

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA RIADENIA A INFORMATIKY

Diskrétna simulácia

Semestrálna práca 2

Bc. David Kučera

Akademický rok 2024/25, letný semester



Obsah

ZADANIE A POŽIADAVKY PRÁCE	3
ARCHITEKTÚRA PRÁCE	5
MODUL DSSIMULATIONLIB	6
<i>SimCore – Monte Carlo</i>	6
<i>SimulationCore</i>	6
<i>SimulationEvent</i>	6
<i>SystemEvent</i>	6
<i>ExponentialGenerator</i>	7
<i>TriangularGenerator</i>	7
<i>Average</i>	7
<i>ConfidenceInterval</i>	7
<i>Workload</i>	7
MODUL DSSIMULATIONWOODWORK	8
<i>Stolaren</i>	8
<i>Stolar</i>	8
<i>Objednavka</i>	8
<i>MontazneMiesto</i>	8
MODUL DSSIMULATIONVISUALIZATION	9
UDALOSTNÝ DIAGRAM	11
VYHODNOTENIE SIMULAČNEJ ŠTÚDIE	12
ZÁVER	12
Obrázok 1 Diagram modulov.....	5
Obrázok 2 UML diagram tried modulu DSSimulationLib	6
Obrázok 3 Snímka obrazovky testu exponenciálneho generátora	7
Obrázok 4 Snímka obrazovky testu trojuholníkového generátora Chyba! Záložka nie je definovaná.	
Obrázok 5 UML diagram modulu DSSimulationWoodWork.....	8
Obrázok 6 GUI po spustení behu jednej replikácie	10
Obrázok 7 GUI po spustení 10 000 replikácií	10
Obrázok 8 Udalostný diagram	11



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, ktorá obsahuje vždy iba jeden kus nábytku, prevezme vždy stolár zo **skupiny A** a začne s jej prípravou. 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**. Takto vyrobený nábytok sa považuje za pripravený na expedíciu k zákazníkovi a objednávka je dokončená.

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, ktorého predchádzajúci technologický krok bol dokončený najskôr. V dielni sa nachádza dostatočný počet montážnych miest. Miesta sú číselne označené. Po prevzatí objednávky sa nábytok začne vyrábať na prvom voľnom pracovnom mieste s najnižším číslom.

Postup a požiadavky:

Navrhňte a implementujte **udalostne** orientovaný simulačný model stolárskej dielne *Najlepší nábytok, s.r.o*. Implementujte a využite vlastné univerzálne simulačné jadro a univerzálne generátory na generovanie potrebných rozdelení pravdepodobnosti.



S modelom vykonajte experimenty tak, aby ste boli schopní zodpovedne odporučiť taký **minimálny** počet stolárov jednotlivých skupín, 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 (v S2 má každá objednávka iba jediný kus) nebude vyšší ako 16 hodín (dva 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, stav personálu, stav a činnosť vykonávaná na jednotlivých montážnych miestach), 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.**

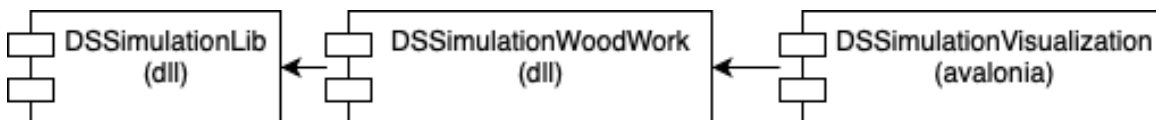
Architektúra práce

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

Prvým najnižším modulom je knižnica **DSSimulationLib**, kde je implementácia všeobecného jadra pre statické modelovanie metódou Monte Carlo, jadro pre udalostnú simuláciu využívajúce jadro Monte Carlo a vlastné flexibilné generátory pre spojité a diskrétne empirické a rovnomerné rozdelenia. Okrem nich je implementovaný aj generátor exponenciálneho a trojuholníkového rozdelenia. *Pozn. Funkčnosť všetkých generátorov bola riadne overená v externej aplikácii – InputAnalyzer.*

Ďalším modulom je modul **DSSimulationWoodWork**, ktorý obsahuje jadro aplikácie. Využíva modul DSSimulationLib a vykonáva nad ním operácie pre beh udalostnej simulácie. Obsahuje priamu implementáciu riešeného problému stolárne, teda jej udalosti a náväznosti.

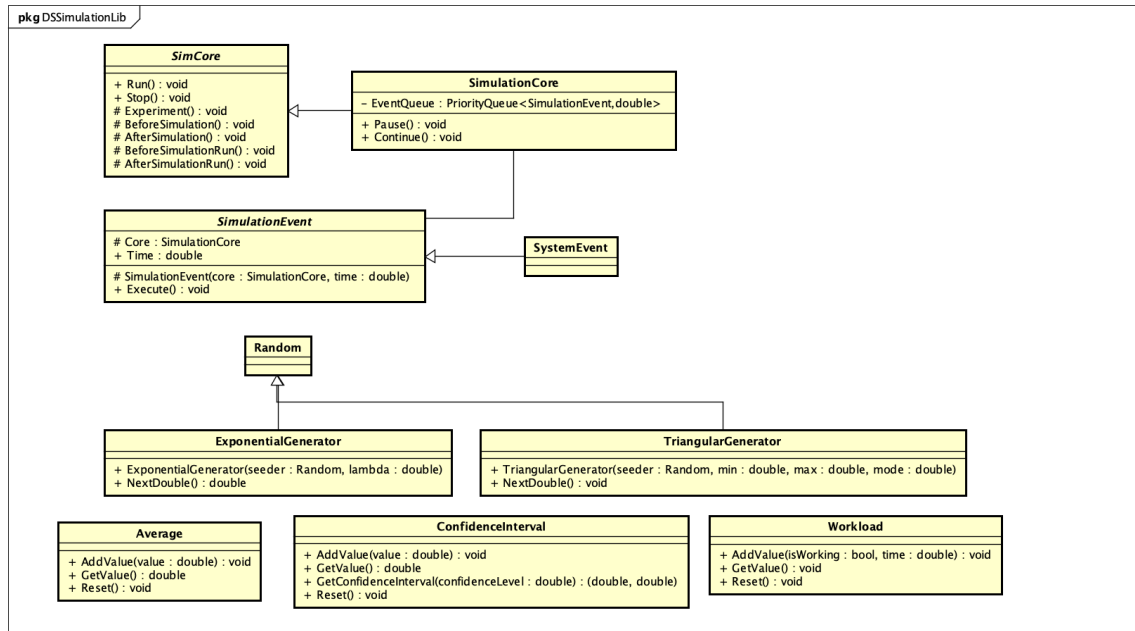
Posledným najvyšším modulom je **DSSimulationVisualization**, ktorý obsahuje GUI rozhranie pre prácu s modulom DSSimulationWoodWork, ktoré je implementované vo frameworku Avalonia (<https://avaloniaui.net>) – umožňuje spustenie na viacerých OS – Windows, macOS, Linux.



Obrázok 1 Diagram modulov

Modul DSSimulationLib

Táto knižnica obsahuje triedy generátorov, štatistík a simulačného jadra Monte Carlo a simulačné jadro udalostnej simulácie.



Obrázok 2 UML diagram tried modulu DSSimulationLib

SimCore – Monte Carlo

Trieda obsahuje všeobecné simulačné jadro Monte Carlo metódy spolu so všetkými potrebnými metódami. Vykonáva n replikácii, ak nie je predčasne pozastavená.

SimulationCore

Potomok triedy SimCore, obsahuje potrebné náležitosti udalostného simulačného jadra. Dá sa pozastaviť a pokračovať vo vykonávaní. Obsahuje kalendár udalostí, z ktorého sa vyberajú a vykonávajú udalosti.

SimulationEvent

Trieda pre udalosti, ktoré budú implementované v udalostnej simulácii. Má referenciu na hlavné udalostné jadro a čas vykonania udalosti. Obsahuje jedinú metódu Execute, ktorá vykoná danú udalosť. Tá sa prekrýva vo všetkých potomkoch.

SystemEvent

Potomok triedy SimulationEvent. Používa sa pre spomalenie simulácie v prípade sledovania simulácie počas jednej replikácie. Plánuje sama seba každú časovú jednotku – interval.



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.

Average

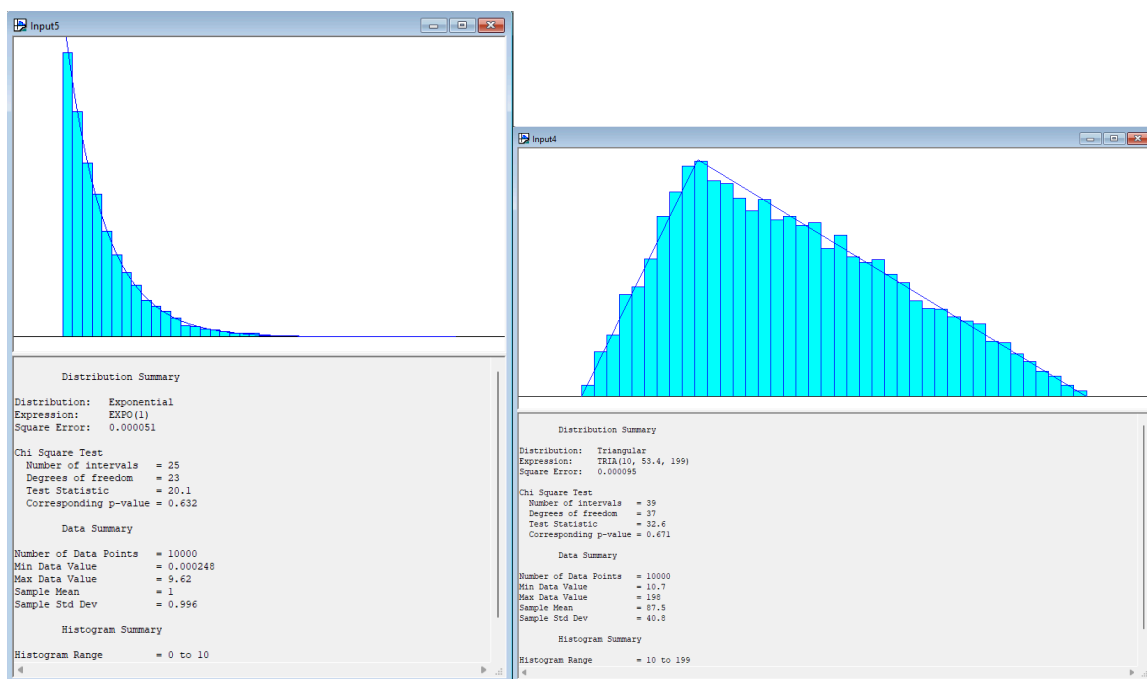
Trieda pre priebežný výpočet priemeru nejakej sledovanej veličiny.

ConfidenceInterval

Trieda pre priebežný výpočet intervalu spoľahlivosti nejakej sledovanej veličiny.

Workload

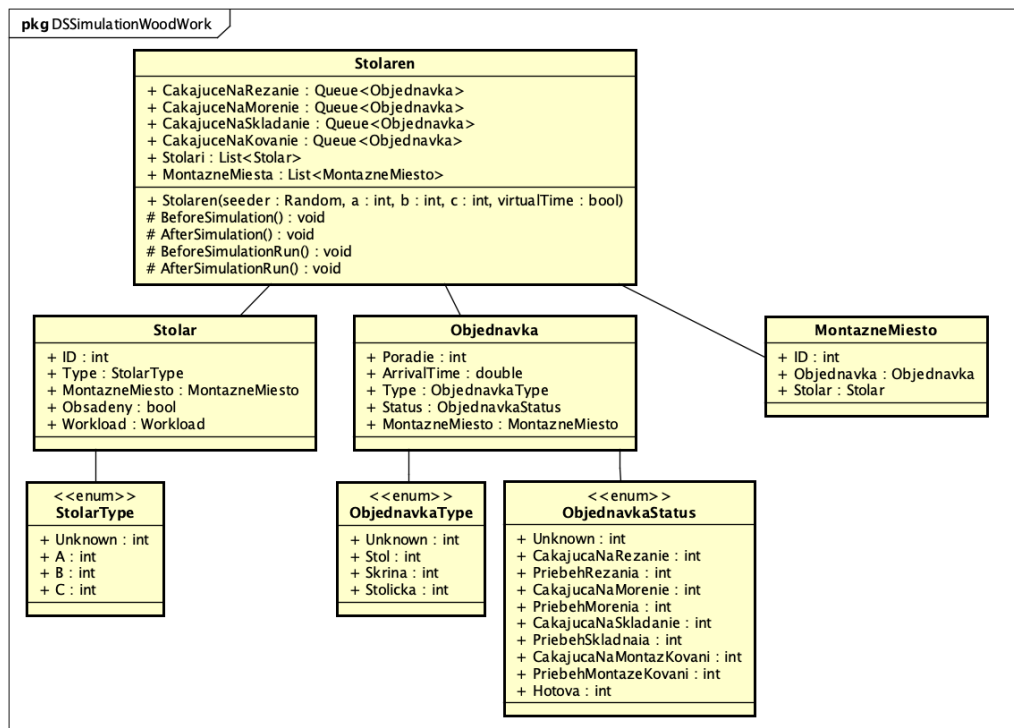
Trieda pre priebežný výpočet vyťaženia pracovníka. Vyťaženosť sa berie ako podiel aktívnej práce ku celkovému času v práci.



Obrázok 3 Snímky obrazovky testov generátorov

Modul DSSimulationWoodWork

Tento modul obsahuje triedu reprezentujúcu „jadro“ aplikácie, ktoré sa využíva v GUI. Trieda obsahuje metódy na štart experimentov, zastavenie vykonávania experimentov a obsahuje mechanizmy (eventy) pre poslanie priebežných výsledkov experimentov na GUI.



Obrázok 4 UML diagram modulu DSSimulationWoodWork

Stolareň

Trieda reprezentuje stolárňu a obsahuje jadro aplikácie. Obsahuje všetky potrebné štatistiky, fronty, zoznamy miest, stolárov. Prekrýva metódy simulačného udalostného jadra. Obsahuje mechanizmy (eventy) pre posielanie priebežne dát na GUI.

Stolar

Trieda reprezentujúca stolára. Obsahuje potrebné parametre, ktoré je nutné v simulácii sledovať a priebežne aktualizovať.

Objednavka

Trieda reprezentujúca objednávku. Obsahuje potrebné parametre, ktoré je nutné v simulácii sledovať a priebežne aktualizovať.

MontazneMiesto

Trieda reprezentujúca montážne miesto. Obsahuje potrebné parametre, ktoré je nutné v simulácii sledovať a priebežne aktualizovať.



Modul DSSimulationVisualization

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 jednej replikácie a posledná časť určená pre väčší počet replikácií, 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.

Taktiež sa v tejto časti nachádzajú tlačidlá pre spustenie, pozastavenie, pokračovanie a zastavenie simulácie. Taktiež tu je možnosť zrýchliť simuláciu pomocou dvoch tlačidiel – spomaľ a zrýchli. Tieto tlačidlá je možné využiť len pri jednej replikácii. Ak chceme replikácií viac, musíme použiť checkbox „Maximálna rýchlosť“, ktorý nám simuláciu nebude spomaľovať. V opačnom prípade nám to pôjde pomaly (1s simulácie = 1s reálneho času).

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

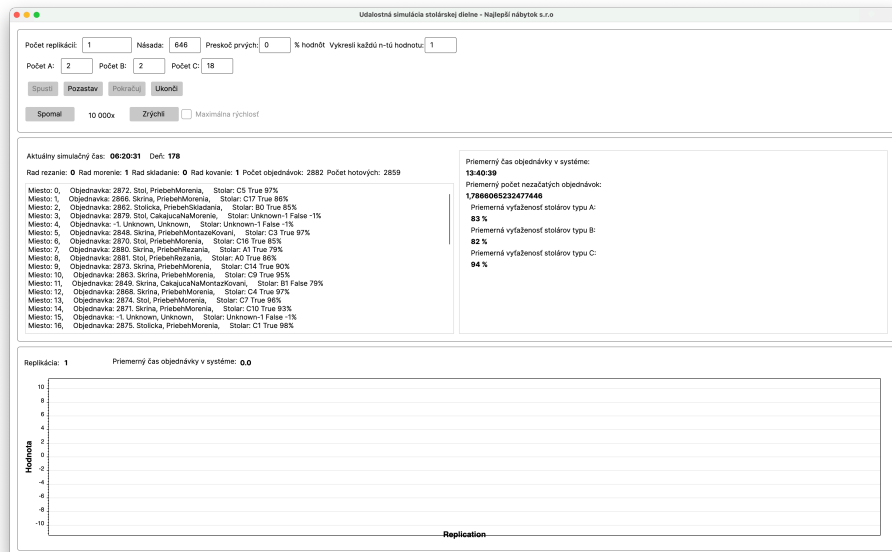
- aktuálny simulačný čas,
- aktuálny simulačný deň,
- dĺžky jednotlivých frontov,
- celkový počet objednávok,
- celkový počet hotových objednávok,
- jednotlivé montážne stoly:
 - stav objednávky,
 - stav stolárov,
 - činnosti,
- a štatistiky priebežne aktualizované:
 - priemerný čas objednávky v systéme,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

V poslednej časti je možné vidieť pri väčšom počte replikácii graf ustaľovania 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 vyzerať nasledovne:



Obrázok 5 GUI po spustení behu jednej replikácie

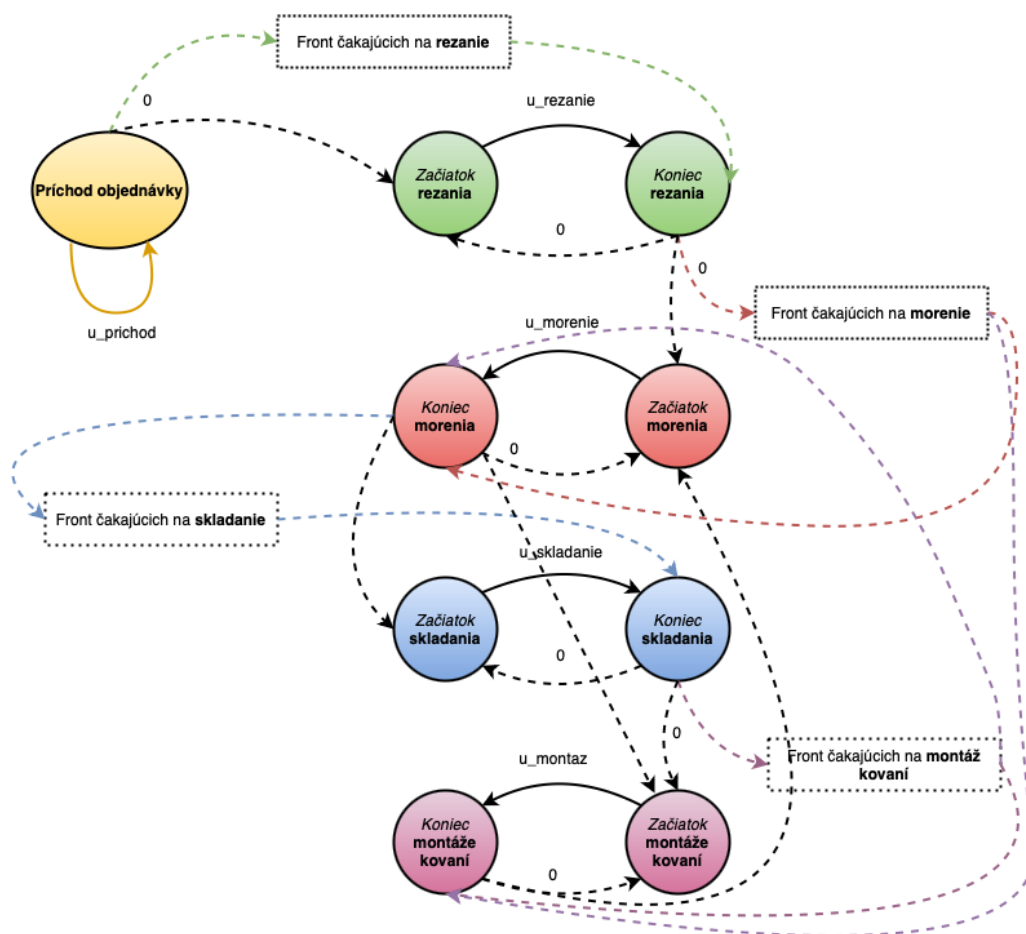
Okno po spustení viac replikácií:



Obrázok 6 GUI po spustení 10 000 replikácií

Udalostný diagram

Na nasledovnom obrázku je možné vidieť udalostný diagram riešeného problému. Obsahuje 4 FIFO fronty a 9 aktivít-udalostí. Plné čiary reprezentujú isté naplánovanie udalosti, čiarkované čiary reprezentujú možné naplánovanie udalostí pri splnení istých podmienok. Nad čiarami je možné vidieť čas trvania – buď 0, alebo $u_nazovUdalosti$. Dôležité je, aby stolári typu C mali prednejšie montáž kovaní pre skrine, ako morenie ostatných objednávok. Táto situácia je riadne zobrazená v diagrame.



Obrázok 7 Udalostný diagram



Vyhodnotenie simulačnej štúdie

Po 10 000 replikáciách a hodnote násady 0, sú výsledky pri nasledovných počtoch stolárov:

- A = 2,
- B = 2,
- C = 18,

nasledovné:

Veličina	Priemerná hodnota	95% interval spoľahlivosti
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>

Záver

Na základe vykonaných experimentov, môžeme prehlásiť, že bude stačiť nasledovné zloženie stolárov: A = 2, B = 2, C = 18. Pri tomto počte stolárov bolo dokázané, že **priemerný čas objednávky v systéme**, od príchodu po dokončenie nebude väčší ako 16 hodín.