

**ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE**  
**FAKULTA RIADENIA A INFORMATIKY**

# **Diskrétna simulácia**

Semestrálna práca 3

**Bc. David Kučera**

Akademický rok 2024/25, letný semester



## Obsah

<b>ZADANIE A POŽIADAVKY PRÁCE .....</b>	<b>3</b>
<b>ARCHITEKTÚRA PRÁCE .....</b>	<b>5</b>
MODUL DSAGENTSIMULATIONLIB .....	6
<i>ExponentialGenerator</i> .....	6
<i>TriangularGenerator</i> .....	6
<i>EmpiricalGenerator</i> .....	6
<i>UniformGenerator</i> .....	6
<i>Average</i> .....	6
<i>ConfidenceInterval</i> .....	6
<i>Workload</i> .....	7
MODUL DSAGENTSIMULATIONWOODWORK .....	7
<i>Stolar</i> .....	7
<i>Objednavka</i> .....	7
<i>MontazneMiesto</i> .....	7
<i>Tovar</i> .....	8
<i>Sklad</i> .....	8
<i>Constants</i> .....	8
MODUL DSAGENTSIMULATIONVISUALIZATION .....	8
<b>AGENTOVÝ MODEL .....</b>	<b>12</b>
AGENTMODELU .....	12
AGENTOKOLIA .....	12
AGENTSTOLARSKEJDIELNE .....	13
AGENTMONTAZNYCHMIEST .....	13
AGENTSTOLAROV .....	13
AGENTASTOLAR, AGENTBSTOLAR, AGENTCSTOLAR .....	14
<b>EXPERIMENTY VYKONANÉ S MODELOM .....</b>	<b>16</b>
<b>VYHODNOTENIE SIMULAČNEJ ŠTÚDIE .....</b>	<b>19</b>
<b>ZÁVER .....</b>	<b>19</b>

## Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Diagram modulov .....	5
Obrázok 2 UML diagram tried modulu DSAgentSimulationLib .....	6
Obrázok 3 UML diagram tried modulu DSAgentSimulationWoodwork .....	7
Obrázok 4 Okno časti "Simulačný beh" .....	9
Obrázok 5 Okno časti "Graf" .....	10
Obrázok 6 Okno časti "Animácia" .....	11
Obrázok 7 AgentOkolia vnútorný pohľad .....	12
Obrázok 8 AgentStolarov vnútorný pohľad .....	14
Obrázok 9 Agentový model .....	15



## Zadanie a požiadavky práce

Vedenie stolárskej dielne *Najlepší nábytok, s.r.o* potrebuje optimalizovať svoje prevádzkové náklady a preto sa rozhodlo objednať si vypracovanie jednoduchej simulačnej štúdie zameranej na modelovanie prevádzky stolárskej dielne. Cieľom tejto štúdie je určiť počet stolárov potrebných na efektívne zabezpečenie výroby nábytku s čo najnižšími personálnymi nákladmi.

Stolárska dielňa vyrába nábytok na mieru podľa potrieb jednotlivých zákazníkov a to na základe objednávky. Objednávky prichádzajú do dielne počas každého dňa. Zákazníci si môžu objednať tri typy nábytku a to stoly, stoličky a skrine. Jednotlivé objednávky prichádzajú do elektronického systému a stolárom, ktorí dokončili predchádzajúcu prácu je ďalšia objednávka pridelená na základe času jej príchodu do systému. (FIFO front nezačatých objednávok)

V stolárskej dielni pracujú 3 rôzne skupiny stolárov. **Skupina A**, ktorá sa zaoberá donesením materiálu zo skladu a rezaním jednotlivých dielov. **Skupina B**, ktorá sa zaoberá skladaním jednotlivých kusov nábytku. **Skupina C**, ktorá sa zaoberá lakovaním nábytku, morením nábytku a montovaním kovaní na skrine.

Novú objednávku (**môže obsahovať viac kusov nábytku**) prevezme vždy stolár zo **skupiny A** a začne s jej prípravou. Vyberie si z objednávky jeden kus nábytku a na ňom začne pracovať. Ostatné kusy nábytku začnú pripravovať iní stolári zo skupiny A (ak sú voľní), alebo sa zaradia do frontu nezačatých výrobkov z už rozpracovaných objednávok. Prvým krokom je, že stolár zo **skupiny A** donesie materiál (dosky) zo skladu dreva a vyreže potrebné diely na stoly, stoličky a skrine. Vyrezané diely následne stolár zo **skupiny C** namorí a prípadne nalakuje podľa požiadaviek zákazníka. Po dokončení tejto fázy stolár zo **skupiny B** zloží jednotlivé diely do finálneho stavu. V prípade skrine je potrebné zabezpečiť po zložení aj montáž kovaní, čo zabezpečujú stolári zo **skupiny C alebo zo skupiny A**. Takto vyrobený nábytok sa považuje za pripravený na expedíciu. Vo výrobe je jednoznačne preferovaná výroba nábytkov zo starších objednávok (tak aby minimalizoval čas spracovania kompletnej objednávky). Ak sa má nejaký pracovník rozhodnúť čo bude robiť, tak uprednostňuje výrobu výrobkov pre najstaršiu objednávku. **Objednávka je pre zákazníka dokončená v čase dokončenia posledného výrobku z nej.**

**Dokončenie objednávky (montáž kovaní) má prednosť pred inými činnosťami.** Jednotlivé kusy nábytku sa vyrábajú na montážnych miestach (rezanie kusov, morenie, skladanie... jednotlivých kusov nábytku prebieha pre každý kus na jednom mieste) a stolári sa pri tomto mieste striedajú podľa toho, v akej výrobnnej fáze sa kus nábytku práve nachádza. Stolár, ktorý skončil svoju prácu na jednom kuse nábytku začne ďalšiu prácu na tom kuse nábytku, ktorý pochádza z najstaršej objednávky a ak je takých výrobkov viac, tak na tom, ktorého predchádzajúci technologický krok bol dokončený najskôr. Stolár zo skupiny A môže začať pripravovať výrobu ďalšieho nábytku, iba ak je nejaké montážne miesto voľné. Ak sú



všetky montážne miesta obsadené, stolár musí počkať, kým sa nejaké miesto neuvoľní.

### **Postup a požiadavky:**

Navrhните a implementujte **agentovo** orientovaný simulačný model **s použitím sim. jadra ABASim v 4.0** stolárskej dielne *Najlepší nábytok, s.r.o.*, ktorý bude modelovať všetky vyššie popísané vlastnosti modelovaného systému (bez ohľadu na ich vplyv na výsledok) a bude orientovaný na použitie pre hore uvedené ciele. Funkčnosť simulačného programu preukážte jednoduchým a prehľadným priebežným zobrazovaním situácie v systéme počas behu programu.

**S využitím podpory simulačného jadra pripravte podrobné animačné zobrazenie prebiehajúceho sim. behu. Priestorové rozloženie dielne budem Vaším unikátnym návrhom.** Súčasťou dokumentácie riešenia je váš grafický návrh architektúry modelu. Agentový model nakreslite v nástroji ABABuilder a odovzdajte aj ako uložený súbor tohto nástroja. Súčasťou práce sú aj podrobne zdokumentované výsledky **všetkých** realizovaných experimentov. **V dokumentácii podrobne a prehľadne spracujte všetky výsledky, návrhy, postupy...** Univerzálne generátory na generovanie potrebných rozdelení pravdepodobnosti a spracovanie štatistík nemusíte robiť s využitím balíčka ABASim.

S modelom vykonajte **zdokumentované** experimenty tak, aby ste boli schopní zodpovedne odporučiť taký **minimálny** počet stolárov jednotlivých skupín a **minimálny** potrebný počet montážnych miest, pri ktorom priemerný **pracovný čas** (čas kedy je dielňa zatvorená sa nepočíta) od zaznamenania objednávky do systému po vyhotovenie posledného kusu nábytku z danej objednávky nebude vyšší ako 32 hodín (štyri pracovné dni). Pripravte aj graf ustaľovania tejto hodnoty s rastúcim počtom replikácií. Vyčísľte tiež priemerný počet objednávok, na ktorých sa ešte nezačalo pracovať.

**Všetky závery stanovte na základe štatisticky vyhodnotených replikácií. Dĺžku jednej replikácie nastavte na 12 mesiacov (249 pracovných dní). Zahrievanie a chladenie sim. modelu nie je potrebné vykonávať.**

Nezabudnite na všetky všeobecné požiadavky semestrálnych prác. V priebehu simulácie vypisujte všetky sledované veličiny, stav systému (aktuálne dĺžky frontov, stavy jednotlivých objednávok, stavy výrobkov pre jednotlivé objednávky, stav personálu, stav a činnosť vykonávaná na jednotlivých montážnych miestach, ...), **všetky** priebežné štatistiky atď. Taktiež vypočítajte priemerné percentuálne vyťaženie jednotlivých stolárov aj celkové priemerné vyťaženie všetkých stolárov z každej skupiny. **Pre všetky štatistiky určite aj 95% interval spoľahlivosti.**

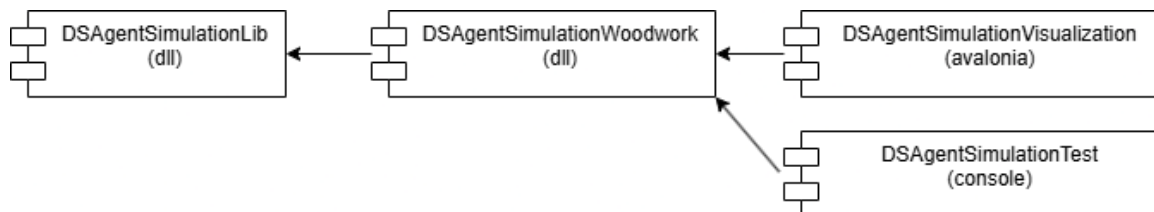
## Architektúra práce

Práca bola implementovaná v programovacom jazyku **C#** na platforme **.NET 8.0**. Beží na **len na OS Windows**. Aplikácia je rozdelená do 3 hlavných programových modulov.

Prvým najnižším modulom je knižnica **DSAgentSimulationLib**, ktorá obsahuje triedy štatistík a generátorov používaných v práci, ako napr. Workload, ConfidenceInterval, Average, ExponentialGenerator a pod.

Ďalším modulom je modul **DSAgentSimulationWoodWork**, ktorý využíva agentové jadro ABACore v najnovšej verzii (zverejnená 1.5.2025). Obsahuje kód vygenerovaný nástrojom ABABuilder. Agentový model je uvedený nižšie v dokumente. Modul obsahuje všetky potrebné prvky agentovej simulácie špecifikovanej zadaním práce. Okrem častí Agents a Simulation obsahuje aj priečinok Entities, kde sú dátové štruktúry používané v simulácii.

Najvyšším modulom je **DSAgentSimulationVisualization**, ktorý obsahuje GUI rozhranie pre prácu s modulom DSAgentSimulationWoodWork, ktoré je implementované vo frameworku Avalonia (<https://avaloniaui.net>) – umožňuje spustenie na viacerých OS – Windows, macOS, Linux. **Avšak**, nakoľko obsahuje animátor z jadra ABACore, je možné ho spustiť len na OS Windows.



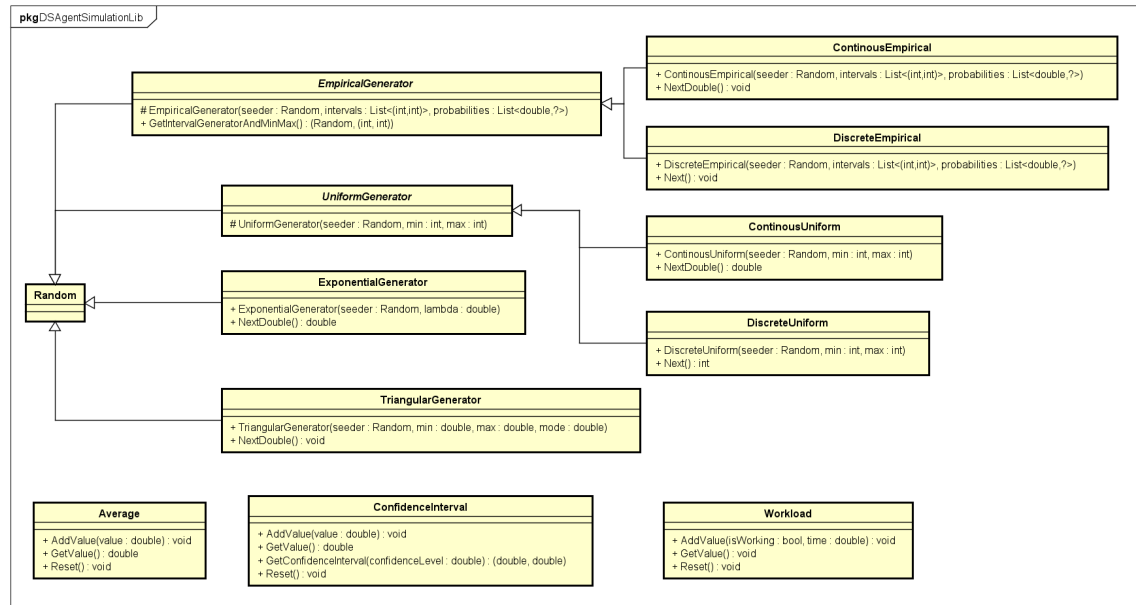
Obrázok 1 Diagram modulov

Pozn. Okrem vyššie zmienených modulov je implementovaný aj testovací modul, ktorý je implementovaný konzolovou aplikáciou s názvom **DSAgentSimulationTest**. Je možné ho spustiť v dvoch režimoch – buď sekvenčne alebo náhodne. Ak zvolíme náhodne, náhodne bude generovať konfigurácie, ak zvolíme sekvenčne, postupne bude testovať konfigurácie za sebou, oba režimy podľa zadaných konštánt. Výsledky zapisuje prehľadne do formátu csv. Pri opätovnom spustení overuje, či už dané konfigurácie nevyriešil.



## Modul DSAgentSimulationLib

Táto knižnica obsahuje triedy generátorov a štatistík (použíte aj v predošlých SP).



Obrázok 2 UML diagram tried modulu DSAgentSimulationLib

### ExponentialGenerator

Trieda exponenciálneho generátora. Berie ako parameter lambda, pomocou ktorej následne v metóde NextDouble dá hodnotu.

### TriangularGenerator

Trieda trojuholníkového generátora. Berie parametre minimum, maximum a modus pomocou ktorých následne v metóde NextDouble dá hodnotu.

### EmpiricalGenerator

Trieda generátora empirického rozdelenia. Berie ako parametre list intervalov a pravdepodobností. Má dvoch potomkov – [ContinuousEmpirical](#) (metóda NextDouble) a [DiscreteEmpirical](#) (metóda Next).

### UniformGenerator

Trieda generátora rovnomerného rozdelenia. Berie ako parametre maximum a minimum vo forme napr. <0,1). Má dvoch potomkov – [ContinuousUniform](#) (metóda NextDouble) a [DiscreteUniform](#) (metóda Next).

### Average

Trieda pre priebežný výpočet priemeru nejakej sledovanej veličiny.

### ConfidenceInterval

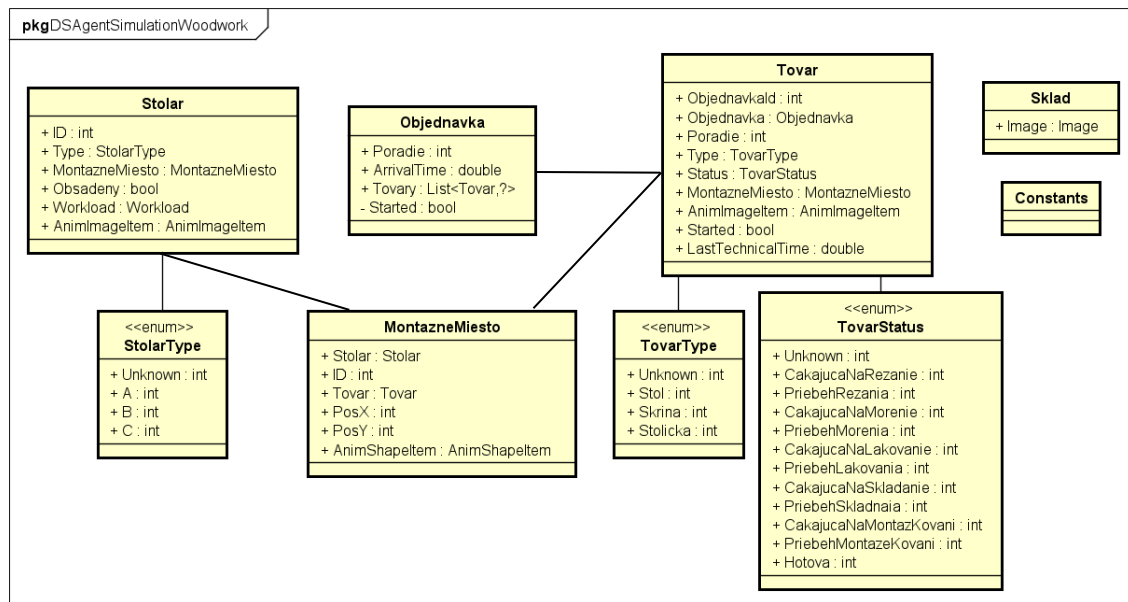
Trieda pre priebežný výpočet intervalu spoľahlivosti nejakej sledovanej veličiny.

## Workload

Trieda pre priebežný výpočet vyťaženia pracovníka. Vyťaženosť sa berie ako podiel aktívnej práce ku celkovému času v práci.

## Modul DSASimulationWoodwork

Tento modul obsahuje triedu reprezentujúcu „jadro“ aplikácie, ktoré sa využíva v GUI.



Obrázok 3 UML diagram tried modulu DSASimulationWoodwork

### Stolar

Trieda reprezentujúca stolára. Obsahuje potrebné parametre, ktoré je nutné v simulácii sledovať a priebežne aktualizovať, ako napr. jeho typ, aktuálne montážne miesto, či je obsadený, jeho štatistiku vyťaženia a animačný obrázok.

### Objednavka

Trieda reprezentujúca objednávku. Obsahuje potrebné parametre, ktoré je nutné v simulácii sledovať a priebežne aktualizovať, ako napr. jej poradie, čas príchodu, obsiahnuté tovary a či sa na nej začalo pracovať.

### MontazneMiesto

Trieda reprezentujúca montážne miesto. Obsahuje potrebné parametre, ktoré je nutné v simulácii sledovať a priebežne aktualizovať, ako napr. animačný tvar a jeho pozícia.



### Tovar

Trieda reprezentujúca tovar objednávky. Obsahuje potrebné parametre, ktoré je nutné v simulácii sledovať a priebežne aktualizovať, ako napr. jeho objednávka, poradie, typ tovaru, status tovaru, animačný obrázok, či sa na tovare začalo pracovať a čas posledného technického kroku.

### Sklad

Obsahuje len konštanty polohy skladu, animačný obrázok a funkcie pre náhodnú pozíciu v sklade.

### Constants

Obsahuje konštanty animačného radu AnimQueue, ako napr. poloha začiatku, konca.

## Modul DSAgentSimulationVisualization

Tento modul obsahuje GUI rozhranie pre grafické zobrazenie stavu simulácie. Obsahuje jediné okno, ktoré sa skladá z dvoch častí – konfiguračná/manipulačná časť a časť priebehu simulácie. Druhá časť je možné preklikávať medzi týmito časťami:

- Simulačný beh – obsahuje textovú vizualizáciu aktuálnej replikácie a jej štatistiky,
- Graf – obsahuje graf ušľachovania skúmanej hodnoty (priemerný čas objednávky v systéme), spolu s globálnymi štatistikami simulácie,
- Animácia – obsahuje animáciu aktuálnej replikácie.

V konfiguračnej/manipulačnej časti je možné nastaviť tieto parametre:

- počet replikácií,
- násadu generátorov,
- preskočiť prvých n percent hodnôt,
- vykresliť len každý n-tý bod do grafu,
- počet montážnych miest,
- počet stolárov typu A,
- počet stolárov typu B,
- počet stolárov typu C.

Taktiež sa v tejto časti nachádzajú tlačidlá pre spustenie, pozastavenie, pokračovanie a zastavenie simulácie. Taktiež tu je možnosť zrýchliť simuláciu pomocou dvoch posuvníkov – posuvník na interval medzi prestávkami a posuvník pre dobu pauzy. Ak chceme, aby simulácia bežala čo najrýchlejšie, musíme zaškrtnúť zaškrťavacie políčko „Maximálna rýchlosť“. Ak chceme, aby sa animácia zobrazovala v časti Animácia, je nutné zaškrtnúť políčko „Animácia“.





V časti okna „**Simulačný beh**“ je možné vidieť priebežný stav aktuálnej replikácie. Je možné vidieť:

- aktuálny simulačný čas a deň,
- dĺžky jednotlivých frontov – rezanie, morenie, lakovanie, skladanie, montáž,
- celkový počet objednávok, hotových objednávok,
- jednotlivé montážne stoly:
  - stav tovaru – poradie objednávky, poradie tovaru, typ tovaru, stav tovaru (techn. Proces),
  - stav stolárov – skupina, obsadenosť, vyťaženie,
- a štatistiky, priebežne aktualizované:
  - priemerný čas objednávky v systéme,
  - priemerný počet nezačatých objednávok a tovarov,
  - priemerná vyťaženosť stolárov daných skupín (A, B, C).

Okno tejto časti vyzerá nasledovne:

Agentová simulácia stolárskej dielne - Najlepší nábytok s.r.o.

Počet replikácií: 1000 Národa: 0 Preskoč prvých: 0 % hodnôt Vykresli každú n-tú hodnotu: 1

Počet montážnych miest: 100 Počet A: 7 Počet B: 7 Počet C: 45

Spusti Pozastav Pokračuj Ukonči Animácia

Trvanie pauzy: 1 Interval medzi pauzami: 847 Maximálna rýchlosť

**Simulačný beh** Graf Animácia

Aktuálny simulačný čas: 13:18:01 Deň: 43

R-rezanie: 2 R-morenie: 1 R-lakovanie: 0 R-skladanie: 0 R-kovanie: 0 P-objednávok: 26 P-hotových: 647

Miesto	Tovar	Stolar	Stav
Miesto 1	Tovar: 663.1 Stól, PriebehLakovania	Stolar: C48 True	75%
Miesto 2	Tovar: 654.1 Skrina, PriebehMorenia	Stolar: C21 True	95%
Miesto 3	Tovar: 653.1 Skrina, PriebehMorenia	Stolar: C19 True	95%
Miesto 4	Tovar: 664.1 Stól, PriebehMorenia	Stolar: C50 True	64%
Miesto 5	Tovar: 667.1 Stól, PriebehMorenia	Stolar: C32 True	91%
Miesto 6	Tovar: 660.1 Stól, PriebehMorenia	Stolar: C16 True	96%
Miesto 7	Tovar: 657.1 Skrina, PriebehMorenia	Stolar: C22 True	96%
Miesto 8	Tovar: 673.1 Stól, CakajucaNaRezanie	Stolar: C43 True	82%
Miesto 9	Tovar: 664.2 Stól, PriebehMorenia	Stolar: C38 True	88%
Miesto 10	Tovar: 669.1 Stól, PriebehMorenia	Stolar: C30 True	89%
Miesto 11	Tovar: 667.2 Skrina, PriebehMorenia	Stolar: C17 True	97%
Miesto 12	Tovar: 673.2 Skrina, CakajucaNaRezanie	Stolar: C20 True	95%
Miesto 13	Tovar: 665.1 Skrina, PriebehMorenia	Stolar: C24 True	93%
Miesto 14	Tovar: 670.2 Skrina, PriebehMorenia	Stolar: B11 True	69%
Miesto 15	Tovar: 654.2 Stól, PriebehSkladania	Stolar: C40 True	84%
Miesto 16	Tovar: 647.2 Skrina, PriebehMorenia	Stolar: C29 True	92%
Miesto 17	Tovar: 661.1 Stól, PriebehMorenia	Stolar: C58 True	44%
Miesto 18	Tovar: 671.1 Skrina, CakajucaNaMorenie	Stolar: C33 True	87%
Miesto 19	Tovar: 643.1 Skrina, PriebehLakovania	Stolar: C54 True	62%
Miesto 20	Tovar: 667.3 Stolicica, PriebehMorenia	Stolar: B13 True	49%
Miesto 21	Tovar: 665.3 Stól, PriebehSkladania	Stolar: C53 True	57%
Miesto 22	Tovar: 666.1 Stolicica, PriebehMorenia	Stolar: C26 True	93%

Priemerný čas objednávky v systéme: 11:08:18

Priemerný počet nezačatých objednávok: 0.8646

Priemerný počet nezačatých tovarov: 4.3222

Priemerná vyťaženosť stolárov typu A: 74 %

Priemerná vyťaženosť stolárov typu B: 66 %

Priemerná vyťaženosť stolárov typu C: 81 %

Obrázok 4 Okno časti „Simulačný beh“

V druhej časti „**Graf**“ je možné vidieť graf ušľachovania hodnoty priemerného času objednávky v systéme spolu s globálnymi simulačnými štatistikami:

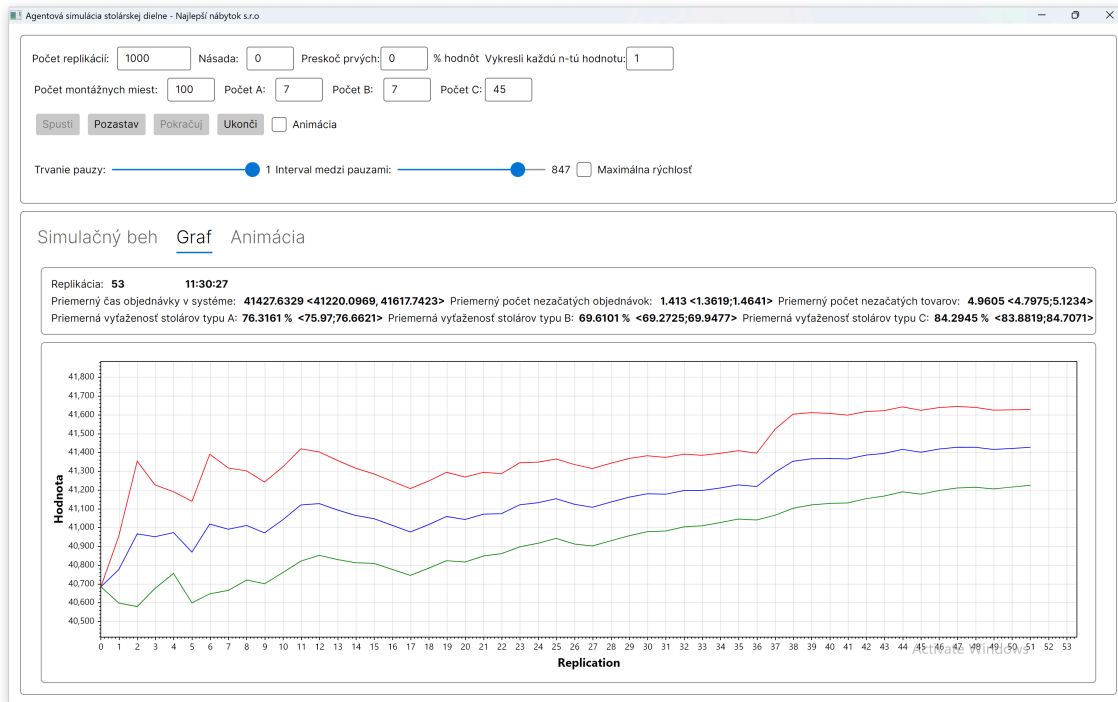
- priemerný čas objednávky v systéme,
- priemerný počet nezačatých objednávok a tovarov,
- priemerné vyťaženosť skupín stolárov (A, B, C).



Hodnota v grafe je modrou farbou a taktiež je v grafe aj 95 percentný interval spoľahlivosti tejto hodnoty vo farbách červená (top) a zelená (bottom).

Pozn. Graf bol vytvorený pomocou knižnice ScottPlot – voľne dostupná na <https://scottplot.net>.

Okno tejto časti vyzerá nasledovne:



Obrázok 5 Okno časti „Graf“

V poslednej časti „**Animácia**“ je možné vidieť po zaškrtnutí políčka „Animácia“ vizuálnu animáciu prebiehajúcej replikácie. V animácii je zachytené:

- sklad dreva,
- rozloženie montážnych miest v maticovom štýle,
- príchody objednávok do systému,
- animačný rad čakajúcich objednávok na montážne miesto,
- presuny stolárov medzi montážnymi miestami a skladoom,
- zobrazenie aktuálneho dňa a času,
- zobrazenie aktuálnej replikácie.

Pozn. Po prejdení myšou cez obrázok sa zobrazia ďalšie informácie o danom objekte animácie.

Jednotlivé objekty animácie sú zachytené nasledovne:

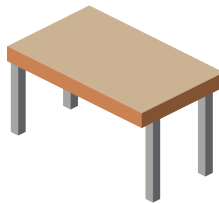
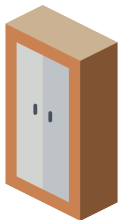


Stolári sú rozlíšení rôznymi obrázkami. Zľava doprava – stolár skupiny A, B, C.



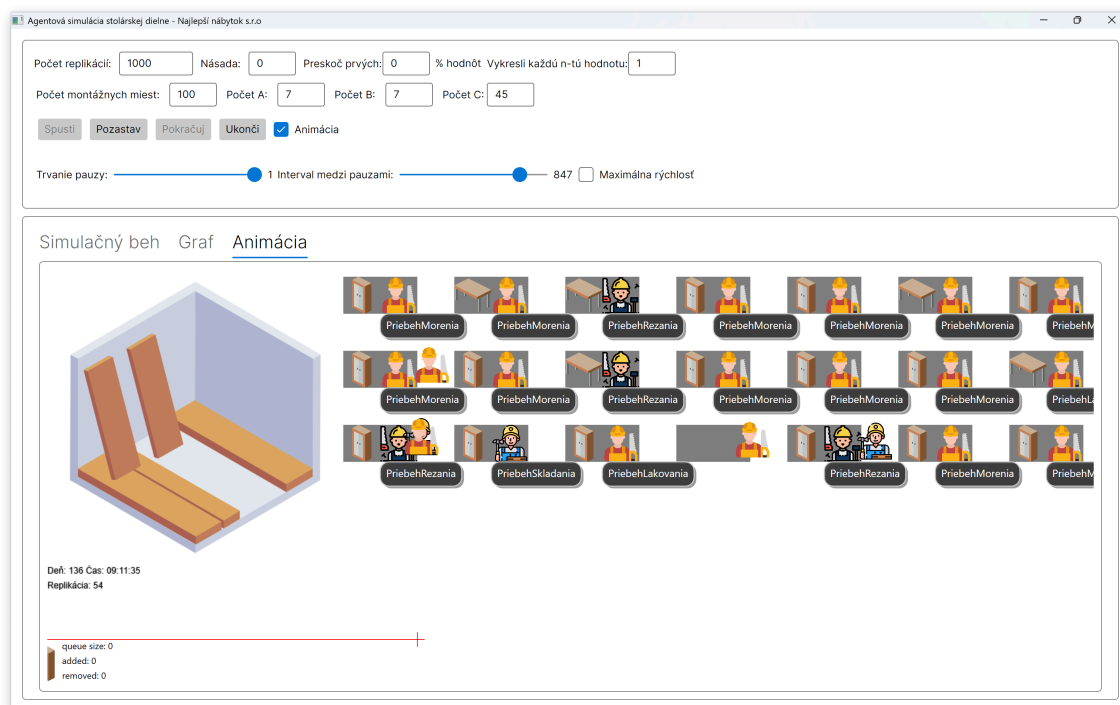
Montážne miesta sú zobrazené ako šedé obdĺžniky veľkosti postačujúcej pre obrázky tovaru a stolára. Ak stolár skončil na danom tovare, tak sa posunie doprava o nejaký počet pixelov, ak teda sa nepresúva k ďalšiemu tovaru.

Tovar je rozlíšený jeho typom.



Pozn. Obrázky sú zdarma na stiahnutie zo stránky [www.flaticon.com](http://www.flaticon.com).

Okno časti „Animácia“ vyzerá nasledovne:



Obrázok 6 Okno časti „Animácia“

## Agentový model

V nasledovnej kapitole je možné vidieť agentový model riešeného problému. Obsahuje 8 riadiacich agentov v hierarchickej štruktúre. Model bol vytvorený v programe ABABuilder. Súbor s dátami tohto programu boli priložené k práci. Jednotliví agenti spolu s ich popismi sú uvedené nižšie.

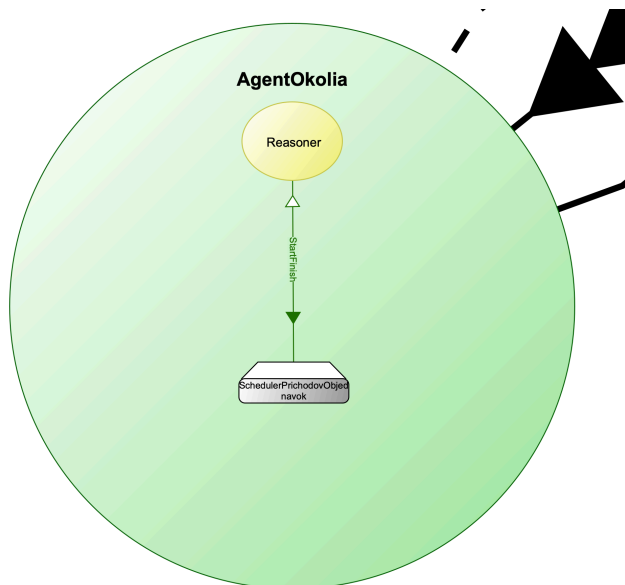
**Pozn. Ak nie je v rámci popisu uvedený obrázok vnútorného pohľadu agenta, agent neobsahuje žiadnych asistentov, a teda je tento pohľad nepotrebný uvádzať.**

### AgentModelu

Agent riadiaci celú simuláciu. Spúšťa príchody objednávok zaslaním správy **Init** Agentovi Okolia. Z tohto agenta dostáva správu (notice) o príchode novej objednávky **NovaObjednavka**. Túto správu potom posielajú ďalej Agentovi Stolárskej Dielne. Uchováva zoznam všetkých objednávok, ktoré prišli do systému. Od Agentu Stolárskej Dielne dostáva správu o dokončení jednotlivých produktov z objednávok v správe **ObjednavkaHotova** (pozn. Jedná sa o 1 tovar, nie celú objednávku, popis je trochu zavádzajúci), pričom potom sleduje, či sa objednávka skompletizovala celá, teda všetky jej produkty boli dokončené.

### AgentOkolia

Akonáhle dostane **Init** správu od Agentu Modelu, spustí generovanie príchodov objednávok pomocou asistenta **SchedulerPrichodovObjednavok**. Po uplynutí daného času pošle správu Agentovi Modelu **NovaObjednavka** s vygenerovanou objednávkou.



Obrázok 7 AgentOkolia vnútorný pohľad



### AgentStolarskejDielne

Tento agent prijíma správy o nových objednávkach od Agentu Modelu. Potom žiada od Agentu Montážnych Miest priradenie miesta jednotlivým produktom objednávky správou **PriradMiesto**. Ten mu po priradení pošle naspäť správu s prideleným miestom a daným produktom v správe **ZacniPracu**. Túto prácu prepošle ďalej Agentovi Stolárov pomocou správy **ZacniPracu**. Ak už je práca na nejakom produkte hotová, dostane správu od Agentu Stolárov **PracaHotova** a pošle Agentovi Montážnych Miest správu o uvoľnení montážneho miesta správou **UvolniMiesto**.

### AgentMontaznychMiest

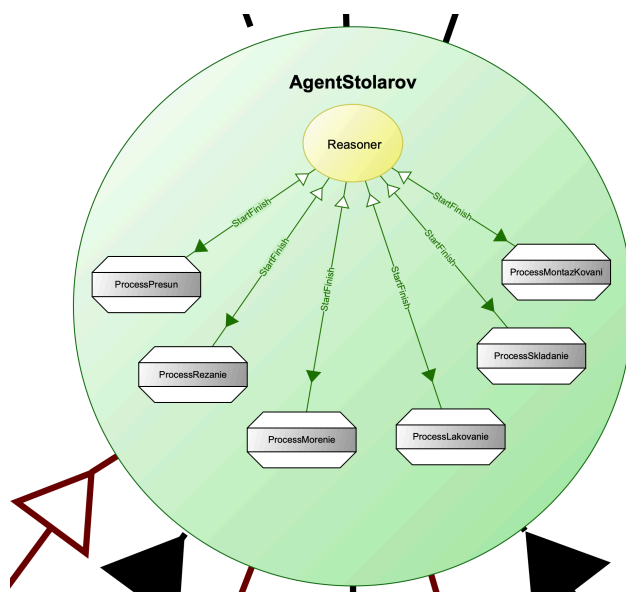
Agent má za úlohu prideľovať voľné montážne miesta pre jednotlivé produkty objednávok. Obsahuje FIFO rad nepriradených tovarov.

### AgentStolarov

Po prijatí správy **ZacniPracu** začne pre daný produkt technologický proces od rezania, cez morenie, lakovanie až po skladanie (prípadne montáž kovaní). Jednotlivých voľných stolárov si žiada od agentov stolárov (AgentAStolár, AgentBStolár, AgentCStolár) pomocou správ **DajStolaraA**, **DajStolaraB**, **DajStolaraC**. Jednotlivé technologické kroky sú vykonávané v rámci jeho asistentov. Teda obsahuje nasledovných asistentov:

- **ProcessPresun** – pre presun stolárov na správne miesto,
- **ProcessRezanie** – vykonáva stolár typu A,
- **ProcessMorenie** – vykonáva stolár typu C,
- **ProcessLakovanie** – vykonáva stolár typu C,
- **ProcessSkladanie** – vykonáva stolár typu B a
- **ProcessMontazKovani** – vykonáva stolár typu C, alebo A.

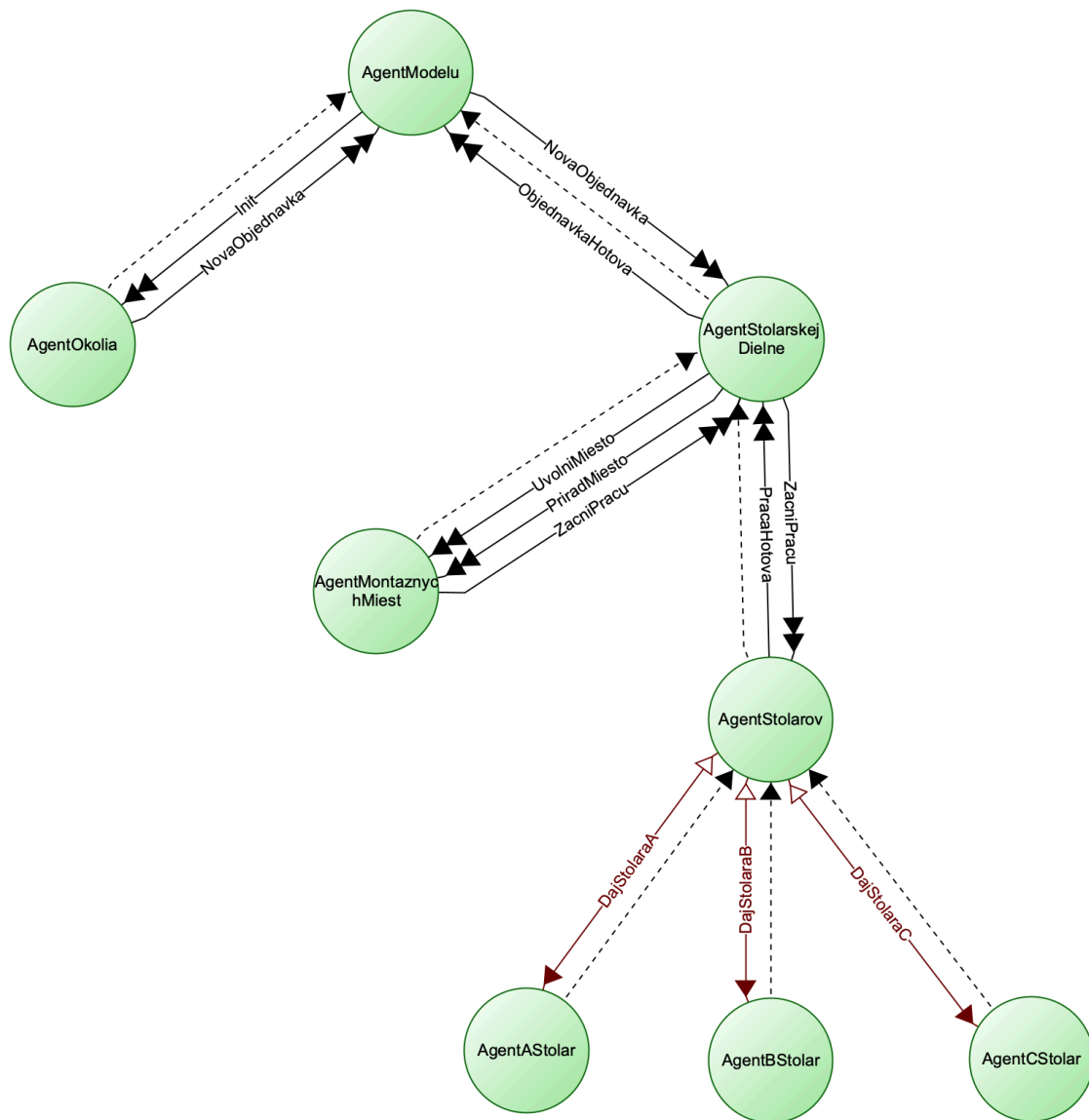
Po ukončení všetkých technologických krokov pre daný tovar, posiela správu Agentovi Stolárskej dielne o dokončenej práci **PracaHotova**. Logicky, obsahuje rady (FIFO), ako napr. rad na rezanie, morenie, lakovanie, a podobne.



Obrázok 8 AgentStolarov vnútorný pohľad

### AgentAStolar, AgentBStolar, AgentCStolar

Agenti obsahujú zoznamy všetkých stolárov danej skupiny. Po prijatí požiadavky **DajStolara** pošlú ako odpoveď voľného stolára, alebo null.



Obrázok 9 Agentový model



## Experimenty vykonané s modelom

V tejto časti budú rozpísané jednotlivé experimenty, ktoré boli vykonané s modelom.

Najskôr boli „eyeballingom“ vykonané náhodné experimenty pomocou GUI na rôzne konfigurácie, ako napr. M1, A1, B1, C1, a pod. Pomocou nich bolo zhruba odhadnuté, koľko bude asi potrebných miest a stolárov aby sa dosiahol limit 32 hodín priemerného času objednávky v systéme. Tieto hodnoty boli približne okolo 55 miest a stolárov typu A:7, B:7, C:45.

Bolo zistené, že najviac na model má vplyv počet stolárov typu C a počet montážnych miest. Vplyv stolárov typu A a B bol oveľa menší. Preto pomocou testovacieho programu boli nechané bežať náhodné konfigurácie v nasledovných intervaloch konfigurácií počtov entít:

- M – min: 49, max: 60,
- A – min: 5, max: 8,
- B – min: 5, max: 8,
- C – min: 35, max: 50,

z dôvodu, aby zbytočne negenerovalo konfigurácie typu 1, 1, 1, 1 alebo 100, 100, 100, 100, nakoľko chceme, aby sme splnili cieľ, ale aj aby sme **minimalizovali** počet stolárov a taktiež aj montážnych miest.

Nakoľko časy trvania simulácii trvali pomerne dlho, bol testovací program navrhnutý, aby automaticky ukladal záznamy o výsledkoch do CSV súborov. Tieto súbory sú súčasťou odovzdaného repozitára (*output/vyhovuje.csv*, *output/nevyhovuje.csv*). Taktiež obsahuje aj prehľadnú tabuľku v programe MS Excel, kde je možné vidieť všetky záznamy pokope, oddelené farbou a zoradené podľa počtu stolárov (*output/experimenty.xlsx*). Ako násada pre tieto experimenty bola použitá hodnota 0. V nástroji boli použité 3 zastavovacie kritériá:

- 500 replikácií,
- IS je široký 1% hore a 1% dole,
- konfigurácia trvá viac ako 15 minút.

*Pozn. Z tohto dôvodu (rôznych ukončovacích kritérií) nie je jednoznačne možné overiť pomocou GUI všetky výsledky s počtom replikácií = 500 a násadou 0.*

Zopár **úspešných** a **neúspešných** experimentov a ich výsledkov je možné vidieť v nasledovných tabuľkách:





Poradie experimentu	Vstupy simulácie				Čas	Priemerný čas objednávky v systéme	Priemerný počet nezačatých objednávok	Priemerná vyťaženosť skupiny [%]		
	M	A	B	C				A	B	C
26	58	6	5	38	30:51:23	111083.76	38.98	89.56	95.86	97.95
27	59	6	5	38	30:25:21	109521.98	37.83	89.63	95.85	97.99
34	54	6	5	39	31:40:21	114021.52	41.5	88.4	95.7	95.45
36	56	7	6	38	25:18:46	91126.91	27.87	78.51	80.15	98.03
38	54	6	7	38	27:45:14	99914.26	33.69	88.88	68.57	98.18
39	54	7	5	39	28:53:26	104006.93	35.76	78.2	95.82	95.15
40	51	6	6	39	28:47:40	103660.19	36.45	87.34	79.97	95.88
41	53	6	6	39	22:37:37	81457.43	23.84	88.37	80.45	96.38
42	54	6	5	40	29:12:45	105165.80	36.8	88.09	95.93	93.36
43	54	5	6	40	30:35:07	110107.79	40.27	98.18	79.68	93.91
44	55	5	6	40	30:06:59	108419.24	39.29	98.4	79.81	94.11
47	59	6	7	39	18:44:25	67465.80	15.07	89.34	69.19	96.62
48	59	5	7	40	29:14:02	105242.04	37.68	98.76	68.65	94.43
51	59	5	5	42	26:15:30	94530.08	31.03	97.81	96.24	90.18
52	54	7	7	39	19:07:20	68840.09	16.55	78.17	69.22	96.35
53	57	7	7	39	17:40:02	63602.60	12.94	78.41	69.19	96.3
54	58	7	7	39	17:58:27	64707.47	13.32	78.49	69.24	96.35
56	55	6	7	40	16:10:28	58228.41	11.09	88.25	69.32	94.6
57	57	6	7	40	15:37:47	56267.08	9.78	88.61	69.37	94.59
58	58	6	7	40	15:37:57	56277.07	9.65	88.75	69.37	94.59
59	54	6	6	41	15:47:08	56828.73	10.44	87.41	80.88	92.36

Pozn. IS pre veličiny je možné vidieť v output/experimenty.xlsx. Tabuľka je zoradená podľa súčtu stolárov, potom podľa počtu montážnych miest, potom podľa počtu stolárov typu C, typu B, typu A. Poradie experimentu obsahuje číslo experimentu do tabuľky output/experimenty.xlsx.



Poradie experimentu	Vstupy simulácie				Čas	Priemerný čas objednávky v systéme	Priemerný počet nezačatých objednávok	Priemerná vyťaženosť skupiny [%]		
	M	A	B	C				A	B	C
1	59	5	5	35	92:41:26	333686.05	162.51	97.81	89.38	99.52
2	54	5	6	35	94:46:48	341208.96	168.17	97.36	74.37	99.4
3	50	5	5	36	89:07:33	320853.70	157.49	96.18	89.8	97.48
23	51	5	7	37	66:00:27	237627.95	111.28	97.48	65.83	97.52
24	55	6	5	38	34:49:14	125354.52	47.51	88.8	95.29	97.44
25	57	6	5	38	32:00:11	115211.38	41.49	89.39	95.75	97.84
28	50	5	6	38	61:28:17	221297.34	102.29	96.66	77.18	95.56
29	51	5	6	38	56:00:14	201614.24	91.3	97.41	77.66	96.16
30	56	7	7	36	61:34:26	221666.21	99.65	75.93	66.12	99.49
31	55	7	6	37	39:51:39	143499.92	56.8	77.65	78.94	99.08
32	59	7	6	37	39:28:01	142081.59	54.67	77.76	78.98	99.13
33	51	6	5	39	47:20:18	170418.99	73.41	86.83	94.15	93.93
45	51	5	5	41	56:13:55	202435.33	91.54	96.06	92.99	89.05
46	55	5	5	41	35:19:37	127177.64	49.32	97.74	95.35	91.43
49	51	5	6	41	41:23:40	149020.16	62.09	96.77	78.94	90.84
50	54	5	5	42	38:01:24	136884.36	54.92	97.25	95.04	89.00
83	50	5	6	45	47:38:25	171505.93	74.69	95.86	78.29	82.09
84	51	5	5	46	56:20:08	202808.39	91.9	95.86	93.08	79.49
96	50	6	5	47	50:29:55	181795.17	79.97	85.97	93.72	77.64
97	52	5	5	48	48:14:02	173642.71	75.52	96.33	93.91	76.92
101	50	5	7	47	45:38:54	164334.06	70.91	95.93	67.35	78.94

Pozn. IS pre ostatné veličiny je možné vidieť v output/experimenty.xlsx. Tabuľka je zoradená podľa súčtu stolárov, potom podľa počtu montážnych miest, potom podľa počtu stolárov typu C, typu B, typu A. Poradie experimentu obsahuje číslo experimentu do tabuľky output/experimenty.xlsx.



## Vyhodnotenie simulačnej štúdie

Na základe cez 120 vykonaných experimentov, ako najlepšia konfigurácia vyšla pri nasledovných počtoch stolárov a montážnych miest:

- $M = 58$ ,
- $A = 6$ ,
- $B = 5$ ,
- $C = 38$ ,

nasledovne:

Veličina	Priemerná hodnota
Vyťaženie skupiny A	90 %
Vyťaženie skupiny B	96 %
Vyťaženie skupiny C	98 %
Počet nezačatých objednávok	38.98
Čas objednávky v systéme	111083.7669 <107322.144;114895.0023>

*Pozn. ostatné IS je možné vidieť v GUI, prípadne v Excel tabuľke.*

## Záver

Na základe vykonaných experimentov, môžeme prehlásiť, že bude stačiť nasledovné zloženie stolárov:  $A = 6$ ,  $B = 5$ ,  $C = 38$  a  $M = 58$  montážnych miest. Pri tomto počte stolárov a montážnych miest bolo dokázané, že **priemerný čas objednávky v systéme**, od príchodu po dokončenie nebude väčší ako 32 hodín, teda 4 pracovné dni.