

Fakulta riadenia a informatiky
Informatika

Semestrálna práca 3
Diskrétna simulácia

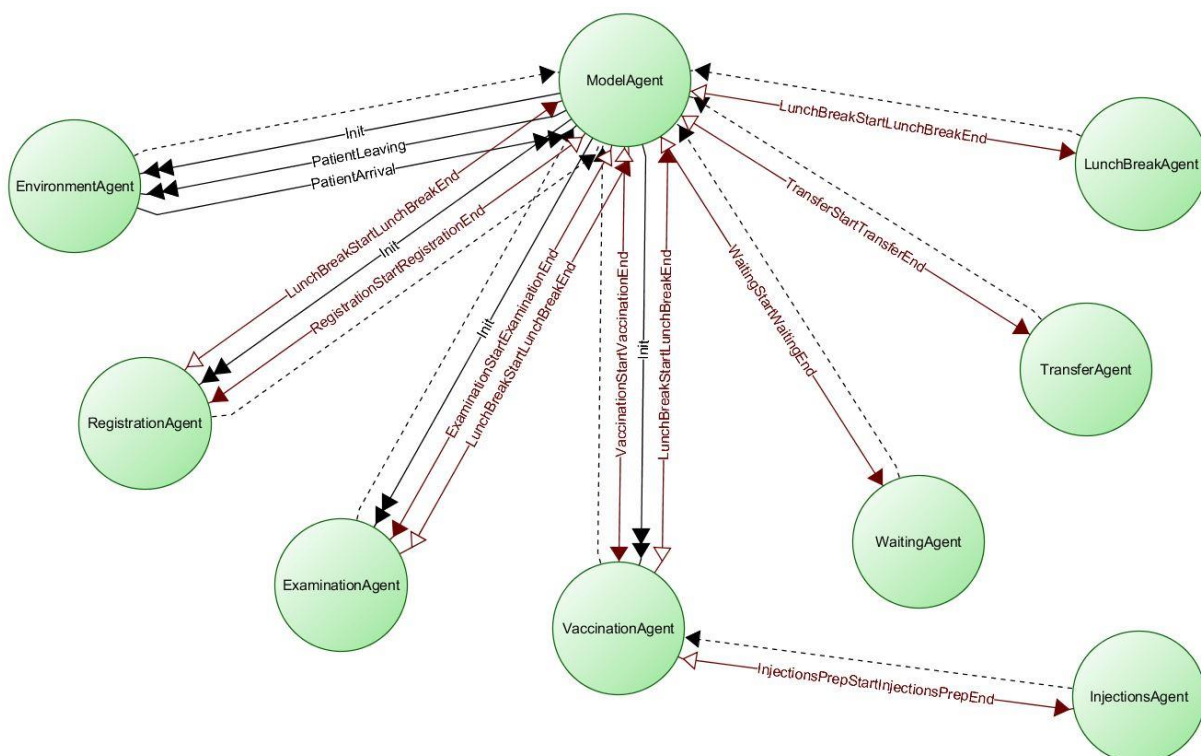
Rok: 2020/2021

Emanuel Zaymus, 5ZIS12

Úvod

Navrhol a implementoval som simulačnú aplikáciu s agentovým simulačným jadrom podľa zadania – Simulácia vakcinačného centra. Využil som poskytnutú knižnicu **ABACore**. Pre implementáciu som vybral objektovo-orientovaný programovací jazyk **Kotlin** a na vytvorenie grafického prostredia som použil framework **TornadoFX** (<https://tornadofx.io/>).

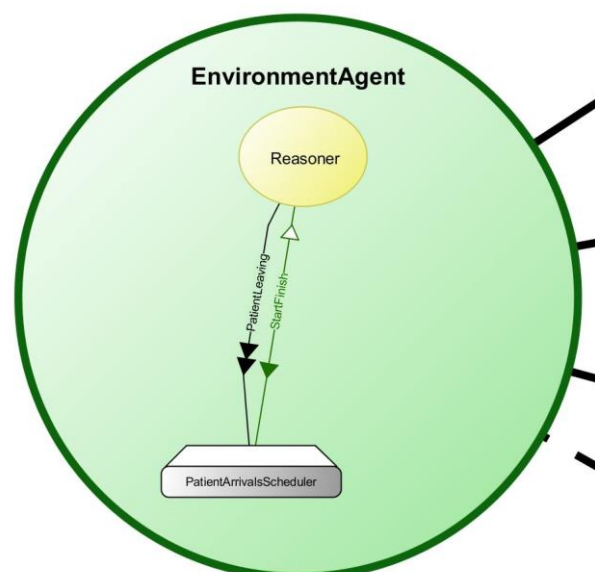
Diagram agentovej štruktúry



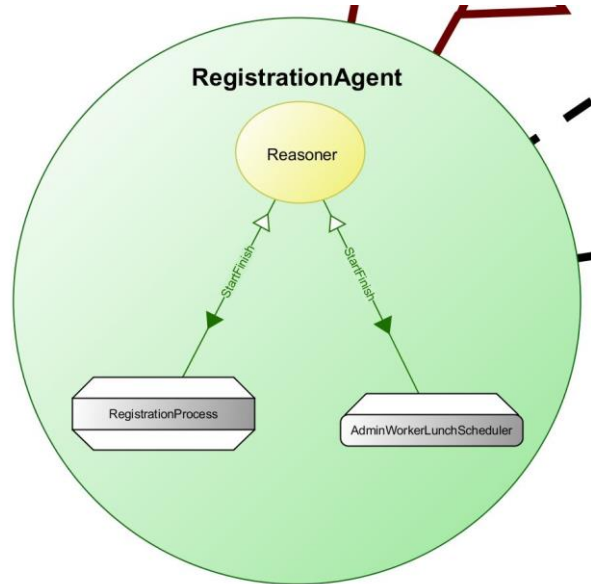
Popis jednotlivých agentov:

Agent modelu – Hlavný agent zabezpečujúci spustenie a komunikáciu celej simulácie.

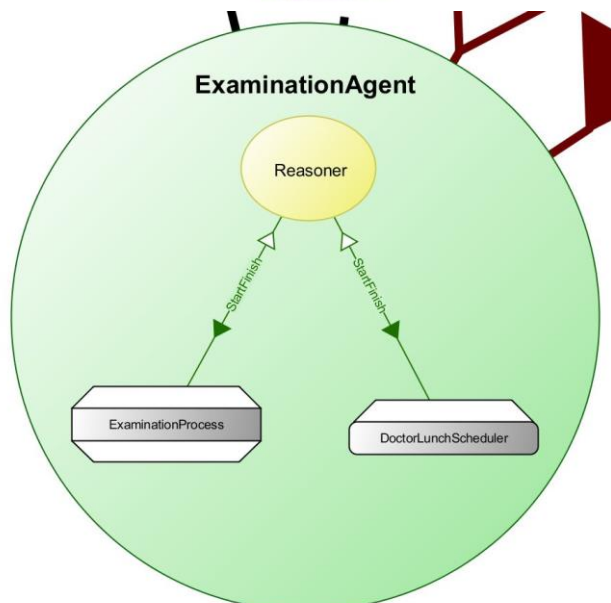
Agent okolia – Predstavuje vonkajšie prostredie – svet. Zabezpečuje plánovanie príchodov pacientov a recyklovanie ich správ. Pacienti chodia v pravidelných intervaloch, každú minútu, s tým, že každý deň niekoľko pacientov nepríde.



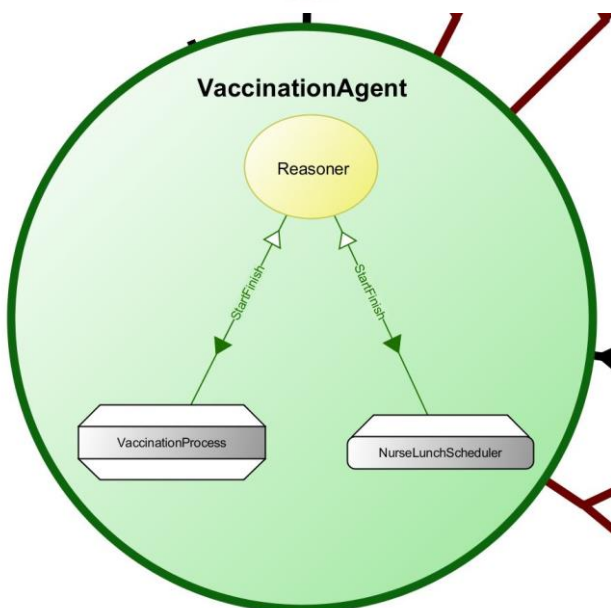
Agent registrácie – Predstavuje registrovanie pacientov pred vyšetrením a vakcináciou. Registrácia trvá náhodnú dobu z náhodného rozdelenia pravdepodobnosti $Unif(140, 220)$ sekúnd. Ak sú všetci administratívni pracovníci obsadení, pacienti čakajú v jedinom rade. Plánuje obednú prestávku administratívnym pracovníkom o 11:00.



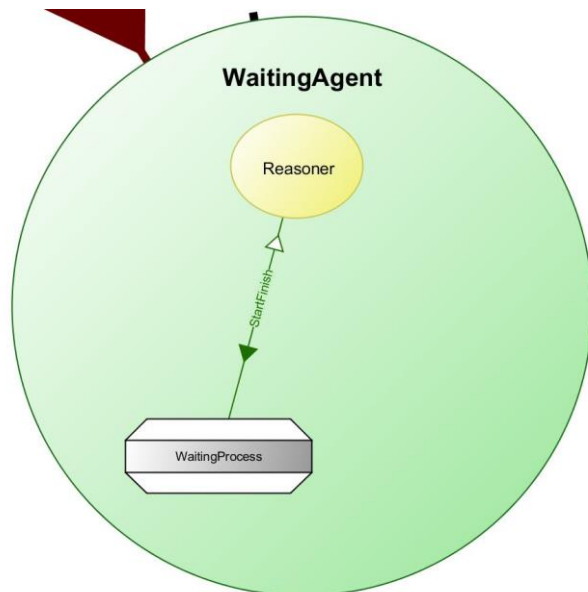
Agent vyšetrenia – Zabezpečuje vyšetrenie pacienta doktormi. Vyšetrenie trvá náhodný čas z náhodného rozdelenia pravdepodobnosti $Exp(1/260)$ sekúnd. Ak nie je žiaden doktor dostupný, pacienti čakajú v rade. Plánuje obednú prestávku pre doktorov so začiatkom 11:45.



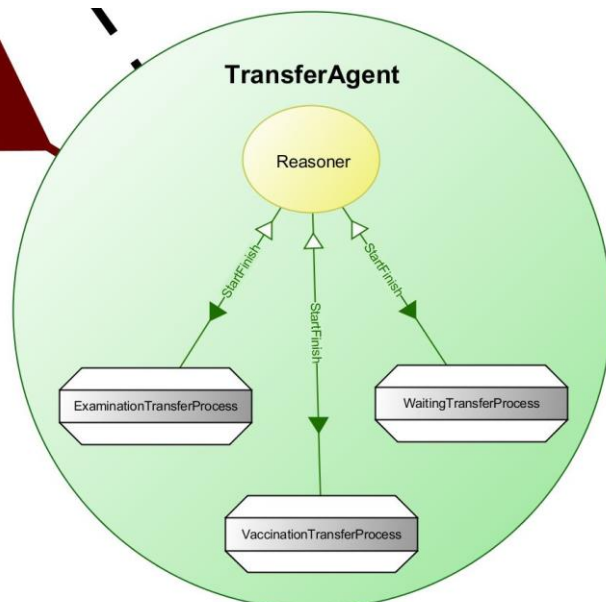
Agent očkovania – Slúži pre očkovanie pacientov zdravotnými sestrami. Samotná vakcinácia trvá náhodnú dobu z rozdelenia pravdepodobnosti $Tria(20,75,100)$ sekúnd. Ak žiadna sestra nie je voľná, pacienti čakajú v rade. Plánuje obednú prestávku pre doktorov so začiatkom 13:30.



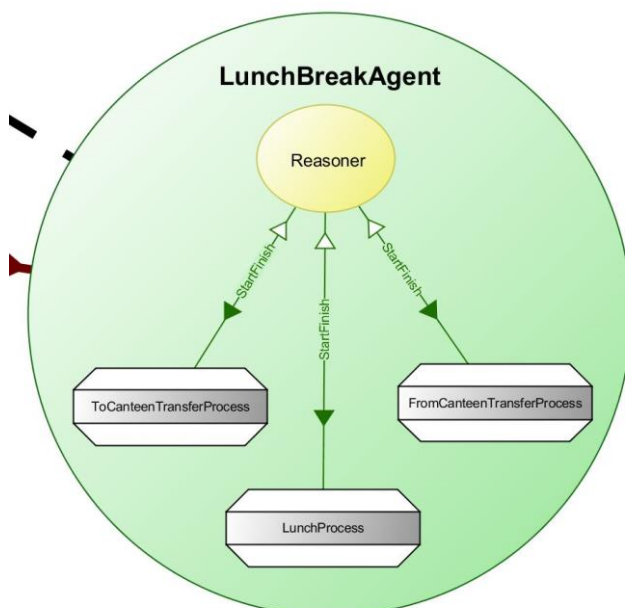
Agent čakania – Predstavuje čakanie pacienta po očkovaní. Pacientovi je určený čas, ktorý má stráviť v čakárni. 95% pacientov čaká 15 minút, 5% pacientov 30 minút.



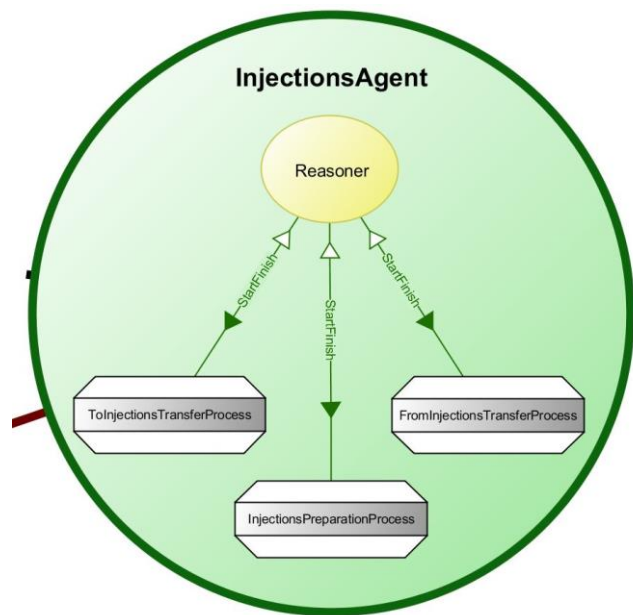
Agent prechodov – Agent modelu môže požiadať agenta čakania o presun pacienta medzi jednotlivými agentami (stanoviskami). Prechod z registračnej miestnosti do vyšetrovacej miestnosti je $Unif(40, 90)$ sekúnd, z vyšetrovacej miestnosti do vakcinačnej miestnosti je $Unif(20, 45)$ sekúnd, z vyšetrovacej miestnosti do čakárne je $Unif(45, 110)$ sekúnd.



Agent obednej prestávky – Každý zamestnanec ide na obednú prestávku. Agent zabezpečuje celý priebeh obednej prestávky. Presun do jedálne a späť modelujem pomocou $Unif(70, 200)$. Trvanie samotného obedu trvá $Tria(5,15,30)$ minút.

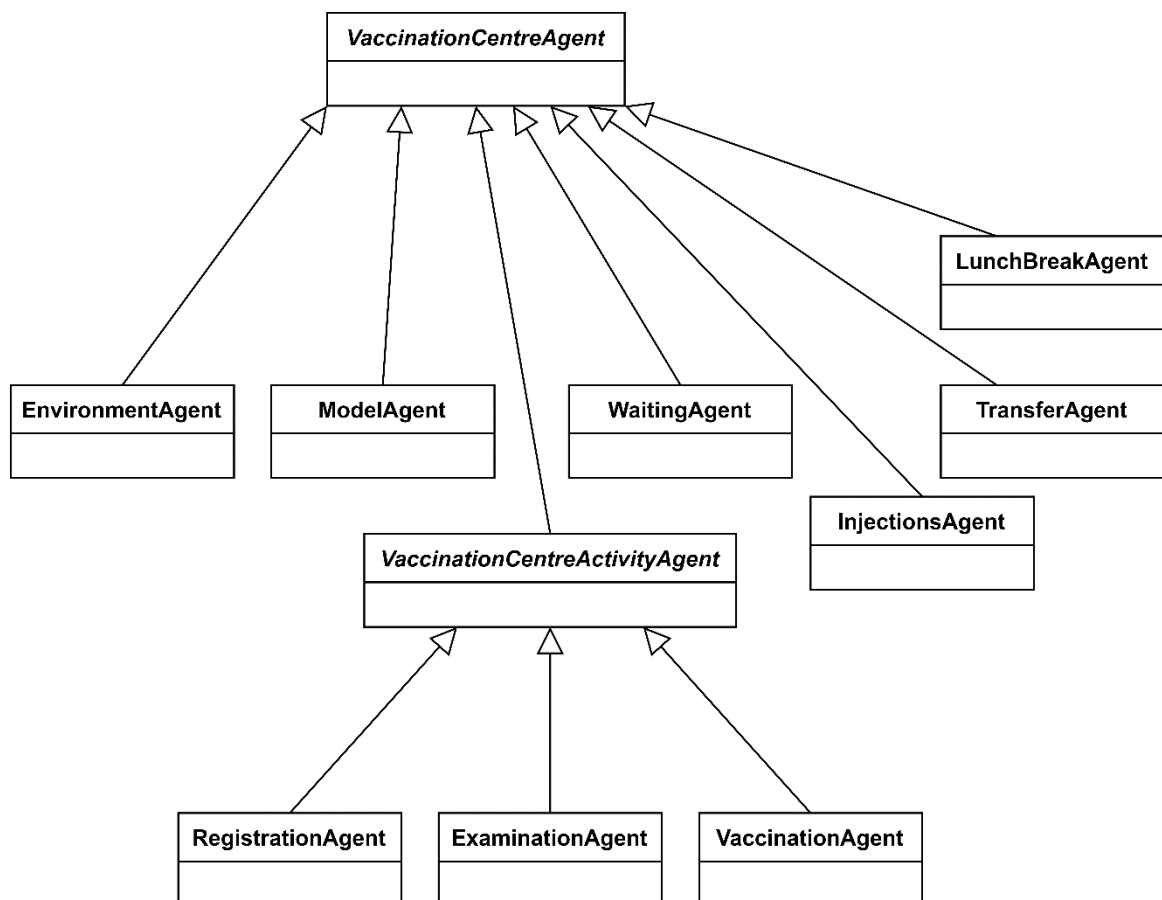


Agent injekcií – Zabezpečuje celú réžiu pre plnenie striekačiek vakcínami. Každá sestrička má 20 vakcín. Po ich minutí agent zabezpečí jej presun do aj z miestnosti na prípravu očkovacích dávok *Unif(10, 18)* sekúnd. Príprava jednej dávky trvá *Tria(6,10,40)* sekúnd. Každá sestra si pripraví 20 vakcín. Najviac pripravujú dve sestry, ostatné čakajú v rade.



Objektový návrh simulačného jadra

Hlavná štruktúra agentov



Na UML diagrame vyššie môžeme vidieť základnú štruktúru objektového návrhu simulačného jadra, Každý agent má prislúchajúceho manažéra, procesy (precesses) a plánovače (schedulers).

Hlavnou triedou simulácie je trieda `VaccinationCentreAgentSimulation`. Stará sa o vytvorenie simulácie, kontrolu každej replikácie a zber všeobecných štatistík.

Aplikácia je prepojená s užívateľským prostredím pomocou návrhového vzoru MVC.

Validácia

Nad simulačným modelom som previedol validáciu voči Semestrálnej práci 2. Nastavil som všetky časy prechodov a procesov, ktoré sú „navyšé“ nulové trvanie. Aplikácia ponúka túto možnosť zapnúť pre simulačný beh z GUI.

Počet replikácií v oboch behoch simulácie: 10 000

Pracovníci	Počet pracovníkov	Priemerné vyťaženie	
		Sem. práca 2	Sem. práca 3
Admin. pracovníci	5	0.5515	0.5523
Doktori	6	0.6644	0.6651
Sestričky	3	0.3319	0.3324
Počet pacientov	540		

Rada	Priemerná dĺžka radu		Priemerná doba čakania (s)	
	Sem. práca 2	Sem. práca 3	Sem. práca 2	Sem. práca 3
Registrácia	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Vyšetrenie	0.2045	0.2088	13.3500	13.5971
Vakcinácia	0.0200	0.0203	1.3088	1.3251

V Semestrálnej práci 2 vyšiel priemerný počet pacientov čakajúcich v čakárni na **14.4680** s intervalom spoľahlivosti <**14.4635**; **14.4726**>. Teraz vyšiel **14.4976** s intervalom spoľahlivosti <**14.4923**; **14.5029**>.

Ako môžeme vidieť, hodnoty sú skoro identické, takže simulačný model považujem za správny.

Simulačná štúdia a experimenty

V semestrálnej práci som, podľa zadania, vykonal viaceré experimenty.

1. Priemerné vyťaženie pracovníkov v súčasnom stave

V súčasnosti vo vakcinačnom centre pracuje 5 administratívnych pracovníkov, 6 lekárov a 3 zdravotné sestry. Denne je objednaných 540 pacientov.

Počet replikácií: 10 000

Pracovníci	Počet pracovníkov	Priemerné vyťaženie	95% interval spoľahlivosti	
Admin. pracovníci	5	0.586401	0.586191	0.586611
Doktori	6	0.698037	0.697440	0.698633
Sestričky	3	0.470293	0.470088	0.470497
Počet pacientov	540			

Rada	Priemerná dĺžka radu	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	0.025952	0.025674	0.026230
Vyšetrenie	1.044759	1.032387	1.057132
Vakcinácia	0.166173	0.164882	0.167465

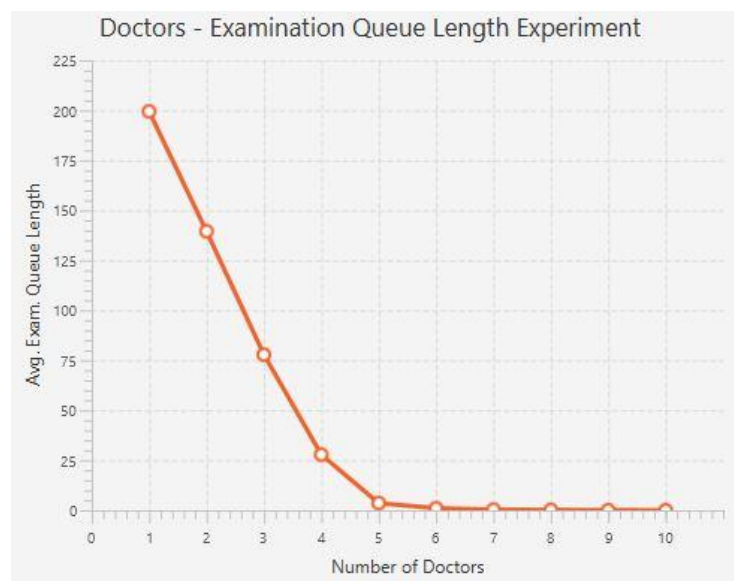
Rada	Priemerná doba čakania (s)	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	1.697787	1.679691	1.715883
Vyšetrenie	68.371215	67.564371	69.178058
Vakcinácia	10.877943	10.793837	10.962050

Priemerný čas čakania sestier na prípravu vakcín: **0.001326 <0.001272; 0.001381>**.

Priemerný počet pacientov v čakárni: **14.421386 <14.416098; 14.426674>**.

Overíme závislosť počtu pacientov v rade na vyšetrenie na počte lekárov

Na grafe môžeme vidieť overenie uvedenej závislosti. Počet pacientov: 540, administratívnych pracovníkov: 5, sestier: 3, doktorov od 1 po 10. Pre každý bod v grafe bolo vykonaných 100 replikácií.



2. Úprava modelu pre 1700 pacientov

2.1 Stanovanie nových počtov personálu

Pri stanovení nových počtov personálu nesmie priemerné vyťaženie personálu presiahnuť 70% a sumárna priemerná doba čakania pacientov nemôže prekročiť 15 minút.

Pri tomto experimente som postupoval analyticky.

- Navýšil som dennú kapacitu na 1700 pacientov denne.
- Pri tejto kapacite som našiel najmenší počet admin. pracovníkov, pre ktorých sa nezvýši vyťaženosť nad 70% (13 pracovníkov).
- Pri tomto počte admin. pracovníkov som našiel najmenší počet doktorov, pre ktorých sa nezvýši vyťaženosť nad 70% (19 doktorov).
- Pri tomto počte admin. pracovníkov a doktorov som našiel najmenší počet zdravotných sestier, pre ktoré sa nezvýši vyťaženosť nad 70% (6 sestier).

Počet replikácií: 10 000

Pracovníci	Počet pracovníkov	Priemerné vyťaženie	95% interval spoľahlivosti	
Admin. pracovníci	13	0.695787	0.695581	0.695992
Doktori	19	0.688020	0.687657	0.688383
Sestričky	6	0.718094	0.717859	0.718329
Počet pacientov	1700			

Rada	Priemerná dĺžka radu	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	1.948788	1.941359	1.956217
Vyšetrenie	4.485715	4.456957	4.514472
Vakcinácia	4.528084	4.493301	4.562868

Rada	Priemerná doba čakania (s)	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	40.902223	40.749687	41.054760
Vyšetrenie	94.145339	93.548550	94.743823
Vakcinácia	94.970452	94.249300	95.691603

Priemerný čas čakania sestier na prípravu vakcín: **0.039549** <**0.03921**; **0.039888**> sekúnd.

Priemerný počet pacientov v čakárni: **44.994941** <**44.981281**; **45.008602**>.

Priemerné vyťaženie personálu: **0.695396** <**0.69539**; **0.695403**>.

Sumárna priemerná doba čakania pacientov: **229.932723** <**229.886131**; **229.979315**> sekúnd, čo je 0:03:49,932723.

2.2 Overenie okolia výsledku

Preskúmal som okolie výsledku, aby som overil jeho správnosť.

Pre každý beh bolo vykonaných 200 replikácií.

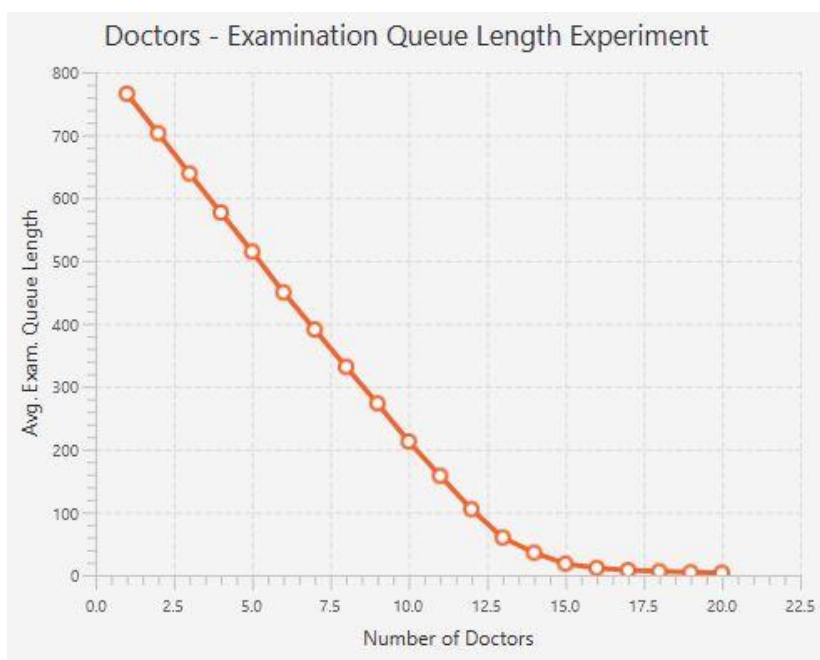
Počet zamestnancov			Registrácia		Lekárska prehliadka		Očkovanie		Vyťaženie		
Admin. pracovníci	Doktori	Sestričky	Dĺžka radu	Čakanie	Dĺžka radu	Čakanie	Dĺžka radu	Čakanie	Admin. pracovníci	Doktori	Sestričky
12	18	5	3.3459	70.9653	6.9726	147.9891	26.6387	565.3268	0.7428	0.7179	0.8419
12	18	6	3.3804	71.0571	7.0741	148.6612	6.6770	140.2896	0.7500	0.7244	0.7170
12	18	7	3.3699	70.6767	6.9373	145.5670	2.3867	50.0325	0.7510	0.7248	0.6246
12	19	5	3.3741	71.4305	5.3292	112.9691	24.9590	528.8054	0.7449	0.6829	0.8441
12	19	6	3.3307	69.8998	5.2892	111.0597	5.8449	122.6281	0.7505	0.6885	0.7183
12	19	7	3.3665	70.7990	5.3594	112.8047	1.5860	33.3637	0.7488	0.6873	0.6220
12	20	5	3.3655	71.0944	4.3380	91.7288	23.4018	494.5628	0.7460	0.6533	0.8456
12	20	6	3.3338	70.0240	4.2605	89.4345	4.9222	103.2164	0.7500	0.6564	0.7177
12	20	7	3.3587	70.4747	4.3387	91.0381	1.3408	28.1071	0.7510	0.6556	0.6247
13	18	5	1.9579	41.3196	5.9931	126.6270	22.8825	483.1611	0.6924	0.7218	0.8459
13	18	6	1.9629	41.2493	5.9379	124.7039	5.5250	115.9887	0.6948	0.7235	0.7177
13	18	7	1.9697	41.3432	5.9752	125.4478	1.6802	35.2352	0.6959	0.7247	0.6238
13	19	5	1.9331	40.7961	4.3848	92.5726	19.4612	410.5143	0.6923	0.6832	0.8457
13	19	6	1.9497	40.8519	4.4580	93.3802	4.6755	97.8751	0.6967	0.6887	0.7195
13	19	7	1.9792	41.5078	4.4523	93.3757	1.2190	25.5384	0.6965	0.6888	0.6242
13	20	5	1.9010	40.0367	3.6920	77.8100	18.9745	399.5441	0.6932	0.6545	0.8477
13	20	6	1.9318	40.5850	3.7538	78.9043	4.0230	84.4946	0.6951	0.6546	0.7176
13	20	7	2.0107	42.1412	3.6790	77.0676	1.1026	23.0903	0.6973	0.6561	0.6241
14	18	5	1.4803	31.2097	5.7580	121.4878	21.5203	453.8545	0.6459	0.7201	0.8474
14	18	6	1.4966	31.4804	6.1652	129.7239	5.4037	113.5890	0.6474	0.7247	0.7165
14	18	7	1.5168	31.8106	6.0125	126.0651	1.5999	33.5052	0.6492	0.7248	0.6248
14	19	5	1.4690	30.9812	4.5164	95.3087	19.0565	401.8499	0.6454	0.6856	0.8464
14	19	6	1.4823	31.1370	4.4528	93.5735	4.2520	89.2925	0.6480	0.6882	0.7173
14	19	7	1.4617	30.6500	4.2693	89.5523	1.1361	23.8193	0.6488	0.6857	0.6248
14	20	5	1.5009	31.6440	3.7753	79.6557	18.1159	381.9938	0.6463	0.6530	0.8472
14	20	6	1.4943	31.3413	3.7563	78.8461	3.9560	82.9924	0.6487	0.6545	0.7185
14	20	7	1.5022	31.5142	3.7818	79.3512	1.1133	23.3471	0.6490	0.6551	0.6244

2.3 Závislosť počtu pacientov v rade na vyšetrenie na počte lekárov

Podľa zadania, aplikácia dokáže zobrazit' graf závislosti priemerného počtu pacientov čakajúcich v rade na vyšetrenie na počte lekárov. Užívateľ si môže zadať minimálny a maximálny počet lekárov, ako aj počet replikácií na pridanie bodu do grafu.

Počet pacientov: 1700, admin. pracovníkov: 13, sestier: 6, lekárov: od 1 do 20

Počet replikácií na bod v grafe: 200



3. Skoré príchody pacientov

Ďalšou úlohou bolo zakomponovať skoršie príchody 90% pacientov podľa empirického rozdelenia pravdepodobnosti:

- $<1, 20)$ minút; $p = 0,3$
- $<20, 60)$ minút; $p = 0,4$
- $<60, 80)$ minút; $p = 0,2$
- $<80, 240)$ minút; $p = 0,1$

3.1 Súčasný stav a skoré príchody pacientov

Po spustení simulačného behu so skorými príchodmi dostaneme nasledujúce výsledky:

Počet replikácií: 10 000

Pracovníci	Počet pracovníkov	Priemerné vyťaženie	95% interval spoľahlivosti	
Admin. pracovníci	5	0.597286	0.597057	0.597515
Doktori	6	0.711973	0.711347	0.712600
Sestričky	3	0.478968	0.478751	0.479185
Počet pacientov	540			

Rada	Priemerná dĺžka radu	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	2.499385	2.490227	2.508542
Vyšetrenie	3.146611	3.118067	3.175155
Vakcinácia	0.279434	0.277317	0.281550

Rada	Priemerná doba čakania (s)	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	160.658562	160.080723	161.236402
Vyšetrenie	202.179436	200.355429	204.003444
Vakcinácia	17.961750	17.826300	18.097201

Priemerný čas čakania sestier na prípravu vakcín: **0.00148 <0.00142; 0.001539> s.**

Priemerný počet pacientov v čakárni: **14.693844 <14.688124; 14.699564>.**

Merané veličiny sú trochu vyššie oproti pôvodným hodnotám z Experimentu 1. Najviac sa zvýšila priemerná doba čakania pacientov v radoch.

3.2 Úprava modelu pre 1700 pacientov a skoré príchody

V tomto experimente skombinujeme Experiment 2 a 3. Zachoval som zistené počty personálu z Experimentu 2 pri 1700 pacientoch.

Počet replikácií: 10 000

Pracovníci	Počet pracovníkov	Priemerné vyťaženie	95% interval spoľahlivosti	
Admin. pracovníci	13	0.707494	0.707271	0.707718
Doktori	19	0.699769	0.699389	0.700149
Sestričky	6	0.730790	0.730536	0.731044
Počet pacientov	1700			

Rada	Priemerná dĺžka radu	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	13.902159	13.871151	13.933166
Vyšetrenie	5.867520	5.826309	5.908731
Vakcinácia	6.584655	6.541974	6.627335

Rada	Priemerná doba čakania (s)	95% interval spoľahlivosti	
Registrácia	287.021809	286.411676	287.631741
Vyšetrenie	121.112579	120.267424	121.957733
Vakcinácia	135.856879	134.987282	136.726476

Priemerný čas čakania sestier na prípravu vakcín: **0.043171 <0.042803; 0.043538> s.**

Priemerný počet pacientov v čakárni: **45.75137** <**45.736526**; **45.766213**>.

Priemerné vyťaženie personálu: **0.70737** <**0.707362**; **0.707379**>.

Sumárna priemerná doba čakania pacientov: **544.587095** <**544.550034**; **544.624156**> s,
čo je 0:09:04,587094.

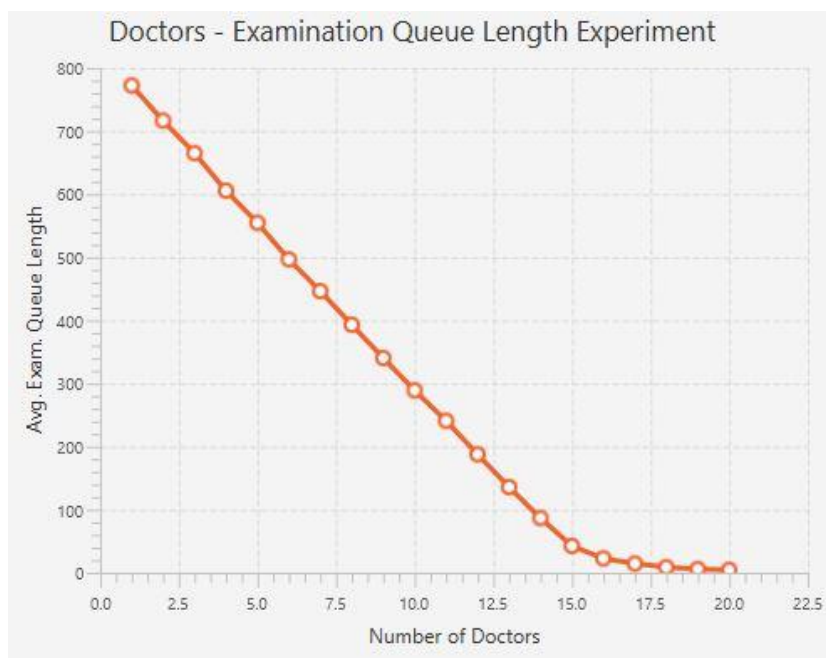
Preskúmanie okolia výsledku

Počet replikácií na jeden beh simulácie: 100

Počet zamestnancov			Registrácia		Lekárska prehliadka		Očkovanie		Vyťaženie		
Admin. pracovníci	Doktori	Sestričky	Dĺžka radu	Čakanie	Dĺžka radu	Čakanie	Dĺžka radu	Čakanie	Admin. pracovníci	Doktori	Sestričky
12	18	5	19.7193	406.8844	8.1949	169.1889	32.6790	674.1664	0.7638	0.7359	0.8644
12	18	6	19.5484	403.7630	8.6533	178.6725	7.4320	153.3993	0.7623	0.7386	0.7308
12	18	7	19.7904	407.6208	8.3584	172.1448	2.5038	51.4482	0.7653	0.7368	0.6363
12	19	5	19.8389	409.3082	6.0043	123.9363	32.6612	673.7277	0.7630	0.7015	0.8652
12	19	6	19.7542	408.2409	5.8178	120.2581	6.3252	130.6400	0.7632	0.6992	0.7295
12	19	7	19.7867	408.4998	5.7778	119.2741	1.6939	34.9423	0.7630	0.6983	0.6351
12	20	5	19.8016	408.8731	4.4692	92.1992	31.5148	650.0985	0.7632	0.6685	0.8655
12	20	6	19.6040	405.4767	4.3021	89.0794	5.6479	116.7579	0.7624	0.6642	0.7308
12	20	7	20.0648	414.1413	4.6123	95.1203	1.5484	31.9315	0.7640	0.6691	0.6341
13	18	5	13.9382	287.8283	8.5292	175.9771	33.1846	684.9006	0.7077	0.7359	0.8664
13	18	6	14.2536	294.2284	9.0494	186.6961	6.8598	141.4218	0.7079	0.7359	0.7297
13	18	7	13.9767	288.0717	9.0566	186.5314	2.2227	45.8190	0.7082	0.7379	0.6367
13	19	5	13.9906	288.8723	6.1028	126.0084	33.5840	692.7571	0.7069	0.6992	0.8660
13	19	6	13.8956	286.7727	6.1154	126.2223	6.4372	132.7919	0.7077	0.7022	0.7299
13	19	7	13.9190	286.8137	5.8043	119.5950	1.7804	36.6944	0.7085	0.7000	0.6356
13	20	5	13.9499	287.7541	4.4664	92.1947	32.2938	665.7861	0.7084	0.6697	0.8667
13	20	6	13.9966	289.1318	4.2526	87.7710	6.5837	135.9907	0.7068	0.6660	0.7302
13	20	7	13.9125	286.4997	4.2794	88.1123	1.6493	33.9186	0.7093	0.6690	0.6371
14	18	5	10.5680	218.3975	10.0433	207.4638	32.3133	667.3568	0.6589	0.7324	0.8647
14	18	6	10.9952	226.6659	10.7586	221.7484	7.0444	145.1528	0.6607	0.7384	0.7319
14	18	7	11.0121	227.2603	10.4840	216.3656	2.0815	42.9645	0.6605	0.7388	0.6362
14	19	5	10.7561	221.7006	7.0264	144.8377	32.8883	677.3306	0.6605	0.7017	0.8678
14	19	6	10.9015	224.6273	7.6678	158.0139	7.0148	144.4898	0.6611	0.7026	0.7311
14	19	7	10.7923	222.5273	7.0963	146.2051	1.8774	38.6914	0.6604	0.6987	0.6351
14	20	5	10.8054	223.0146	5.2344	108.0382	33.9641	700.6050	0.6599	0.6671	0.8657
14	20	6	10.7322	221.2520	4.8255	99.4087	7.6261	157.2061	0.6609	0.6677	0.7322
14	20	7	10.7735	223.1419	4.8486	100.3557	1.8286	37.8493	0.6571	0.6659	0.6327

Overenie závislosti počtu pacientov v rade na vyšetrenie na počte lekárov

Počet replikácií na bod v grafe: 100



Ako si môžeme všimnúť, pridanie skorých príchodov, túto závislosť, samozrejme, neovplyvní.

Aplikácia

Vyvinutá aplikácia je intuitívna a interaktívna. Ponúka nastavenie všetkých parametrov simulácie, spustenie a zastavenie ako aj zobrazenie animácie a kontrolu jej rýchlosti.

Replications count: 1000

Number of patients per replication: 540

Number of administrative workers: 5

Number of doctors: 6

Number of nurses: 3

☐ Doctors experiment

From doctors count: 1

To doctors count: 15

Replications per experiment: 100

☒ Use early arrivals

☐ Use zero transitions

☐ With animation

Delay every (sim. seconds): 60.0

Delay for (seconds): 1.0

Status: stopped

Start/Pause

Stop

Actual simulation time: 17:22:25,603205

Simulation seconds: 33745.60320530483

Replication number: 1000

Registration

Examination

Vaccination

Injections Preparation Room

Waiting Room

Lunch Break

Doctors Experiment

Overall Statistics

Current Replication Statistics

Vaccination Queue

Actual length: 0

Average length: 0.159432

Average waiting time

In hours: 0:00:10,326560

In seconds: 10.326561

Nurses

Busy workers: 0

Average workload: 0.473323

Next Stage Transfer

Count: 0

Num	Busy	Lunch	Workload	Injections	State
1	No	Yes	0.470009	15	FREE
2	No	Yes	0.490228	20	FREE
3	No	Yes	0.459733	4	FREE

All Replications Statistics

Vaccination Queue

Average length: 0.277598

95% lower bound: 0.270916

95% upper bound: 0.284280

Average waiting time

In hours: 0:00:17,839349

In seconds: 17.839349

95% lower bound: 17.413055

95% upper bound: 18.265643

Nurses

Average workload: 0.479041

95% lower bound: 0.478332

95% upper bound: 0.479750

Záver

V tejto dokumentácii semestrálnej práce som vysvetlil ako som postupoval pri vypracovávaní jednotlivých úloh semestrálnej práce: predstavil som agentový a objektový návrh problému, validáciu modelu a uviedol som všetky výsledky zistené počas simulačnej štúdie.