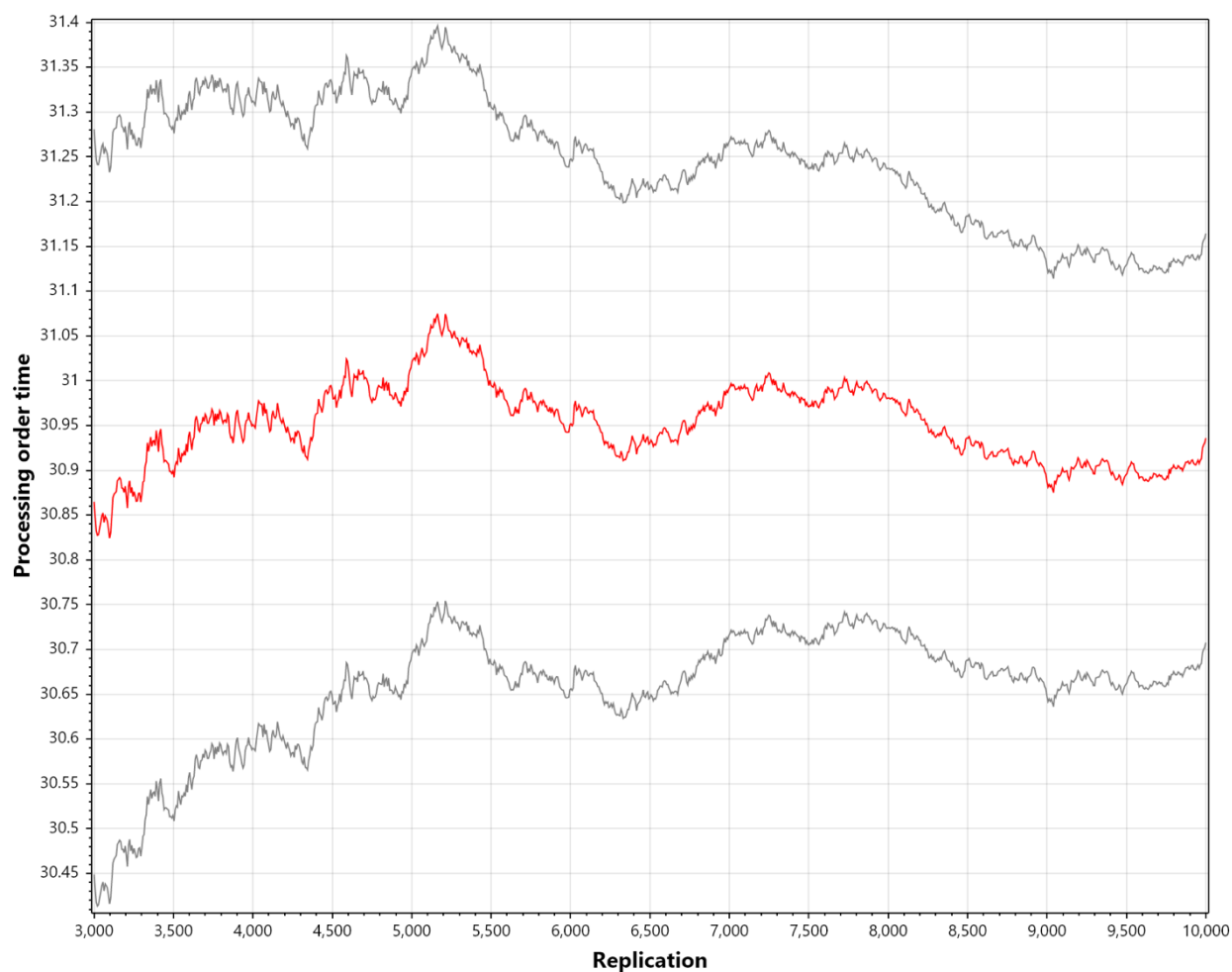


Čakajúce položky na pracovníka skupiny C	4,36	<4,35 ; 4,37>	počet
Čakajúce položky na pracovníka skupiny B	4,29	<4,28 ; 4,29>	počet
Čakajúce položky na pracovníka skupiny A/C	0,06	<0,06 ; 0,06>	počet
Čas čakania nezačatých objednávok	19,34	<19,11 ; 19,57>	hodín
Čas čakania na výrobnú linku	19,38	<19,16 ; 19,61>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny A	0,13	<0,13 ; 0,13>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny C	0,64	<0,64 ; 0,64>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny B	0,73	<0,73 ; 0,73>	hodín
Čas čakania na pracovníka skupiny A/C	0,03	<0,03 ; 0,03>	hodín
Záťaž pracovných liniek	98,03	<98,00 ; 98,06>	%
Záťaž pracovníkov A	88,06	<88,03 ; 88,08>	%
Záťaž pracovníkov B	95,74	<95,72 ; 95,75>	%
Záťaž pracovníkov C	98,07	<98,06 ; 98,09>	%

<6, 5, 38, 58>	Priemerná hodnota	95% Interval spoľahlivosti	
Záťaž pracovníka A1	88,07	<88,04 ; 88,09>	%
Záťaž pracovníka A2	88,07	<88,04 ; 88,09>	%
Záťaž pracovníka A3	88,06	<88,03 ; 88,08>	%
Záťaž pracovníka A4	88,06	<88,03 ; 88,08>	%
Záťaž pracovníka A5	88,05	<88,03 ; 88,08>	%
Záťaž pracovníka A6	88,05	<88,02 ; 88,07>	
Záťaž pracovníka B1	95,75	<95,73 ; 95,77>	%
Záťaž pracovníka B2	95,74	<95,72 ; 95,76>	%
Záťaž pracovníka B3	95,74	<95,72 ; 95,76>	%
Záťaž pracovníka B4	95,73	<95,71 ; 95,75>	%
Záťaž pracovníka B5	95,72	<95,70 ; 95,74>	%
Záťaž pracovníka C1	98,21	<98,19 ; 98,23>	%
Záťaž pracovníka C2	98,21	<98,19 ; 98,23>	%
Záťaž pracovníka C3	98,21	<98,19 ; 98,23>	%
Záťaž pracovníka C4	98,2	<98,18 ; 98,22>	%
Záťaž pracovníka C5	98,19	<98,17 ; 98,21>	%
Záťaž pracovníka C6	98,18	<98,16 ; 98,20>	%
Záťaž pracovníka C7	98,18	<98,16 ; 98,20>	%
Záťaž pracovníka C8	98,17	<98,15 ; 98,19>	%
Záťaž pracovníka C9	98,16	<98,14 ; 98,18>	%
Záťaž pracovníka C10	98,15	<98,14 ; 98,17>	%
Záťaž pracovníka C11	98,15	<98,13 ; 98,17>	%
Záťaž pracovníka C12	98,14	<98,12 ; 98,16>	%
Záťaž pracovníka C13	98,13	<98,11 ; 98,15>	%



Záťaž pracovníka C14	98,12	<98,10 ; 98,14>	%
Záťaž pracovníka C15	98,12	<98,10 ; 98,14>	%
Záťaž pracovníka C16	98,11	<98,09 ; 98,13>	%
Záťaž pracovníka C17	98,1	<98,08 ; 98,12>	%
Záťaž pracovníka C18	98,09	<98,07 ; 98,11>	%
Záťaž pracovníka C19	98,09	<98,07 ; 98,11>	%
Záťaž pracovníka C20	98,08	<98,06 ; 98,10>	%
Záťaž pracovníka C21	98,07	<98,05 ; 98,09>	%
Záťaž pracovníka C22	98,07	<98,05 ; 98,09>	%
Záťaž pracovníka C23	98,06	<98,04 ; 98,08>	%
Záťaž pracovníka C24	98,05	<98,03 ; 98,07>	%
Záťaž pracovníka C25	98,04	<98,02 ; 98,05>	%
Záťaž pracovníka C26	98,03	<98,01 ; 98,04>	%
Záťaž pracovníka C27	98,02	<98,00 ; 98,04>	%
Záťaž pracovníka C28	98,01	<97,99 ; 98,03>	%
Záťaž pracovníka C29	98	<97,98 ; 98,02>	%
Záťaž pracovníka C30	97,99	<97,97 ; 98,01>	%
Záťaž pracovníka C31	97,98	<97,96 ; 98,00>	%
Záťaž pracovníka C32	97,96	<97,95 ; 97,98>	%
Záťaž pracovníka C33	97,96	<97,94 ; 97,98>	%
Záťaž pracovníka C34	97,95	<97,93 ; 97,96>	%
Záťaž pracovníka C35	97,93	<97,92 ; 97,95>	%
Záťaž pracovníka C36	97,92	<97,90 ; 97,94>	%
Záťaž pracovníka C37	97,91	<97,89 ; 97,92>	%
Záťaž pracovníka C38	97,9	<97,88 ; 97,91>	%



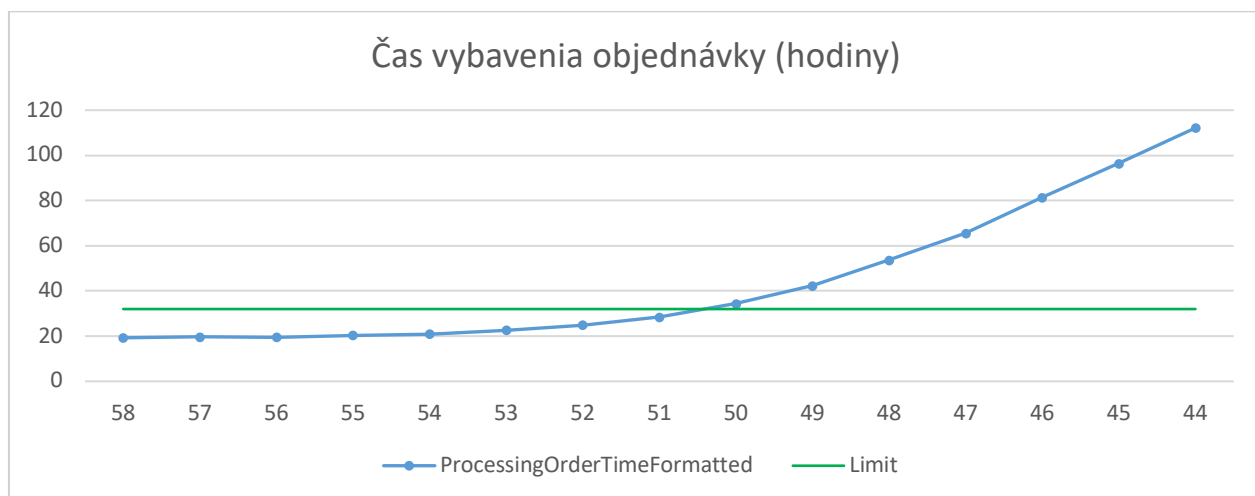
Graf ustalovania priemerného času vybavenia objednávky v hodinách



3.9 Séria experimentov s konfiguráciami $\langle 6, 6, 39, L \rangle$

V závere sa ešte vrátime k riešeniu $\langle 6, 6, 39, 58 \rangle$, ktoré malo čas 19,41 ale počet pracovníkov je až 51 a počet výrobných liniek 58. Pokúsime sa ešte vykonať experimenty a znížiť počet pracovných liniek:

	Čas vybavenia objednávky (hodiny)	95% Interval spoľahlivosti
$\langle 6, 6, 39, 58 \rangle$	19,27	$\langle 18,96 ; 19,58 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 57 \rangle$	19,7	$\langle 19,35 ; 20,06 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 56 \rangle$	19,55	$\langle 19,22 ; 19,88 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 55 \rangle$	20,43	$\langle 20,06 ; 20,8 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 54 \rangle$	20,95	$\langle 20,57 ; 21,34 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 53 \rangle$	22,64	$\langle 22,17 ; 23,11 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 52 \rangle$	24,87	$\langle 24,32 ; 25,41 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 51 \rangle$	28,41	$\langle 27,72 ; 29,1 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 50 \rangle$	34,33	$\langle 33,55 ; 35,12 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 49 \rangle$	42,33	$\langle 41,41 ; 43,25 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 48 \rangle$	53,59	$\langle 52,53 ; 54,65 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 47 \rangle$	65,5	$\langle 64,43 ; 66,58 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 46 \rangle$	81,4	$\langle 80,22 ; 82,58 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 45 \rangle$	96,44	$\langle 95,3 ; 97,58 \rangle$
$\langle 6, 6, 39, 44 \rangle$	112,14	$\langle 110,93 ; 113,34 \rangle$



Pokiaľ by sme sa snažili primárne minimalizovať počet pracovných liniek a až sekundárne počet pracovníkov, našli sme nové najlepšie riešenie.



3.10 Záver vyhodnotenia simulačných experimentov

Na základe množstva uskutočnených experimentov a vykonanej analýzy sme dospeli k viacerým riešeniam, ktoré sú na hranici 32 hodín. Riešenie $\langle 6, 5, 38, 58 \rangle$ vyšlo u nás najlepšie s časom 30,94 pokiaľ sa primárne snažíme minimalizovať počet pracovníkov a sekundárne počet výrobných liniek. Pokiaľ ale akceptujeme riešenie $\langle 6, 6, 39, 51 \rangle$, ktoré má o 2 pracovníkov viac, dostaneme riešenie, ktoré má o 7 pracovných liniek menej s časom 28,41 hodín.