

**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>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
MODUL DSAGENTSIMULATIONVISUALIZATION .....	8
<b>AGENTOVÝ MODEL.....</b>	<b>10</b>
AGENTMODELU .....	10
AGENTOKOLIA .....	10
AGENTSTOLARSKEJDIELNE .....	11
AGENTMONTAZNYCHMIEST .....	11
AGENTSTOLAROV.....	11
AGENTASTOLAR, AGENTBSTOLAR, AGENTCSTOLAR.....	12
<b>EXPERIMENTY VYKONANÉ S MODELOM .....</b>	<b>14</b>
<b>VYHODNOTENIE SIMULAČNEJ ŠTÚDIE .....</b>	<b>14</b>
<b>ZÁVER.....</b>	<b>14</b>
 Obrázok 3 GUI po spustení simulácie .....	9
Obrázok 4 AgentOkolia vnútorný pohľad .....	10
Obrázok 5 AgentStolarov vnútorný pohľad .....	12
Obrázok 6 Agentový model .....	13



## 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. **Objedávka 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, ktorí 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.**



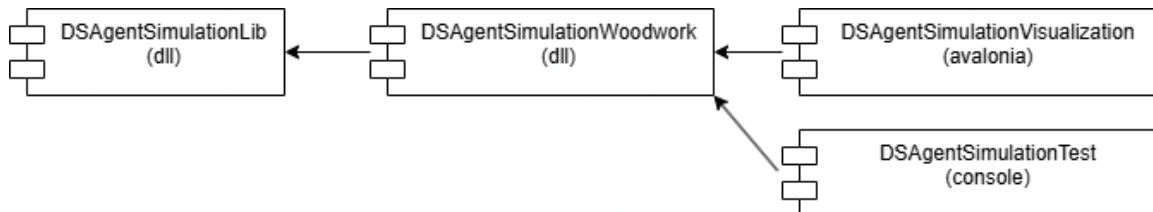
## Architektúra práce

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.



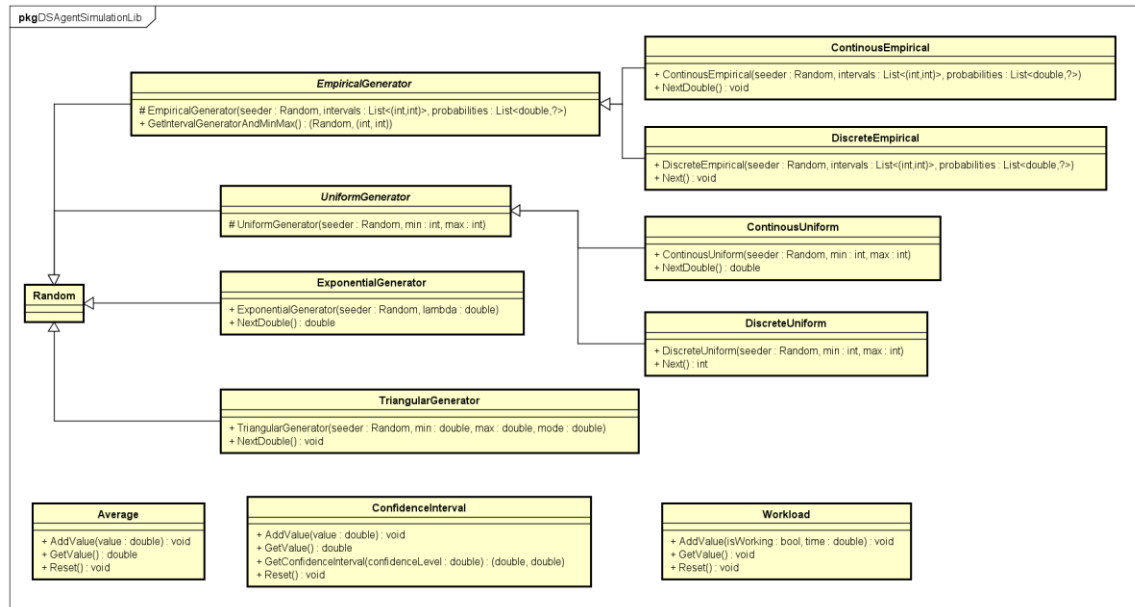
Obrázok 1 Diagram modulov

*Pozn. Okrem 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, podľa zadaných konštánt. Výsledky zapisuje prehľadne do formátu csv. Pri opakovanom spustení overuje, či už dané konfigurácie nevyriešil.*



## Modul DSAgentSimulationLib

Táto knižnica obsahuje triedy generátorov a štatistík.



Obrázok 2 UML diagram tried modulu DSAgentSimulationLib

### ExponentialGenerator

Trieda exponenciálneho generátora. Berie ako parameter lambdu, 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.

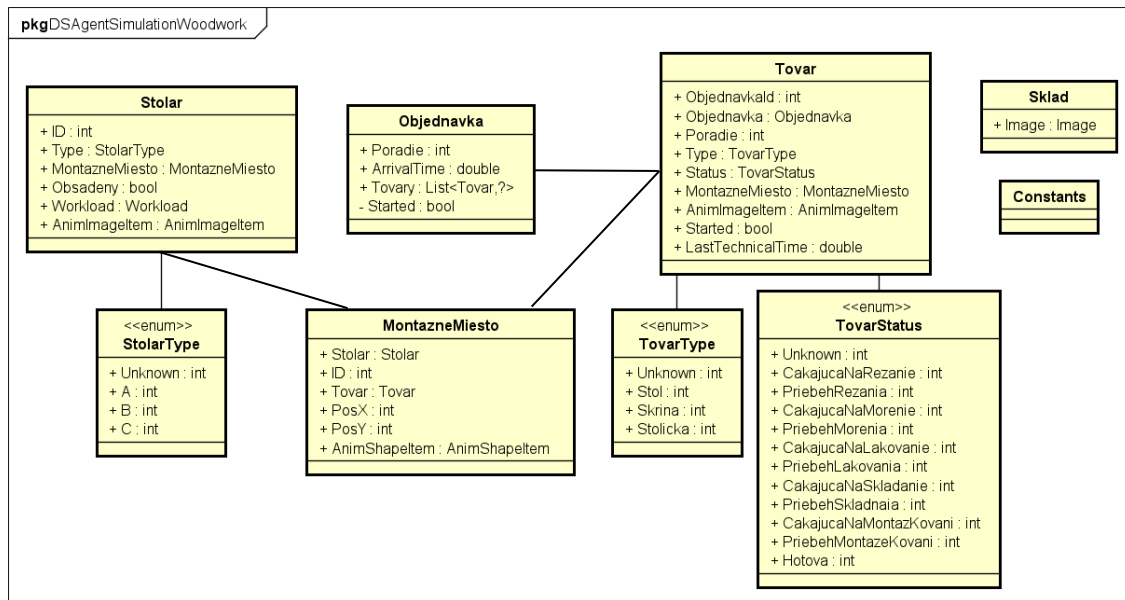


## Workload

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

## Modul DSAgentSimulationWoodwork

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



Obrázok 3 UML diagram tried modulu DSAgentSimulationWoodwork

### 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 troch častí – konfiguračná a manipulačná časť, časť stavu aktuálnej replikácie a posledná časť obsahujúca graf ustaľovania hodnoty priemernej doby objednávky v systéme.

V konfiguračnej časti je možné nastaviť tieto parametre:

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

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 zaškrtávacie políčko „Maximálna rýchlosť“.

V druhej časti okna je možné vidieť priebežný stav aktuálnej replikácie. Je možné vidieť:

- aktuálny simulačný čas,
- aktuálny simulačný deň,
- dĺžky jednotlivých frontov,
- celkový počet objednávok,



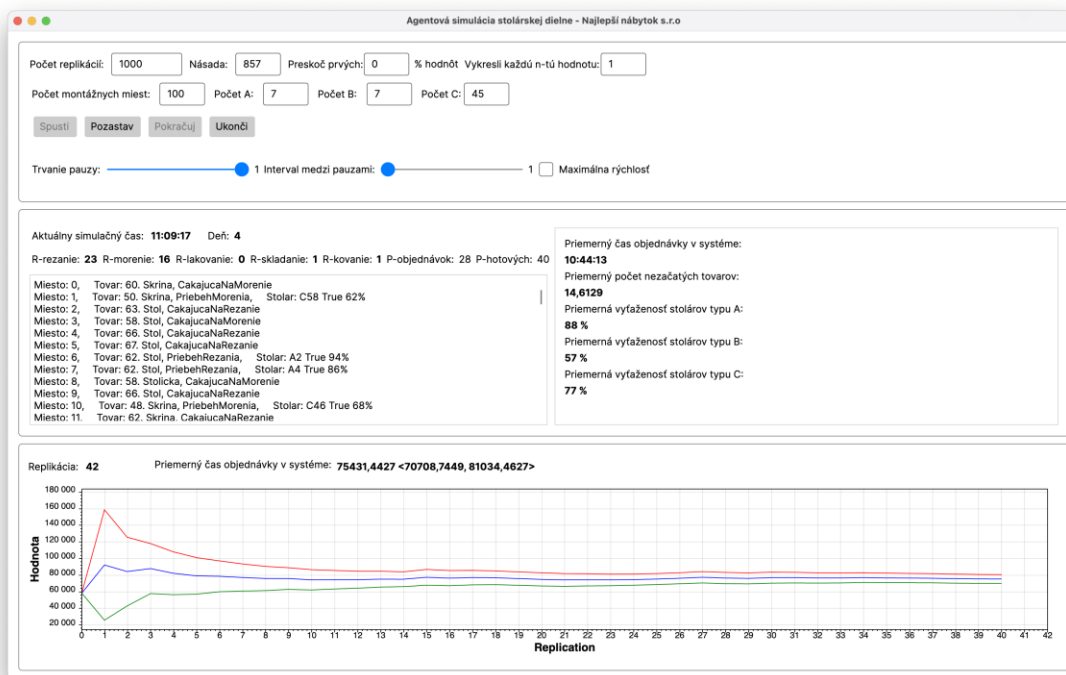


- celkový počet hotových objednávok,
- jednotlivé montážne stoly:
  - stav objednávky,
  - stav stolárov,
  - činnosti,
- a štatistiky priebežne aktualizované:
  - priemerný čas objednávky v systéme,
  - priemerný počet nezačatých objednávok,
  - priemerná vyťaženosť stolárov daných skupín (A, B, C).

V poslednej časti je možné vidieť graf ušľachovania hodnoty priemerného času objednávky v systéme spolu s aktuálnou hodnotou. Hodnota 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 vyzerá nasledovne:



Obrázok 4 GUI po spustení simulácie

## 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.

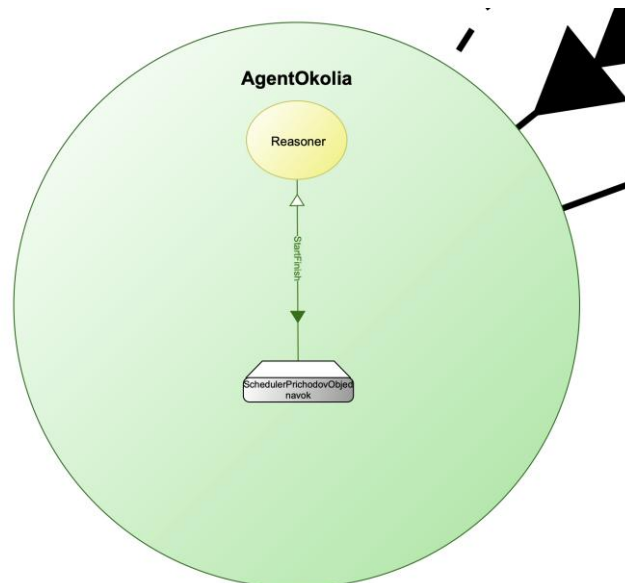
**Pozn. Ak nie je v rámci popisu uvedený obrázok vnútorného pohľadu agenta, agent neobsahuje žiadnych asistentov, a teda je tento pohľad nepotrebný uvádzať.**

### 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 5 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

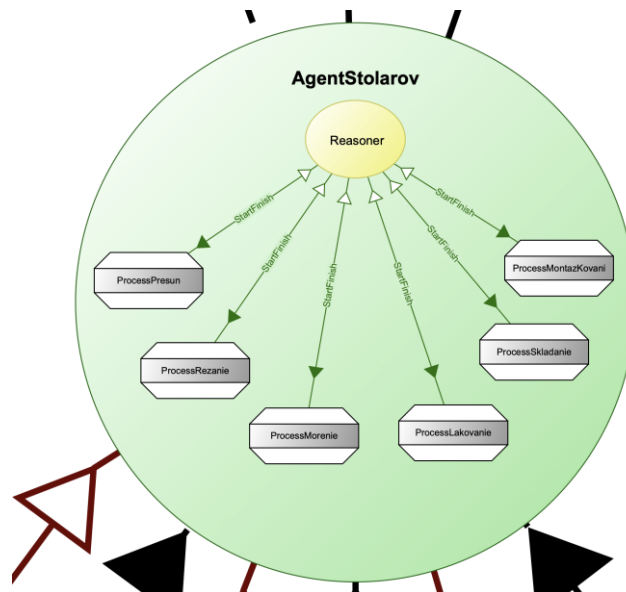
Agent má za úlohu prideľovať voľné montážne miesta pre jednotlivé produkty objednávok. Obsahuje FIFO rad nepriradených tovarov.

### 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 (AgentAStolar, AgentBStolar, AgentCStolar) pomocou správ **DajStolaraA**, **DajStolaraB**, **DajStolaraC**. Jednotlivé technologické kroky sú vykonávané vrámci 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.

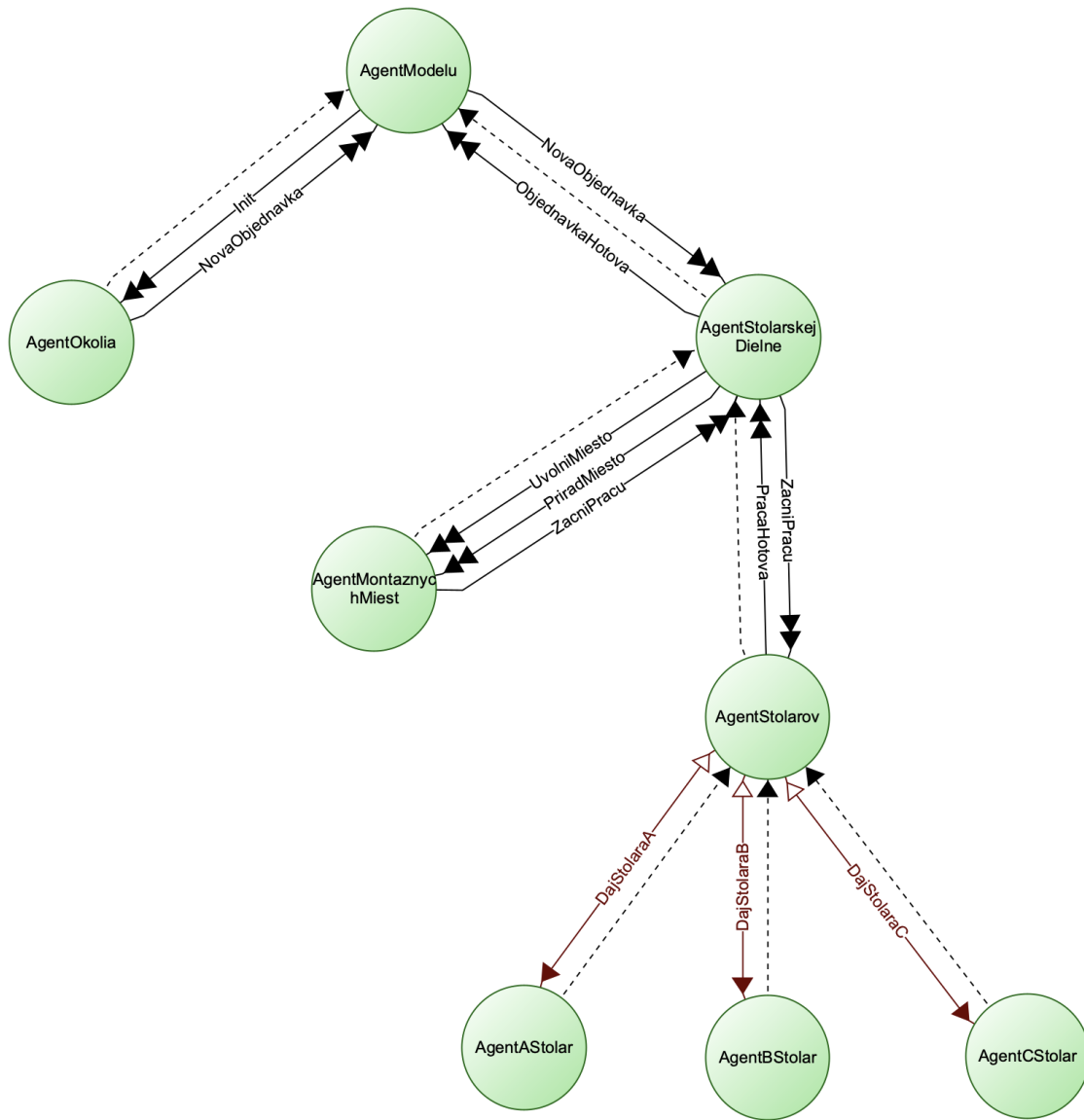
Po ukončení všetkých technologických krokov pre daný tovar, posiela správu Agentovi Stolárskej dielne o dokončenej práci **PracaHotova**. Logicky, obsahuje rady (FIFO), ako napr. rad na rezanie, morenie, lakovanie, a podobne.



Obrázok 6 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 7 Agentový model



## Experimenty vykonané s modelom

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

## Vyhodnotenie simulačnej štúdie

Po 500 replikáciách a hodnote násady 0, sú výsledky pri nasledovných počtoch stolárov a montážnych miest:

- $M = X$ ,
- $A = X$ ,
- $B = X$ ,
- $C = X$ ,

nasledovné:

Veličina	Priemerná hodnota
Vyťaženie skupiny A	80 %
Vyťaženie skupiny B	80 %
Vyťaženie skupiny C	92 %
Počet nezačatých objednávok	1,6968
Čas objednávky v systéme	47532,6355 <47468,0155;47597,2554>

Pozn. ostatné IS je možné vidieť v GUI.

## Záver

Na základe vykonaných experimentov, môžeme prehlásiť, že bude stačiť nasledovné zloženie stolárov:  $A = X$ ,  $B = X$ ,  $C = X$  a  $M = X$  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.