

# Simulácia vakcinačného centra

## Agentovo-orientovaná simulácia

Andrej Rábek  
5ZIS12

Semestrálna práca 3

Fakulta riadenia a informatiky  
Žilinská univerzita v Žiline  
7. mája 2021

# Obsah

<b>1</b>	<b>Zadanie</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Architektúra agentového modelu</b>	<b>7</b>
2.1	Agenti . . . . .	8
2.1.1	AgentModel . . . . .	8
2.1.2	AgentSurrounding . . . . .	9
2.1.3	AgentCentrum . . . . .	10
2.1.4	AgentRegistration . . . . .	11
2.1.5	AgentExamination . . . . .	12
2.1.6	AgentVaccination . . . . .	13
2.1.7	AgentColdStorage . . . . .	14
2.1.8	AgentWaitingRoom . . . . .	15
2.1.9	AgentCanteen . . . . .	16
2.2	Entity . . . . .	17
2.2.1	EntityPatient . . . . .	17
2.2.2	VaccineCentrumEntity . . . . .	17
2.2.3	Pool . . . . .	17
2.3	Správy . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Validácia</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Experimenty</b>	<b>19</b>
4.1	Experiment: Súčasný stav . . . . .	19
4.2	Experiment: Súčasný stav so skoršími príchodmi pacientov . . . . .	20
4.3	Experiment: 1700 pacientov za deň . . . . .	21
4.4	Experiment: 1700 pacientov za deň so skoršími príchodmi . . . . .	24



# 1 Zadanie

Pre existujúce vakcinačné centrum, je potrebné vypracovať simulačnú štúdiu a preveriť potrebu jeho budúceho rozšírenia vzhľadom na očakávané zvýšenie dodávok vakcín.

Do vakcinačného centra prichádzajú vopred objednaní ľudia. Po príchode sa každý musí najskôr zaregistrovať. Osoba vstúpi do registračnej miestnosti a náhodne si vyberie jedného z voľných **administratívnych pracovníkov**. Ak žiadny pracovník nie je voľný, tak osoba čaká v rade (ľudia vytvárajú jediný rad a prvý v rade si vyberá z dostupných pracovníkov). **Administratívny pracovník** skontroluje doklad totožnosti a objednanie danej osoby na vakcináciu. Taktiež pomôže s vyplnením krátkého dotazníka.

Po skončení registrácie sa osoba presunie na lekárske vyšetrenia do vedľajšej miestnosti. Osoba si náhodne vyberie jedného z voľných **lekárov**. Ak žiadny lekár nie je voľný, tak osoba čaká v rade (ľudia vytvárajú jediný rad a prvý v rade si vyberá z dostupných lekárov). **Lekár** preberie s pacientom jeho zdravotný stav, poučí pacienta o rizikách očkovania, zaregistruje do systému vakcínu a jej šaržu, ktorá bude aplikovaná. Na konci podpíše pacient informovaný súhlas s vykonaním očkovania príslušnou vakcínou.

Následne sa osoba presunie na výkon očkovania do ďalšej miestnosti. Osoba si náhodne vyberie jednu z voľných **zdravotných sestier**. Ak žiadna sestra nie je voľná, tak osoba čaká v rade (ľudia vytvárajú jediný rad a prvý v rade si vyberá z dostupných sestier). **Zdravotná sestra** aplikuje očkovaciu látku.

Nakoniec sa osoba presunie do čakárne, kde zotrvá lekárom stanovený čas, pričom sa sleduje jej zdravotný stav.

**Zdravotné sestry** zabezpečujú očkovanie, ale aj prípravu očkovacej látky a jej natiahnutie do injekčných striekačiek. Každá sestra má k dispozícii miesto na uloženie **dvadsiatich striekačiek** s očkovacou látkou. V prípade, že niektorá sestra už nemá k dispozícii žiadnu injekčnú striekačku s pripravenou vakcínou prestane s očkovaním (pacienti k nej už neprichádzajú) a ide si pripravovať ďalšie očkovacie dávky. **Presunie sa do vedľajšej miestnosti** s chladiacim zariadením, kde si postupne naplní 20 injekčných striekačiek očkovacou látkou. Následne sa presunie naspäť do miestnosti, kde prebieha očkovanie a pokračuje v práci. Súčasne si môžu injekcie pripravovať **najviac 2 sestry**, ostatné sestry musia v tomto prípade počkať v rade.

Pracovníci si musia spraviť obednú prestávku, avšak aj v čase obedov musí vakcinačné centrum fungovať. Pre každú skupinu pracovníkov je vyhradený osobitný čas na obed. Pre administratívnych pracovníkov je stanovený čas od **11:00**, pre lekárov od **11:45** a pre sestry od **13:30**. Súčasne môže obedovať **najviac polovica** pracovníkov z danej skupiny. Keď príde čas obeda určený pre danú skupinu pracovníkov, tak sa najviac polovica z tých, ktorí nepracujú vyberie do jedálne. Ostatní pokračujú v práci. Vždy keď sa vráti nejaký pracovník z obeda môže odísť na obed ďalší pracovník. Teda v prípade, že pracovník skončí obsluhu nejakej osoby, ešte neobedoval a je čas väčší ako čas na obed môže sa presunúť na obed (stále musí byť dodržané pravidlo, že súčasne môže obedovať najviac polovica pracovníkov z danej skupiny).

Pre vypracovanie simulačnej štúdie sú k dispozícii nasledujúce informácie:

- Vakcinačné centrum pracuje od 8:00 do 17:00.

- Pacienti sú objednávaní po jednej minúte, pričom všetky termíny sú obsadené. Na jeden deň je teda objednaných 540 pacientov. Predpokladajme, že pacienti prichádzajú v čase na ktorý sú objednaní.
- Bolo zistené, že počet pacientov, ktorý sa denne nedostavia a nepodari sa ich nahradiť je možné modelovať pomocou rovnomerného diskrétného rozdelenia pravdepodobnosti na intervale  $\langle 5, 25 \rangle$ .
- Časová náročnosť základných operácií je nasledujúca:
  - Registráciu môžeme modelovať pomocou rovnomerného spojitého rozdelenia pravdepodobnosti na intervale  $\langle 140, 220 \rangle$  s.
  - Dobu presunu z miestnosti kde prebieha registrácia do miestnosti kde sa uskutoční lekárska prehliadka môžeme modelovať pomocou rovnomerného spojitého rozdelenia pravdepodobnosti na intervale  $\langle 40, 90 \rangle$  s.
  - Dobu potrebnú na lekárske vyšetrenie môžeme modelovať pomocou exponenciálneho rozdelenia pravdepodobnosti so strednou dobou obsluhy  $k = 260$  s.
  - Dobu presunu z miestnosti kde sa uskutočnila lekárska prehliadka do miestnosti kde sa uskutoční očkovanie môžeme modelovať pomocou rovnomerného spojitého rozdelenia pravdepodobnosti na intervale  $\langle 20, 45 \rangle$  s.
  - Trvanie výkonu očkovania osoby zdravotnou sestrou môžeme modelovať pomocou trojuholníkového rozdelenia pravdepodobnosti s parametrami  $min = 20$  s,  $max = 100$  s,  $modus = 75$  s (spojité rozdelenie).
  - Dobu presunu z miestnosti kde sa uskutočnilo očkovanie do čakárne môžeme modelovať pomocou rovnomerného spojitého rozdelenia pravdepodobnosti na intervale  $\langle 45, 110 \rangle$  s.
  - Lekári stanovia pre 95% osôb čas pobytu v čakárni na 15 minút a pre 5% osôb na 30 minút.
  - Dobu presunu z miestnosti kde sa uskutočnilo očkovanie do miestnosti určenej na prípravu očkovacej dávky alebo napäť môžeme modelovať pomocou rovnomerného spojitého rozdelenia pravdepodobnosti na intervale  $\langle 10, 18 \rangle$  s.
  - Dobu prípravy jednej očkovacej dávky môžeme modelovať pomocou trojuholníkového rozdelenia pravdepodobnosti s parametrami  $min = 6$  s,  $max = 40$  s,  $modus = 10$  s (spojité rozdelenie).
  - Dobu presunu do jedálne alebo napäť môžeme modelovať pomocou rovnomerného spojitého rozdelenia pravdepodobnosti na intervale  $\langle 70, 200 \rangle$  s.
  - Dobu potrebnú na zjedenie obeda môžeme modelovať pomocou trojuholníkového rozdelenia pravdepodobnosti s parametrami  $min = 5$  min,  $max = 30$  min,  $modus = 15$  min (spojité rozdelenie).
  - Všetky ostatné časy môžeme zanedbať.

Vami navrhnutý simulačný model musí sledovať aspoň tieto štatistiky:

- priemerný počet ľudí v rade na registráciu
- priemerný počet ľudí v rade na lekárske vyšetrenie
- priemerný počet ľudí v rade na aplikáciu vakcíny

- priemerný počet ľudí v čakárni
- priemerný čas strávený čakaním na registráciu
- priemerný čas strávený čakaním na lekárske vyšetrenie
- priemerný čas strávený čakaním na aplikáciu vakcíny
- priemerné vyťaženie administratívnych pracovníkov
- priemerné vyťaženie lekárov
- priemerné vyťaženie zdravotných sestier
- priemerný počet sestier čakajúcich v rade na prípravu striekačiek

Dobu obedu do vyťaženia pracovníkov nepočítame. Pre štatistiky určite aj **95% intervaly spoľahlivosti**.

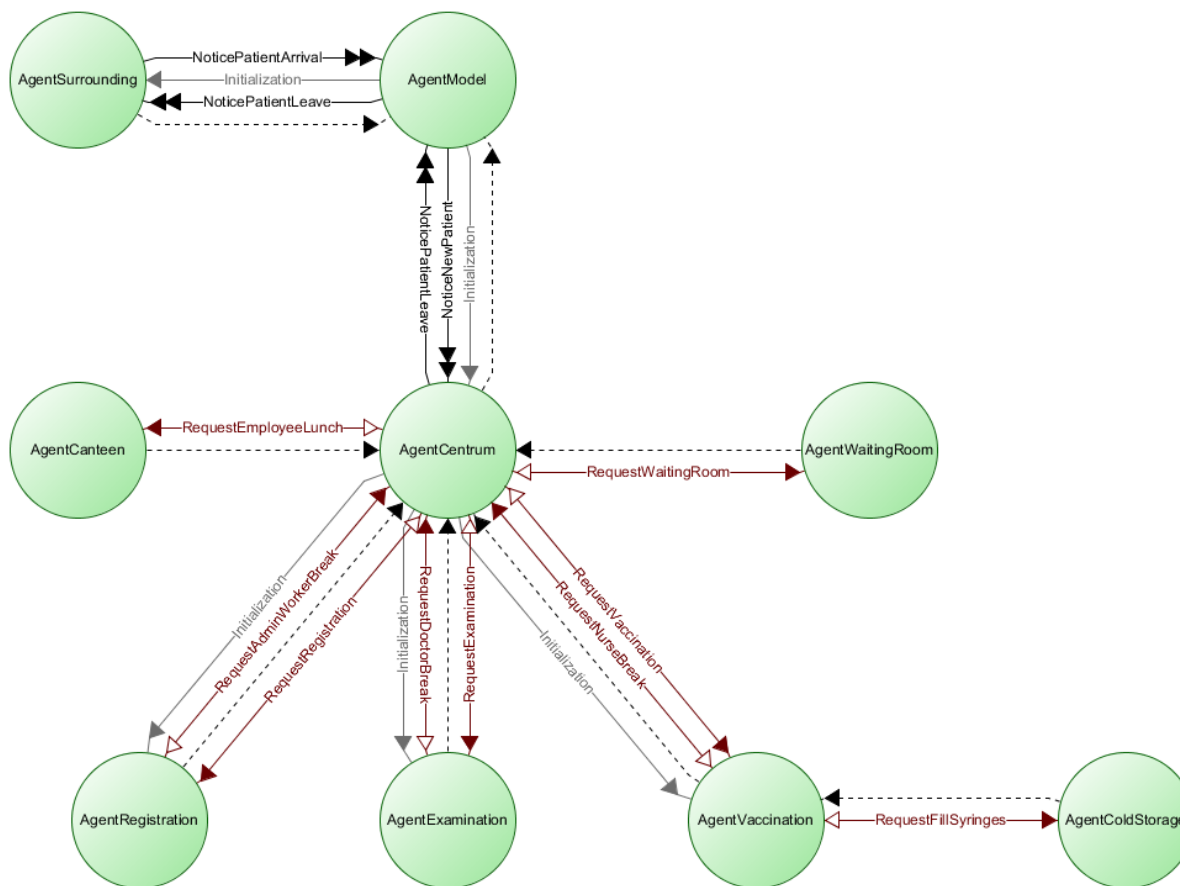
Experimenty:

1. V súčasnosti pracuje vo vakcinačnom centre 5 administratívnych pracovníkov, 6 lekárov a 3 zdravotné sestry. Namodelujte súčasné fungovanie centra.
2. Upravte model tak, aby vakcinačné centrum obsluhovalo denne **1700 ľudí**. Stanovte také počty jednotlivých typov personálu, aby priemerné **vyťaženie** personálu neprekračovalo **70%** a **sumárna priemerná doba čakania** osoby na jednotlivé úkony nepresiahla **15 minút**. Graficky (na grafe v programe) dokumentujte závislosť priemerného počtu osôb čakajúcich na lekárske vyšetrenie na počte lekárov (počet replikácií potrebných pre pridanie jedného bodu do grafu ako aj minimálny a maximálny počet lekárov si nastaví užívateľ).
3. Niektorí ľudia prichádzajú na očkovanie z väčšej vzdialenosti a najmä z tohto dôvodu príde časť osôb skôr ako je objednaná. Bolo zistené, že iba **10% osôb** sa dostaví na očkovanie **v presne stanovenom čase**. Ostatní sa dostavia vopred pričom čas o koľko skôr prídu môžeme modelovať pomocou spojitého empirického rozdelenia pravdepodobnosti:
  - $\langle 1, 20 \rangle$  min;  $p = 0.3$
  - $\langle 20, 60 \rangle$  min;  $p = 0.4$
  - $\langle 60, 80 \rangle$  min;  $p = 0.2$
  - $\langle 80, 240 \rangle$  min;  $p = 0.1$

Navrhňte a implementujte **agentovo orientovaný model**, 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. V priebehu simulácie vypisujte všetky sledované veličiny, stav systému (aktuálne dĺžky frontov, počet pripravených striekačiek pre každú sestru, stavy jednotlivých osôb vrátane personálu), priebežné štatistiky atď.

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 zdokumentované výsledky všetkých realizovaných experimentov. S modelom vykonajte experimenty tak, aby ste boli schopní zodpovedne vyhodnotiť správanie modelovaného systému. Všetky závery urobte na základe štatisticky vyhodnotených replikácií. Experiment č.3 vyhodnoťte v kombinácii s experimentom č.1 a č.2.

## 2 Architektúra agentového modelu



Obr. 1: Návrh agentovej architektúry vytvorený pomocou nástroja ABABuilder.

### Hierarchická reprezentácia agentov

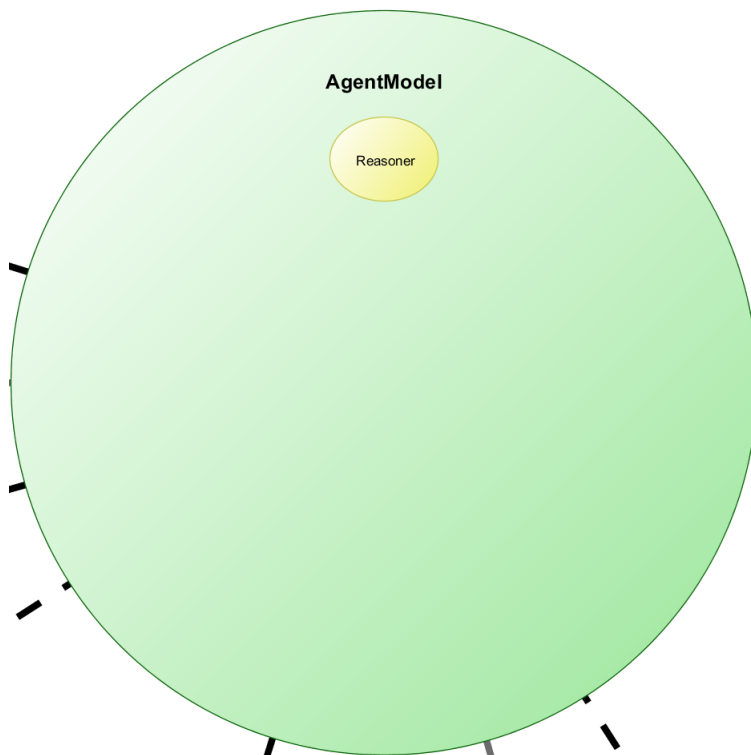
- AgentModel (boss)
  - ▷ AgentSurrounding
  - ▷ AgentCentrum
    - ▷ AgentRegistration
    - ▷ AgentExamination
    - ▷ AgentVaccination
      - ▷ AgentColdStorage
    - ▷ AgentWaitingRoom
    - ▷ AgentCanteen



## 2.1 Agenti

### 2.1.1 AgentModel

Agent modelu reprezentuje najvyššieho agenta (boss agent) v agentovej štruktúre. Zabezpečuje inicializáciu agenta okolia (**AgentSurrounding**) a agenta centra (**AgentCentrum**). Okrem toho iba preposiela správy medzi agentom okolia a agentom centra o príchode (odchode) pacienta.



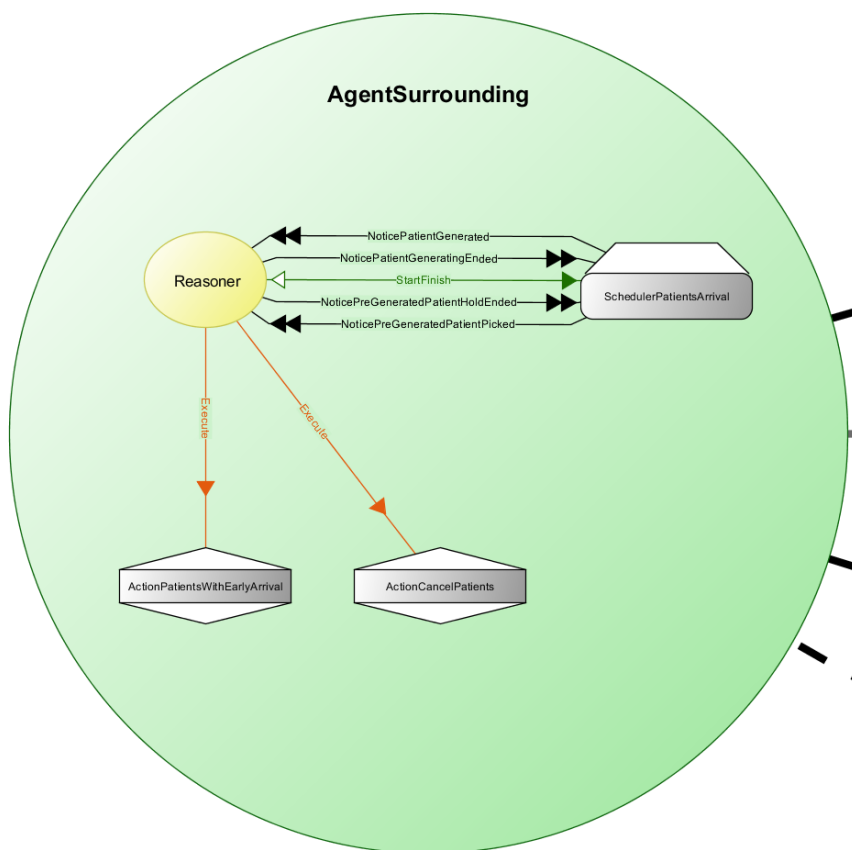
Obr. 2: Vnútoraná štruktúra agenta modelu.

### 2.1.2 AgentSurrounding

Agent okolia má na starosť generovanie prichádzajúcich pacientov pomocou plánovača **SchedulerPatientsArrival**. Akcia **ActionCancelPatients** vyberie z objednaných pacientov tých, ktorý sa vakcinácie nemôžu zúčastniť. Pre účely experimentu č. 3 existuje ešte akcia **ActionPatientsWithEarlyArrival**, ktorá vygeneruje všetkých objednaných pacientov už aj s so skorším časom príchodu ako je ich plánovaný. Takto vygenerovaní pacienti sa vložia do prioritného frontu s prioritou času ich príchodu do systému. Ten zabezpečuje takisto plánovač **SchedulerPatientsArrival**.

Agent okolia taktiež ukončuje replikáciu za podmienky, že aktuálny simulačný čas je väčší než doba otvorenia centra a zároveň všetci objednaní a prichádzajú pacienti boli zaočkovaní.

Obsahuje náhodné generátory pre potreby rušenia pacientov a ich prípadných skorších príchodov.

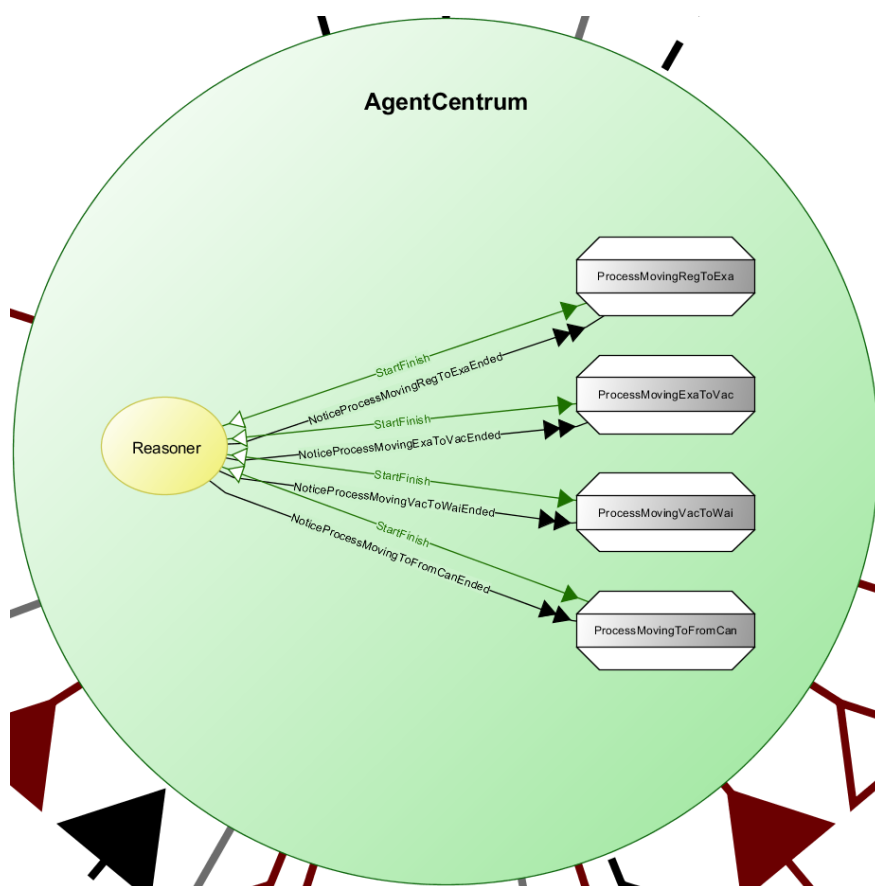


Obr. 3: Vnútroštruktúra agenta okolia.

### 2.1.3 AgentCentrum

Agent centra zabezpečuje prechod pacienta (zamestnancov) systémom pomocou správ typu *Request-Response* jednotlivým miestnostiam so zamestnancami vakcinačného centra. Je sprostredkovateľom presunu zamestnancov do jedálne na obednú prestávku. Okrem toho zabezpečuje aj ich presuny medzi miestnosťami, na čo využíva okamžitých asistentov **ProcessMovingRegToExa**, **ProcessMovingExaToVac** a **ProcessMovingVacToWai**. Akcia **ProcessMovingToFromCan** modeluje presun zamestnancov vakcinačného centra do a z jedálne.

Udržiava aktuálne informácie o presúvajúcich sa entitách (pacienti aj zamestnanci) a obsahuje náhodné generátory pre potreby modelovania presunov centrom.



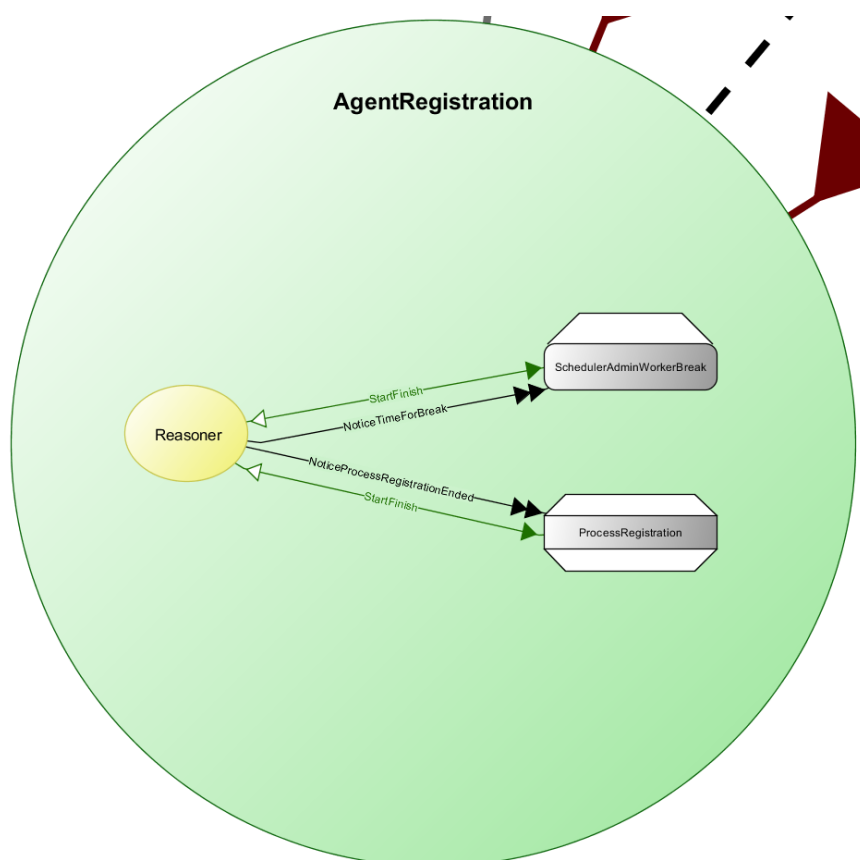
Obr. 4: Vnútroštruktúra agenta centra.

### 2.1.4 AgentRegistration

Agent registrácie predstavuje miestnosť registrácie s administratívnymi pracovníkmi. Je zodpovedný za vykonanie registrácie pacienta - proces **ProcessRegistration** a naplánovanie obednej prestávky pre pracovníkov - plánovač **SchedulerAdminWorkerBreak**.

Obsahuje taktiež rad, do ktorého sa zaraďujú pacienti, pre ktorých momentálne nie je voľný administratívny pracovník a udržiava si štatistiky o dĺžke radu pred registráciou a o dĺžke čakania v ňom.

Poskytuje náhodný generátor pre náhodné zvolenie voľného pracovníka. Generátor pre dĺžku registrácie obsahuje už samotná entita pracovník.



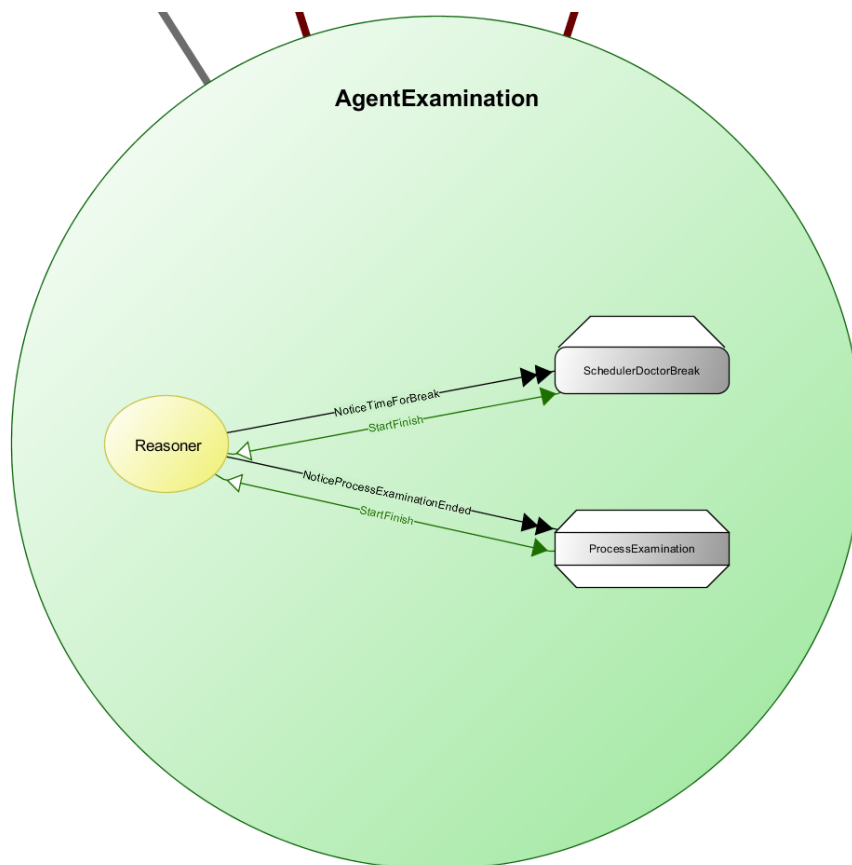
Obr. 5: Vnútorňa štruktúra agenta registrácie.

### 2.1.5 AgentExamination

Agent vyšetrenia reprezentuje miestnosť pre lekárske vyšetrenie doktorom. Je zodpovedný za vykonanie vyšetrenia pacienta a určenia dĺžky pobytu v čakárni - proces **ProcessExamination** a naplánovanie obednej prestávky pre doktorov - plánovač **SchedulerDoctorBreak**.

Obsahuje taktiež rad, do ktorého sa zaraďujú pacienti, pre ktorých momentálne nie je voľný doktor a udržiava si štatistiky o dĺžke radu pred vyšetrením a o dĺžke čakania v ňom.

Poskytuje náhodný generátor pre náhodné zvolenie voľného doktora. Generátor pre dĺžku vyšetrenia a voľby o dĺžke zotrvania v čakárni obsahuje už samotná entita doktora.



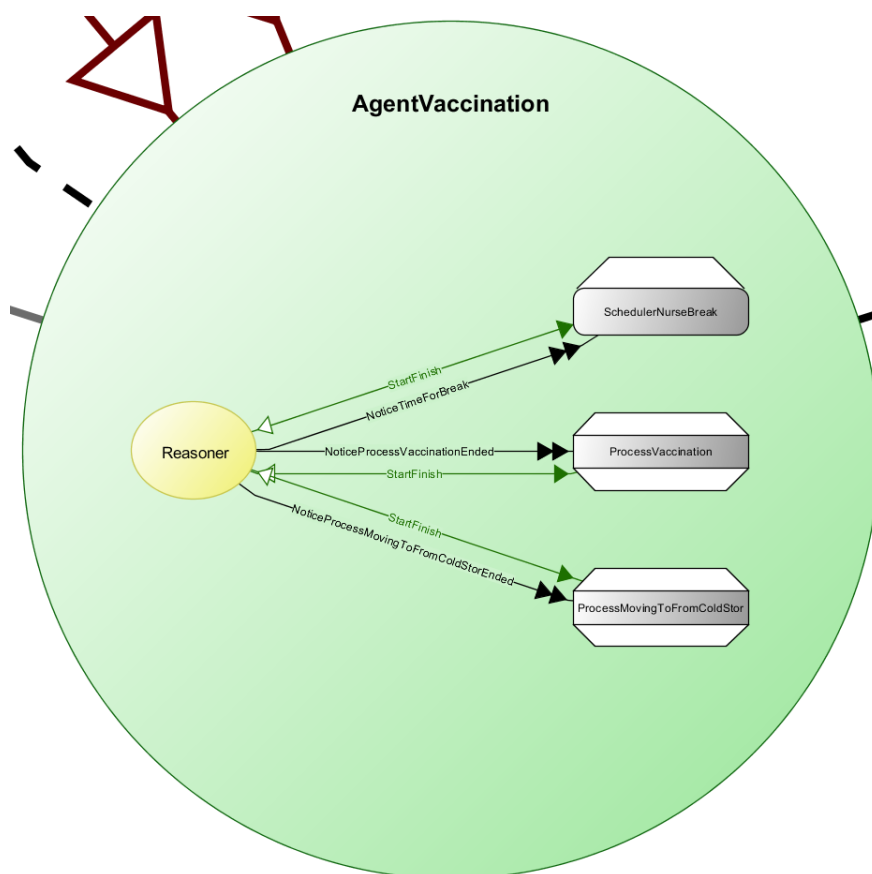
Obr. 6: Vnútoraná štruktúra agenta vyšetrenia.

### 2.1.6 Agent Vaccination

Agent vakcinácie modeluje miestnosť pre vakcináciu zdravotnými sestrami. Je zodpovedný za vykonanie vakcinácie - proces **ProcessVaccination**, naplánovanie obednej prestávky pre zdravotné sestry - plánovač **SchedulerNurseBreak** a proces presunu zdravotnej sestry do miestnosti s chladiacim zariadením - **ProcessMovingToFromColdStor**.

Obsahuje taktiež rad, do ktorého sa zaraďujú pacienti, pre ktorých momentálne nie je voľná zdravotná sestra a udržiava si štatistiky o dĺžke radu pred vyšetrením a o dĺžke čakania v ňom.

Nachádza sa v ňom náhodný generátor pre náhodné zvolenie voľnej zdravotnej sestry a generátor pre modelovanie dĺžky presunu do miestnosti pre napĺňanie striekačiek. Generátor pre dĺžku očkovania obsahuje už samotná entita zdravotnej sestry.



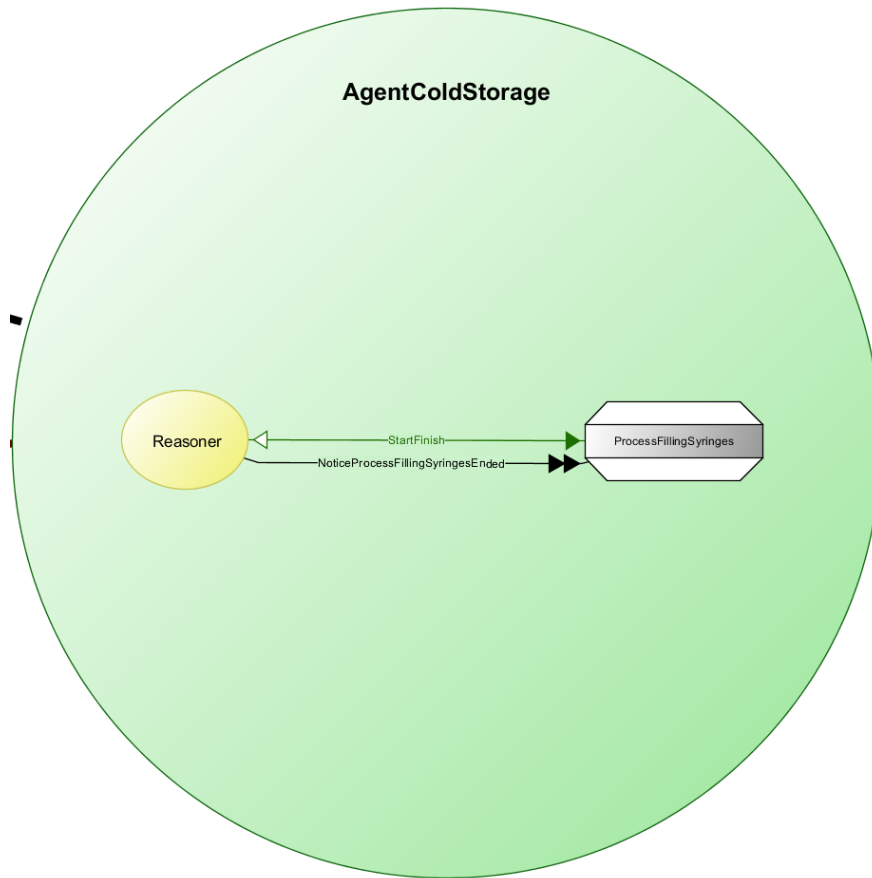
Obr. 7: Vnútroštruktúra agenta vakcinácie.

### 2.1.7 AgentColdStorage

Agent miestnosti s chladiacim zariadením predstavuje miestnosť kam si zdravotné sestry chodia dopĺňať striekačky s vakcínami. Agent zabezpečuje za vykonanie naplnenia striekačiek - proces **ProcessFillingSyringes**.

Obsahuje rad, do ktorého sa zaraďujú zdravotné sestry, pokiaľ sú už v miestnosti aspoň 2 sestry. Pre tento rad udržiava štatistiky o jeho dĺžke.

Nachádza sa v ňom náhodný generátor pre náhodné zvolenie voľnej zdravotnej sestry a generátor pre modelovanie dĺžky presunu do miestnosti pre napĺňanie striekačiek. Generátor pre dĺžku napĺňania jednej striekačky obsahuje už samotná entita zdravotnej sestry.

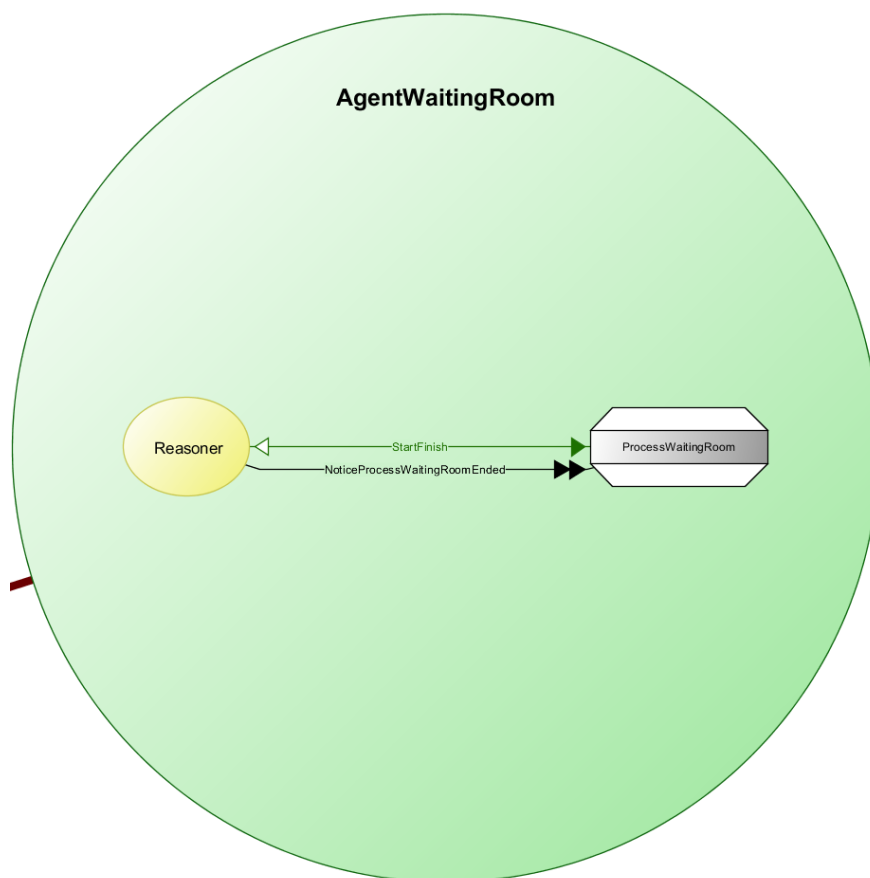


Obr. 8: Vnútorá štruktúra agenta miestnosti s chladiacim zariadením.

### 2.1.8 AgentWaitingRoom

Agent čakárne modeluje miestnosť čakárne. Je zodpovedný za vykonanie procesu čakania v čakárni čas stanovený doktorom pri lekárskom vyšetrení - **ProcessWaitingRoom**.

Obsahuje informácie o aktuálnom stave čakárne a udržiava si štatistiky o počte pacientov v nej.



Obr. 9: Vnútoraná štruktúra agenta čakárne.

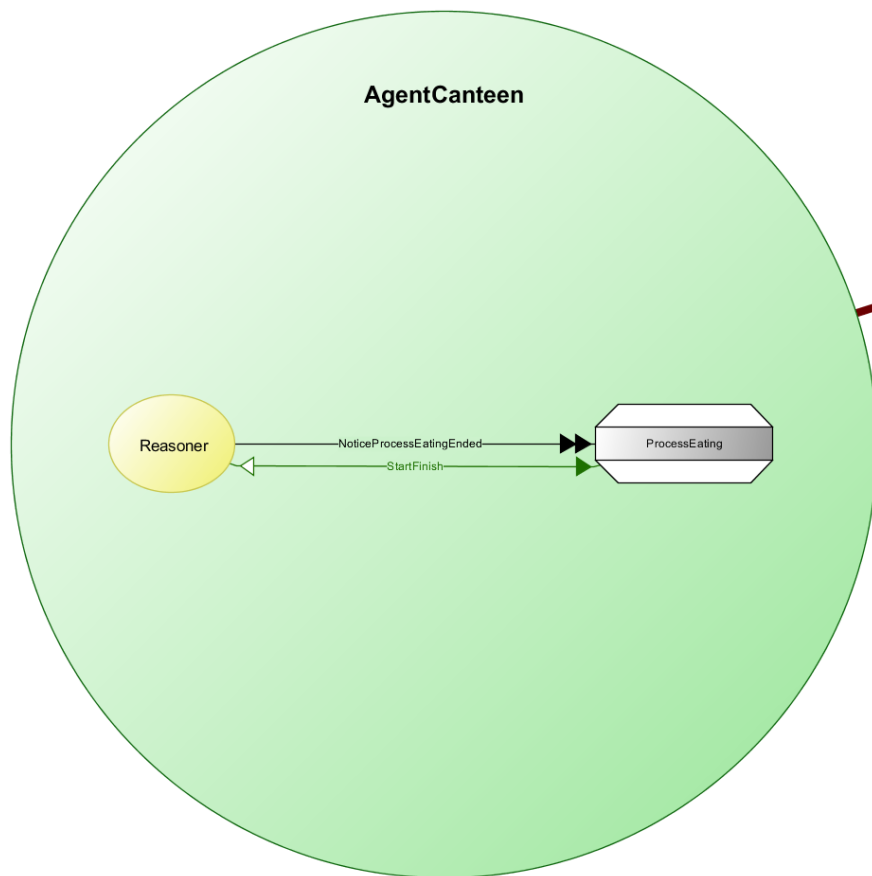


### 2.1.9 AgentCanteen

Agent jedálne predstavuje miestnosť jedálne, kam sa pracovníci počas obednej prestávky chodia najesť. Je zodpovedný za modelovanie procesu jedenia - **ProcessEating**.

Obsahuje informácie o aktuálnom stave jedálne.

Poskytuje náhodný generátor pre modelovanie dĺžky procesu jedenia.



Obr. 10: Vnútoraná štruktúra agenta jedálne.

## 2.2 Entity

### 2.2.1 EntityPatient

Entita predstavujúca pacienta. Obsahuje premenné definujúce vlastnosti potrebné pre štatistické vyhodnotenia, či generovanie - čas príchodu, časy začiatku čakania v radoch na registráciu, vyšetrenie a očkovanie a čas pobytu v čakárni.

### 2.2.2 VaccineCentrumEntity

Všeobecná entita zamestnanca vakcinačného centra. Obsahuje premenné definujúce jej aktuálny stav, priemerné vyťaženie, informáciu o tom, či zamestnanec už mal obednú prestávku a niekoľko ďalších. Poskytuje metódy pre priradenie pacienta zamestnancovi, či jeho uvoľnení. Jeho potomkami sú prirodzene:

- Administratívny pracovník (**EntityAdminWorker**)
  - obsahuje náhodný generátor pre modelovanie trvania procesu registrácie
- Doktor (**EntityDoctor**)
  - obsahuje náhodný generátor pre modelovanie trvania procesu vyšetrenia a generátor pre voľbu doktora o dĺžke pobytu pacienta v čakárni
- Zdravotná sestra (**EntityNurse**)
  - obsahuje náhodný generátor pre modelovanie trvania procesu vakcinácie a procesu naplňovania injekčnej striekačky a informáciu o počte striekačiek k dispozícii

### 2.2.3 Pool

Pomocná štruktúra pre prácu s entitami zamestnancov centra. Poskytuje údaje o počte voľných (zanepoždnených pracovníkoch) a o ich priemernej vyťaženosť. Ponúka možnosť priradenia voľného pracovníka pacientov, či jeho uvoľnenie.

Štruktúra je použitá v agentoch **AgentRegistration**, **AgentExamination** a **AgentVaccination**.

## 2.3 Správy

V modeli sú použité správy 3 druhov **MessagePatient**, pre správy týkajúce sa pacientov, **MessageNurse** pre správy o presune a naplňaní striekačiek zdravotnými sestrami a **MessageBreak** pre správy týkajúce sa obednej prestávky zamestnancov.

### 3 Validácia

Pre validáciu agentového modelu bude použitý už skôr vytvorený udalostný model. Ten modeluje vakcinačné centrum bez modelovania presunov pacientov, bez obedných prestávok zamestnancov a bez procesu naplňovania injekčných striekačiek zdravotnými sestrami. V agentovom modeli boli trvania všetkých vyššie spomenutých procesov nastavené na 0, aby boli zabezpečené rovnaké podmienky.

#### Parametre modelu

- 540 objednaných pacientov
- 5 administratívnych pracovníkov
- 6 doktorov
- 3 zdravotné sestry

#### Udalostne-orientovaný model

Počet replikácií 1 000 000

	Dĺžka radu	Čas čakania v rade	Vyťaženosť entít
Registrácia	0	0	0,547300
Vyšetrenie	0,155953	13,353532	0,658576
Vakcinácia	0,006110	1,315286	0,329381

Priemerný počet čakajúcich pacientov v čakárni bol **14,365139** s 95% intervalom spoľahlivosti (14,364539; 14,365739).

#### Agentovo-orientovaný model

Počet replikácií 10 000

	Dĺžka radu	Čas čakania v rade	Vyťaženosť entít
Registrácia	0	0	0,552961
Vyšetrenie	0,203721	13,281058	0,665432
Vakcinácia	0,020161	1,314890	0,334489

Priemerný počet čakajúcich pacientov v čakárni bol **14,485763** s 95% intervalom spoľahlivosti (14,480371; 14,491155).

Porovnanie ukazuje, že výsledky sa líšia len minimálne. To môže byť dôsledkom použitia iných generátorov náhodných čísel, ale aj iného prístupu k modelovaniu systému. Na základe porovnania, môžeme považovať model za **validný**.

## 4 Experimenty

### 4.1 Experiment: Súčasný stav

V súčasnosti pracuje vo vakcinačnom centre **5 administratívnych pracovníkov**, **6 lekárov** a **3 zdravotné sestry**. Na deň je objednaných **540 pacientov** - na každú minútu 1. Pacienti prichádzajú presne v čase, na kedy sú objednaní. Namodelujte súčasné fungovanie centra.

#### Vyhodnotenie (10 000 replikácií)

##### Dĺžka radu

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	0,025536	(0,025267; 0,025805)
Vyšetrenie	1,039960	(1,027388; 1,051991)
Vakcinácia	0,173967	(0,172625; 0,175308)

##### Čas čakania v rade (s)

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	1,673095	(1,655552; 1,690637)
Vyšetrenie	68,141699	(67,337374; 68,946024)
Vakcinácia	11,405330	(11,317642; 11,493019)

##### Vyťaženosť zamestnancov centra

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Administratívny pracovníci	0,576696	(0,576459; 0,576933)
Doktori	0,663062	(0,662491; 0,663634)
Zdravotné sestry	0,454007	(0,453745; 0,454268)

## Ďalšie štatistiky

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Počet pacientov v čakárni	14,408798	(14,403821; 14,413776)
Dĺžka radu pred miestnosťou s chladiacim zariadením	0,002751	(0,002678; 0,002823)
Nadčas (hh:mm:ss)	00:33:50,883	(00:33:43,557; 00:33:58,209)
Priemerná vyťaženosť všetkých zamestnancov	0,564588	(0,564336; 0,564841)
Priemerný čas čakania vo všetkých radoch (hh:mm:ss)	00:01:21,220	(00:01:20,379; 00:01:22,061)

## 4.2 Experiment: Súčasný stav so skoršími príchodmi pacientov

V súčasnosti pracuje vo vakcinačnom centre **5 administratívnych pracovníkov**, **6 lekárov** a **3 zdravotné sestry**. Na deň je objednaných **540 pacientov**. Niektorí ľudia prichádzajú na očkovanie z väčšej vzdialenosti a najmä z tohto dôvodu príde časť osôb skôr ako je objednaná. Bolo zistené, že iba **10% osôb** sa dostaví na očkovanie **v presne stanovenom** čase. Ostatní sa dostavia vopred pričom čas o koľko skôr prídu môžeme modelovať pomocou spojitého empirického rozdelenia pravdepodobnosti:

- $\langle 1, 20 \rangle$  min;  $p = 0.3$
- $\langle 20, 60 \rangle$  min;  $p = 0.4$
- $\langle 60, 80 \rangle$  min;  $p = 0.2$
- $\langle 80, 240 \rangle$  min;  $p = 0.1$

## Vyhodnotenie (10 000 replikácií)

### Dĺžka radu

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	2,487781	(2,478820; 2,496743)
Vyšetrenie	3,105683	(3,077597; 3,133770)
Vakcinácia	0,338557	(0,336113; 0,341002)

### Čas čakania v rade (s)

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	160,089793	(159,520636; 160,658949)
Vyšetrenie	199,778530	(197,979708; 201,577352)
Vakcinácia	21,783831	(21,627307; 21,940356)

### Vyťaženosť zamestnancov centra

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Administratívny pracovníci	0,573646	(0,573374; 0,573919)
Doktori	0,675411	(0,674805; 0,676017)
Zdravotné sestry	0,462365	(0,462085; 0,462645)

### Ďalšie štatistiky

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Počet pacientov v čakárni	14,680409	(14,674967; 14,685851)
Dĺžka radu pred miestnosťou s chladiacim zariadením	0,004639	(0,004552; 0,004727)
Nadčas (hh:mm:ss)	00:23:18,933	(00:23:10,419; 00:23:27,447)
Priemerná vyťaženosť všetkých zamestnancov	0,570474	(0,570198; 0,570750)
Priemerný čas čakania vo všetkých radoch (hh:mm:ss)	00:06:21,652	(00:06:19,679; 00:06:23,625)

## 4.3 Experiment: 1700 pacientov za deň

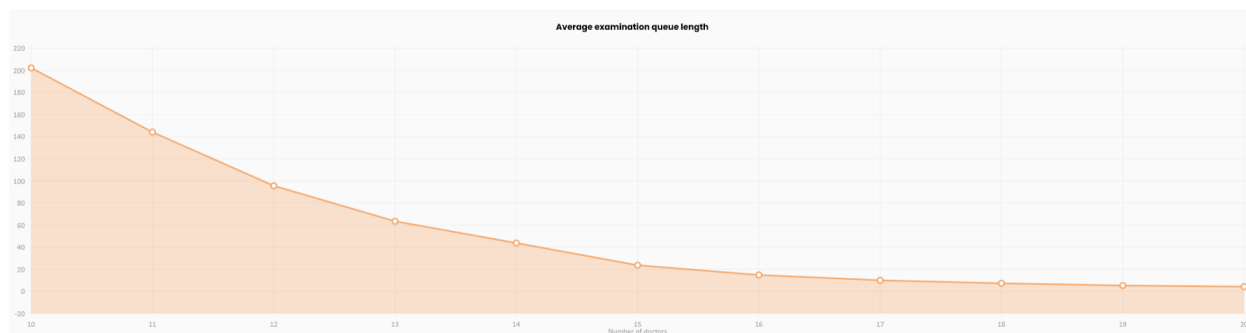
Upravte model tak, aby vakcinačné centrum obsluhovalo denne **1700 ľudí**. Stanovte také počty jednotlivých typov personálu, aby priemerné **vyťaženie** personálu neprekračovalo **70%** a **sumárna priemerná doba čakania** osoby na jednotlivé úkony nepresiahla **15 minút**.

Oproti pôvodným 540 pacientom znamená 1700 pacientov za deň približne **3,15 násobný nárast**. Navýšením počtov zamestnancov 3,15 násobne (16 administratívnych pracovníkov, 19 doktorov, 9 zdravotných sestier) dostaneme vyťaženie blízke pôvodnému stavu. Toto slúži ako bod, od ktorého môžeme pokračovať v znižovaní stavov pracovníkov pre dosiahnutie žiadaných výsledkov.

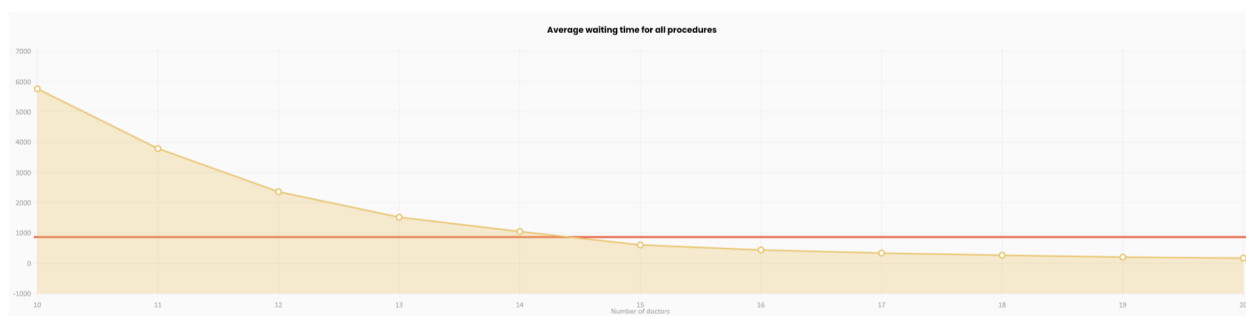
Pre zvýšenie celkovej priemernej vyťaženia zamestnancov z pôvodných 56,5% na požadovaných 70% je potrebné znížiť kapacity personálu na úroveň približne 80%. Pre personál to znamená zníženie stavov na **13**

administratívnych pracovníkov, 15 doktorov a 7 zdravotných sestier, čo znamená aj proporcionálne zvýšenie ich vlastne vyťaženia. Pre počet doktorov vykonáme experiment, ktorý ukáže závislosť celkového vyťaženia všetkých pracovníkov, počte ľudí v rade pred vyšetrením a celkovom čase strávenom čakaním vo všetkých radoch od počtu doktorov v centre.

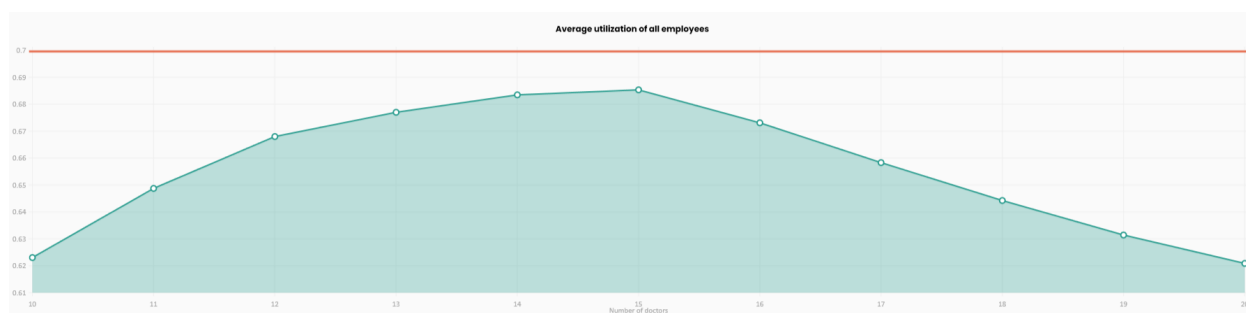
Modelované rozpätie bolo od 10 do 20 doktorov.



Obr. 11: Závislosť počtu ľudí v rade pred vyšetrením od počtu doktorov



Obr. 12: Závislosť celkového času stráveného čakaním vo všetkých radoch od počtu doktorov



Obr. 13: Závislosť celkového vyťaženia všetkých pracovníkov od počtu doktorov

Z grafov je možné vidieť, že najmenší počet doktorov, pri ktorých sú splnené obe podmienky je 15.

## Vyhodnotenie (10 000 replikácií)

### Dĺžka radu

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	2,315477	(2,308401; 2,322553)
Vyšetrenie	25,167205	(25,006469; 25,373091)
Vakcinácia	2,724015	(2,698375; 2,749655)

### Čas čakania v rade (s)

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	49,092829	(48,94872; 49,242787)
Vyšetrenie	534,866213	(531,359336; 538,373091)
Vakcinácia	57,667013	(57,127714; 58,206312)

### Vyťaženosť zamestnancov centra

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Administratívny pracovníci	0,653161	(0,652930; 0,653393)
Doktori	0,817460	(0,817078; 0,817843)
Zdravotné sestry	0,583587	(0,583359; 0,583814)

### Ďalšie štatistiky

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Počet pacientov v čakárni	44,579085	(44,562988; 44,595182)
Dĺžka radu pred miestnosťou s chladiacim zariadením	0,098274	(0,097768; 0,098781)
Nadčas (hh:mm:ss)	00:43:54,434	(00:43:45,037; 00:44:03,831)
Priemerná vyťaženosť všetkých zamestnancov	0,684736	(0,684511; 0,684961)
Priemerný čas čakania vo všetkých radoch (hh:mm:ss)	00:10:41,626	(00:10:38,263; 00:10:44,989)



#### 4.4 Experiment: 1700 pacientov za deň so skoršími príchodmi

Upravte model tak, aby vakcinačné centrum obsluhovalo denne **1700 ľudí**. Stanovte také počty jednotlivých typov personálu, aby priemerné **vyťaženie** personálu neprekračovalo **70%** a **sumárna priemerná doba čakania** osoby na jednotlivé úkony nepresiahla **15 minút**. Niektorí ľudia prichádzajú na očkovanie z väčšej vzdialenosti a najmä z tohto dôvodu príde časť osôb skôr ako je objednaná. Bolo zistené, že iba **10% osôb** sa dostaví na očkovanie **v presne stanovenom** čase. Ostatní sa dostavia vopred pričom čas o kolko skôr prídu môžeme modelovať pomocou spojitého empirického rozdelenia pravdepodobnosti:

- $\langle 1, 20 \rangle$  min;  $p = 0.3$
- $\langle 20, 60 \rangle$  min;  $p = 0.4$
- $\langle 60, 80 \rangle$  min;  $p = 0.2$
- $\langle 80, 240 \rangle$  min;  $p = 0.1$

Minimálne počty personálu pre objednaných 1700 pacientov boli určené v predchádzajúcom experimente (**13 administratívnych pracovníkov, 15 doktorov a 7 zdravotných sestier**). Pri modelovaní centra aj so skoršími príchodmi pacientov však takáto konfigurácia je nedostačujúca pre splnenie podmienok 70% maximálnej vyťaženia zamestnancov (cca 70,5%) a celkový priemerný čas čakania vo všetkých radoch maximálne 15 minút (cca 20 minút). Pridanie akéhokoľvek zamestnanca síce vyriešilo podmienku s vyťaženosťou, avšak podmienku s maximálnym časom v radoch vyriešilo jedine navýšenie zamestnancov o jedného doktora. Výsledná konfigurácia, zabezpečujúca splnenie oboch podmienok je teda **13 administratívnych pracovníkov, 16 doktorov a 7 zdravotných sestier**.

#### Vyhodnotenie (10 000 replikácií)

##### Dĺžka radu

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	11,692926	(11,655561; 11,730291)
Vyšetrenie	21,814283	(21,683905; 21,944661)
Vakcinácia	4,185923	(4,156949; 4,214897)

### Čas čakania v rade (s)

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Registrácia	241,698781	(240,966233; 242,431328)
Vyšetrenie	450,980723	(448,325128; 453,636318)
Vakcinácia	86,627619	(86,029056; 87,226181)

### Vyťaženosť zamestnancov centra

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Administratívny pracovníci	0,669173	(0,668957; 0,669389)
Doktori	0,785328	(0,784882; 0,785773)
Zdravotné sestry	0,598462	(0,598248; 0,598675)

### Ďalšie štatistiky

	Výsledná hodnota	95% interval spoľahlivosti
Počet pacientov v čakárni	45,662995	(45,647972; 45,678018)
Dĺžka radu pred miestnosťou s chladiacim zariadením	0,112555	(0,112075; 0,113034)
Nadčas (hh:mm:ss)	00:30:09,035	(00:30:01,471; 00:30:16,599)
Priemerná vyťaženosť všetkých zamestnancov	0,684321	(0,684072; 0,684570)
Priemerný čas čakania vo všetkých radoch (hh:mm:ss)	00:12:59,307	(00:12:56,281; 00:13:02,334)

## 5 Použité knižnice

### OSPABA

Balíček knižníc pre prácu s agentovo orientovným modelovaním.

### LiveCharts

Knižnica pre vykresľovanie grafov.

Dostupná na <https://lvcharts.net>.

### OptimizedPriorityQueue

Knižnica pre implementáciu prioritného frontu.

Dostupná na <https://www.nuget.org/packages/OptimizedPriorityQueue/>