

# Simulácia reštaurácie

## Zadanie

Vedenie firmy prevádzkujúcej sieť reštauračných zariadení sa rozhodlo zadať vypracovanie simulačnej štúdie zameranej na modelovanie a optimalizáciu jej novovznikajúcej prevádzky. Cieľom tejto štúdie je určiť počet pracovníkov, ktorí budú schopní zabezpečiť prevádzku reštaurácie na požadovanej úrovni, teda zabezpečiť rýchlu obsluhu zákazníkov s minimálnymi nákladmi na pracovnú silu.

Pracovníkov podniku môžeme rozdeliť na dve skupiny. Skupinu 1 tvoria zamestnanci, ktorí prichádzajú do kontaktu so zákazníkom (obsluhujúci personál). Skupinu 2 tvoria kuchári pracujúci v kuchyni.

Zákazníci prichádzajú do podniku, kde si sadnú k jednému z voľných stolov. Ak prichádza viac zákazníkov súčasne ako skupina, sadnú si vždy k jednému stolu. Keďže zákazníci chcú mať pri jedle súkromie nikdy si neprisadnú k iným zákazníkom. Pokiaľ nie je voľný stôl zákazníci reštauráciu opustia bez objednania. Zákazníci uprednostňujú menšie stoly.

Po usadení sa za stôl počkajú na čašníka (pracovník z prvej skupiny), ktorý im rozdá jedálne lístky (všetkým súčasne) a počká kým si všetci neobjednajú, pričom sa im snaží poradiť a odporučiť rôzne špeciality podniku. Po skončení objednania zapíše čašík všetky objednané jedlá pre daný stôl do informačného systému podniku a v kuchyni sa na ne automaticky vytlačia objednávky. Čašníci sa maximálne snažia zabrániť odchodu zákazníkov, a preto vždy uprednostnia obsluhu zákazníkov, ktorí práve prišli a nemajú objednané pred inými činnosťami.

Všetky objednané jedlá si v kuchyni kuchári rovnomerne rozdeľujú. Kuchár pripravuje vždy práve jedno jedlo. Ak kuchár skončil prípravu porcie a sú ešte nejaké nepripravené jedlá, okamžite začne pripravovať ďalšie jedlo. Kuchári pripravujú jedlá systémom FCFS (first-come, first-served), teda v poradí v akom boli jednotlivé objednávky vytlačené. V prípade, že je k dispozícii viac kuchárov začne jedlo pripravovať vždy ten, ktorý v ten deň pracoval najkratšie.

Keď sú všetky jedlá pre stôl pripravené, čašník ich prinesie zákazníkovi. Po dojedaní prinesie čašník účet a zákazníci odchádzajú.

Pre vypracovanie simulačnej štúdie sú k dispozícii nasledujúce informácie:

- Prúd zákazníkov prichádzajúcich do reštaurácie je poissonovský prúd. V tabuľke je uvedená intenzita príchodov.

Počet ľudí v skupine	1	2	3	4	5	6
Počet príchodov za 1h	3	6	6	5	2	2

- Počet pracovníkov skupiny 1 a 2 je premenná modelu.
- Časová náročnosť základných operácií je nasledujúca:
  - A. Čas potrebný na prevzatie objednávky od jedného stolu je  $o = <55, 145)$  s (rovnomerné spojité rozdelenie).
  - B. Zjedenie jedla zákazníkovi sa riadi trojuholníkovým rozdelením s parametrami  $\min = 3$  min,  $\max = 30$  min s a  $\text{modus} = 15$  min (spojité rozdelenie).
  - C. Zaplatenie trvá čas  $p = <43, 97)$  s (rovnomerné spojité rozdelenie).
  - D. Presun do kuchyne a prinesenie jedál k stolu trvá čašníkovi čas  $m = <30, 110)$  s (rovnomerné spojité rozdelenie). Tento čas predstavuje dobu potrebnú na presun do kuchyne spolu s časom potrebným na prinesenie všetkých jedál k stolu.
  - E. Všetky ostatné časy okrem prípravy jedla môžeme zanedbať.
- Pre nedostatok priestorov sú v reštaurácii nasledujúce stoly: 10 stolov pre 2 ľudí, 7 stolov pre 4 ľudí, 5 stolov pre 6 ľudí,
- Objednávky preberajú pracovníci od jednotlivých stolov systémom FCFS (first-come, first-served).
- Pracovná doba reštaurácie je pre potreby simulačnej štúdie od 11:00 do 20:00 (v inom čase je kuchyňa zatvorená a podnik podáva len nápoje).
- Ak sú v okamihu príchodu zákazníkov do reštaurácie k dispozícii dvaja alebo viac pracovníkov, zákazníka obslúži ten z nich, ktorý bol celkovo v ten deň voľný dlhší čas.
- Pracovníci skupiny 1 uprednostňujú prijatie objednávky pred ostatnými činnosťami.
- Pracovníci skupiny 1 uprednostňujú prinesenie jedál k stolu pred prevzatím platby od zákazníkov.
- Náklady na jedného kuchára sú vyššie ako na jedného čašníka, z tohto dôvodu sa prioritne snažíme minimalizovať počet kuchárov.

- Pravdepodobnosti objednania jedál a ich doba prípravy sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Pokrm	Doba prípravy		Pravdepodobnosť objednania
	Typ rozdelenia	Čas v sekundách	
A	diskrétné rovnomerné	$T_{\min} = 380, T_{\max} = 440$	$p = 0.2$
B	diskrétné empirické	$T_{\min} = 190, T_{\max} = 345; p = 0.05$ $T_{\min} = 346, T_{\max} = 630; p = 0.65$ $T_{\min} = 631, T_{\max} = 950; p = 0.3$	$p = 0.45$
C	diskrétné empirické	$T_{\min} = 290, T_{\max} = 356; p = 0.35$ $T_{\min} = 357, T_{\max} = 540; p = 0.65$	$p = 0.3$
D	deterministické	$T = 180$	$p = 0.05$

Navrhните a implementujte udalostne orientovaný simulačný model reštaurácie. Implementujte a využite vlastné univerzálne simulačné jadro.

S modelom vykonajte experimenty tak, aby ste boli schopní zodpovedne odporučiť taký počet personálu v jednotlivých skupinách, pri ktorom priemerný celkový čas strávený zákazníkom čakaním (súčet všetkých časov kedy zákazník čakal na personál + čakanie na jedlo) nebude dlhší ako 14 minút. Pre hodnotu tohto času určite aj 90% interval spoľahlivosti. Do tejto štatistiky započítajte každého zákazníka samostatne.

Majiteľ reštaurácie zároveň požaduje aby maximálne 10% zákazníkov opustilo reštauráciu bez objednania. V programe zobrazte pomocou grafu ustáľovanie priemerného celkového času stráveného zákazníkom čakaním.

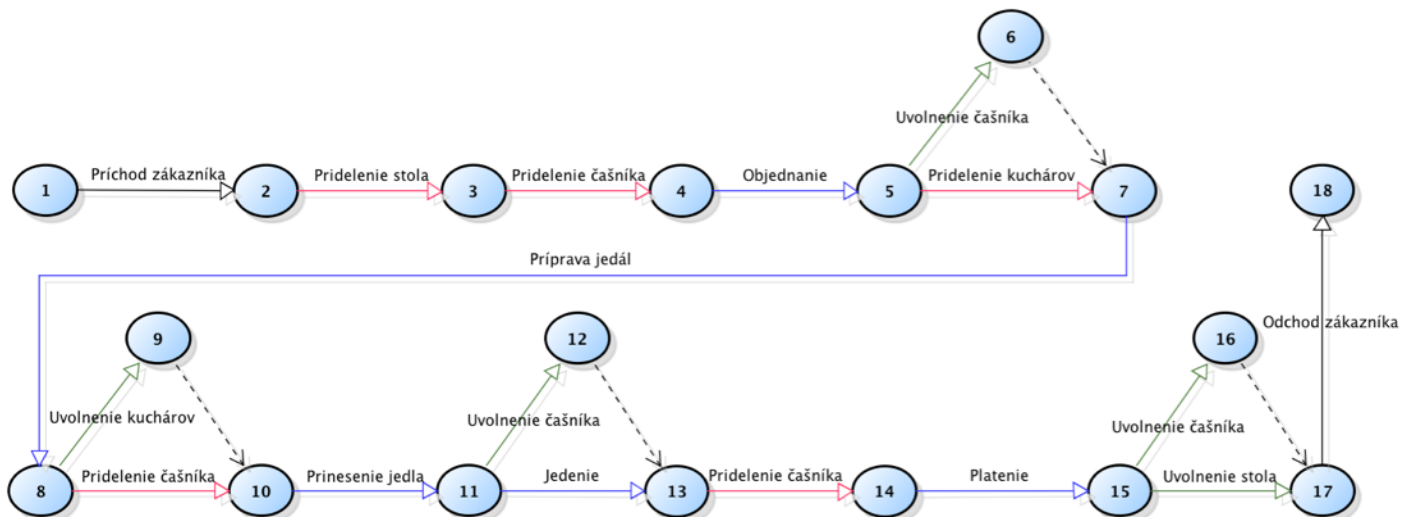
Pre každého zamestnanca stanovte koľko percent pracovnej doby nepracoval. Určite tiež priemerný počet voľných kuchárov a priemerný počet voľných čašníkov.

Ďalej graficky (na grafe v programe) dokumentujte závislosť priemerného celkového času stráveného zákazníkom čakaním na počte čašníkov  $<1, 5>$  (počet kuchárov nastavte na Vami odporúčanú hodnotu). Nezabudnite na všetky všeobecné požiadavky semestrálnych prác. V priebehu simulácie vypisujte všetky sledované veličiny, stav systému (čo robí personál)...

V simulačnej štúdii sa pokúste navrhnúť majiteľovi také opatrenia, ktoré mu pomôžu ušetriť finančné prostriedky na prevádzku a zároveň neznížia výrazne spokojnosť zákazníkov (vaše odporúčania podložte výsledkami simulácie).

# Simulácia reštaurácie

Simuláciu reštaurácie som implementoval ako agentovo orientovanú simuláciu, pričom som použil vlastné simulačné jadro ktoré implementuje architektúru ABASim. Projekt je rozdelený do šiestich balíčkov: s2.agenti, s2.asistenti, s2.entity, s2.gui, s2.manazeri a s2.simulacia. Priebeh obsluhy jedného zákazníka je znázornený na diagrame Obr.1:



### Obr.1 Technologický graf činnosti reštaurácie

Modré hrany na diagrame Obr.1 reprezentujú aktivity, červené hrany priradenie zdrojov a zelené hrany uvoľnenie zdrojov. Pridelenie zdroja (čaušníka, kuchára, stola) môže byť okamžité v prípade, že zdroj nie je obsadený. V opačnom prípade musia zákazníci čakať na uvoľnenie zdroja (v prípade čašníkov a kuchárov) alebo odchádzajú neobslužený (v prípade stolov).

## Zahrievanie simulácie

Generovanie nových zákazníkov začína dve hodiny pred otvorením reštaurácie (simulačný čas -7200). V čase medzi začiatkom simulácie a otvorením reštaurácie prichádzajúci zákazníci nie sú obsluhovaní reštauráciou. V prípade, že prídu skôr ako desať minút pred otvorením, odchádzajú neobslužení a nie sú započítaní do štatistík. Ak prídu neskôr ako desať minút pred otvorením, tak čakajú pred reštauráciou na jej otvorenie. Po otvorení reštaurácie je začatá obsluha zákazníkov čakajúcich pred reštauráciou a noví zákazníci, ktorí prichádzajú do reštaurácie, sú obsluhovaní, ak je voľný aspoň jeden stôl. Otvorenie reštaurácie je realizované pomocou kontinuálneho asistenta

PlanovacOtvoreniaRestauracie, ktorý v čase, kedy má byť reštaurácia otvorená, pošle agentovi AgentOkolia správu s kódom Mc.otvorenieRestauracie na čo AgentOkolia zareaguje tým, že notifikuje agenta AgentModelu o príchode všetkých zákazníkov, ktorí čakajú pred reštauráciou. Zahrievanie simulácie je možné vypnúť/zapnúť v GUI príslušným checkboxom.

### **Chladenie simulácie**

Po dosiahnutí času zatvorenia simulácie je plánovačom príchodov zákazníkov agenta AgentOkolia poslaná správa typu break, čím je zastavené plánovanie príchodov ďalších zákazníkov. V čase, keď má byť reštaurácia zatvorená v nej môžu ešte sedieť zákazníci. Títo zákazníci sú obslužení a simulácia končí až po odchode poslednej skupiny zákazníkov. Chladenie simulácie je možné vypnúť/zapnúť v GUI príslušným checkboxom.

## Entity

### **Pracovník**

Abstraktná trieda definujúca všeobecného pracovníka reštaurácie. Udržiava informácie o celkovom čase práce a o tom, či práve pracuje.

### **Kuchár**

Pracovník pracujúci v kuchyni. Potomok triedy pracovník. Na rozdiel od abstraktného pracovníka, dokáže pracovať s objednávkami.

### **Čašník**

Pracovník obsluhujúci zákazníkov. Potomok triedy pracovník. Jeho úlohou je obsluha zákazníkov, ktorá sa skladá z preberania objednávok, preberania platieb a prinášaním jedla z kuchyne k stolom.

### **Zákazník**

Zákazník, ktorý prichádza do reštaurácie v skupinách. Má generátor náhodných čísel generujúci typ objednávaného pokrmu.

## SkupinaZákazníkov

Skupina zákazníkov sediacich pri jednom stole. Skladá sa z niekoľkých zákazníkov.

## Pokrm

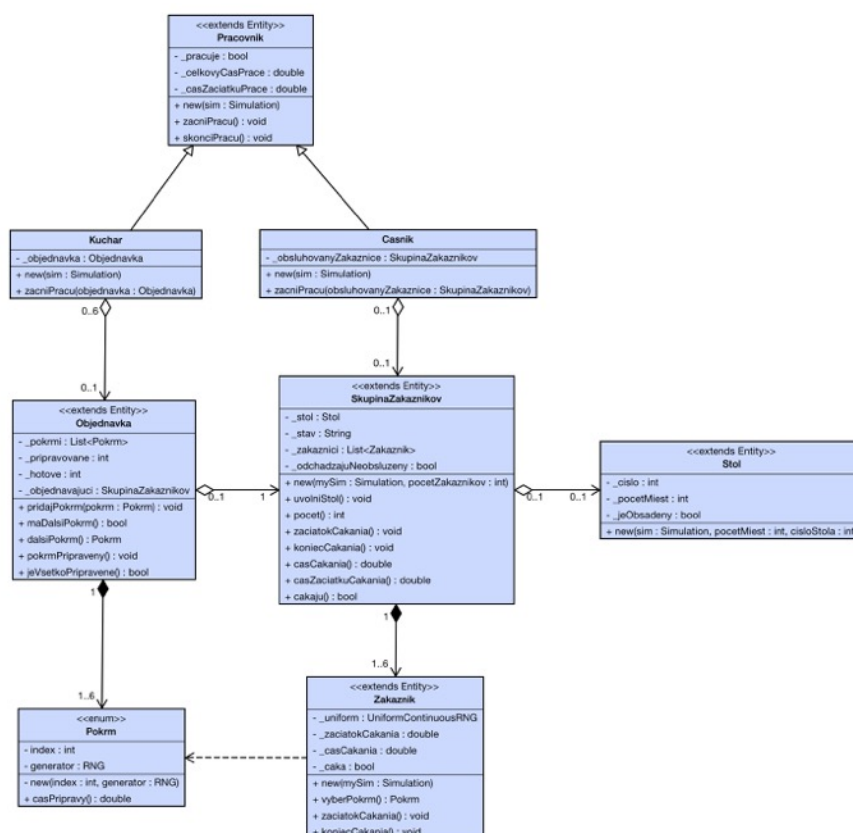
Enumerácia jednotlivých typov pokrmov objednávaných zákazníkom a pripravovaných v kuchyni kuchármi. Každý typ pokrmu má generátor náhodných čísel generujúci dobu prípravy pokrmu.

## Objednávka

Reprezentuje objednávku, ktorú prevezme v jedálni čašník a ktorá je doručená do kuchyne, kde podľa nej kuchári pripravujú objednané pokrmy. Skladá sa zo zoznamu pokrmov a informácie o tom, či už sú pripravené.

## Stôl

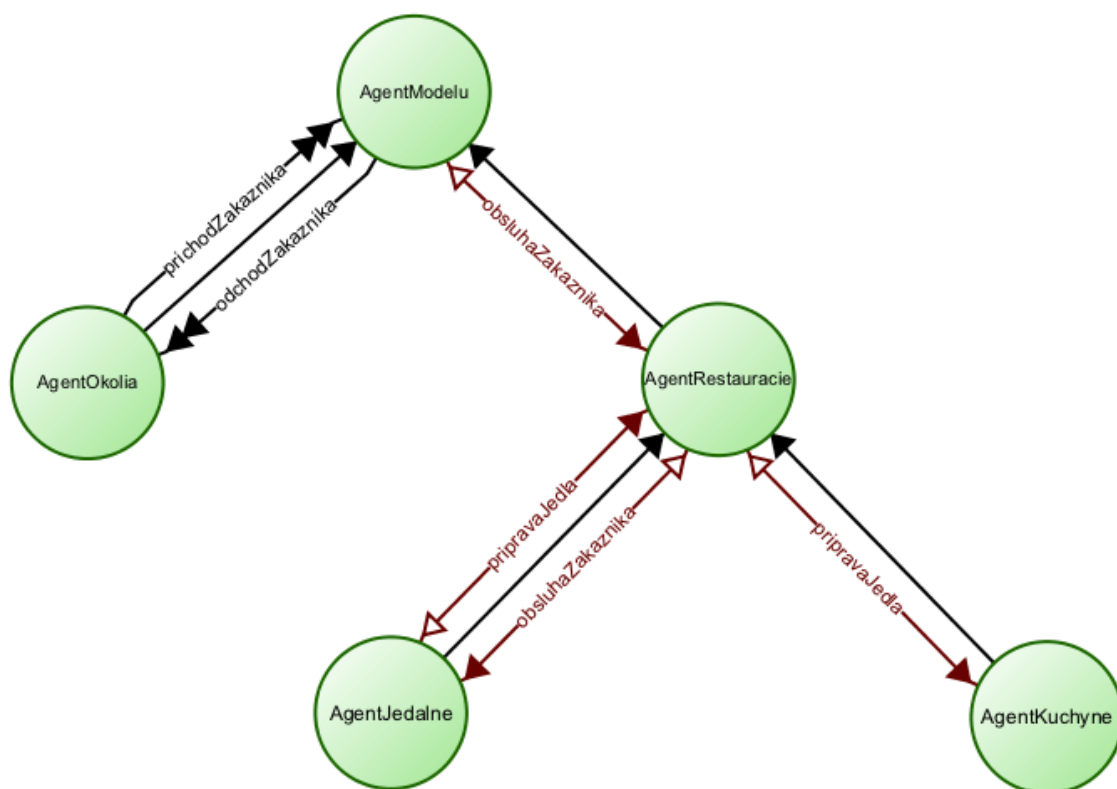
Reprezentuje stôl reštaurácie. Ak chcú byť zákazníci obslužení, musí im byť pridelený stôl. Udržiava informáciu o tom, či je obsadený.



Obr.2 Diagram tried entít

## Agenti

Simulačný model je implementovaný piatimi agentmi ktorý tvoria hierarchickú štruktúru ktorá je zobrazená na diagrame Obr.3. Agenti spolu komunikujú prostredníctvom posielania správ. Agent okolia posiela adresné správy s kódom Mc.prichodZakaznika agentovi modelu ktorý ich po doručení spracuje. Agent modelu posiela čiastočne adresné správy s kódom Mc.obsluhaZakaznika agentovi reštaurácie. Agent reštaurácie ich však sám nedokáže spracovať (nemá ich zaradené v zozname vlastných správ), ale má potomka ktorý ich spracovať dokáže (agent jedálne) a tak mu tieto správu prepošle. Správy sú teda spracované agentom jedálne. Podobne agent jedálne posiela čiastočne adresné správy s kódom Mc.pripravaJedla agentovi reštaurácie ktorý ju ďalej preposiela agentovi kuchyne.



Obr.3 Hierarchia agentov a správy, ktoré si agenti posielajú



## AgentModelu

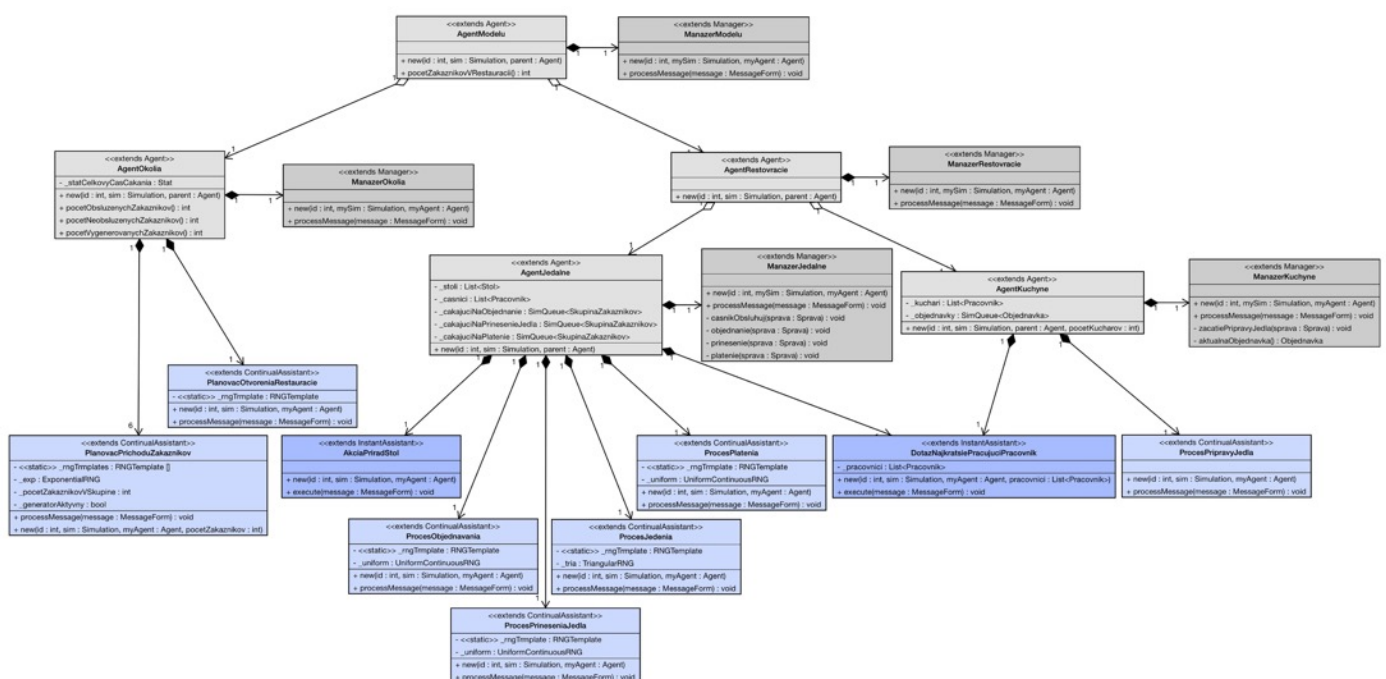
Agent na vrchole hierarchie agentov. Má dvoch podriadených agentov - AgentOkolia a AgentRestauracie. Od agenta okolia preberá nových zákazníkov (kód správy Mc.prichodZakaznika) ktorých posielá agentovi reštaurácie.

## AgentOkolia

Agent reprezentujúci okolie reštaurácie, z ktorého prichádzajú zákazníci. Zákazníci prichádzajú do reštaurácie v skupinách s rôznymi počtami zákazníkov a intenzitami príchodov, preto má pre každý typ skupiny asistenta plánovača, ktorý plánuje príchody s požadovaným počtom zákazníkov.

## AgentReštaurácie

Agent reprezentujúci celú reštauráciu. Má dvoch podriadených agentov - AgentJedálne a AgentKuchyne. Sprostredkuje komunikáciu medzi agentmi jedálne a kuchyne. Úloha agenta je zabezpečenie obsluhy zákazníkov ktorú ďalej deleguje agentovi jedálne.



Obr.4 Diagram tried agentov a ich komponentov



### **AgentJedálne**

Agent reprezentujúci miesto kde zákazníci sedia pri stoloch a sú obsluhovaní čašníckmi. Pri príchode skupiny zákazníkov do reštaurácie dostáva agent jedálne požiadavku od agenta reštaurácie o obsluhu zákazníkov. Najskôr sa ich pokúsi usadiť k stolu pomocou promptného asistenta AkciaPriradStol. Ak v reštaurácii už nie je dostatočne veľký voľný stôl, skupina zákazníkov odchádza neobslužená. V opačnom prípade jej je priradený stôl a čaká na obsluhu čašníkom. Výber čašníkov pre obsluhu je realizovaný pomocou promptného asistenta DotazNajkratsiePracujuciPracovnik. Agent jedálne má niekoľko kontinuálnych asistentov: ProcesObjednavania, ProcesPrineseniaJedla, ProcesJedenia a ProcesPlatenia, ktoré vykonávajú jednotlivé aktivity jedálne.

Aby mohli byť vykonané aktivity asistentov ProcesObjednavania, ProcesPrineseniaJedla a ProcesPlatenia (na rozdiel od asistenta ProcesJedenia), musí k nim byť priradený čašínik. Po ukončení procesu objednávania odošle agent jedálne agentovi reštaurácie požiadavku na prípravu jedla (kód správy Mc.pripravaJedla). Keď je požadovaná objednávka pripravená, agent reštaurácie pošle agentovi jedálne odpoveď (kód správy Mc.pripravaJedlaHotova), na čo agent jedálne reaguje spustením procesu ProcesPrineseniaJedla. Po ukončení obsluhy skupiny zákazníkov (zákazníci sa najedli a zaplatili) posielá agent jedálne agentovi reštaurácie odpoveď na požiadavku o obsluhu zákazníkov (kód správy Mc.obsluhaZakaznikaHotova).

### **AgentKuchyne**

Agent reprezentujúci kuchyňu, kde kuchári pripravujú jedlá. Má front objednávok, ktoré prichádzajú od agenta reštaurácie (kód správy Mc.pripravaJedla) a sú postupne spracovávané kuchármi. Výber kuchára zabezpečuje promptný asistent DotazNajkratsiePracujuciPracovnik. Kuchárom sú pridelené jednotlivé pokrmy. Po pripravení všetkých pokrmov objednávky je odoslaná do jedálne (kód správy Mc.pripravaJedlaHotova).

## **Simulačná štúdia**

### **Určenie počtu kuchárov**

Prioritou je určenie najmenšieho počtu kuchárov, ktorí sú schopní obslúžiť zákazníkov pri splnení zadaných podmienok (prvá podmienka: priemerná doba čakania zákazníkov nie je väčšia ako 14 minút, druhá podmienka: maximálne 10% zákazníkov odchádza neobslužených).

Vhodný počet kuchárov bol hľadaný tak, že počet čašníkov bol nastavený na dostatočne veľkú hodnotu (100) na to, aby neovplyvnil výsledky simulácie, a simulácia bola spustená pre rôzny počet kuchárov. Pre každú konfiguráciu bolo uskutočnených štyridsaťtisíc replikácií, pričom pre každú hodnotu parametra počtu kuchárov boli skúmané dva prípady: so zahrievaním a bez zahrievania simulácie.

V prípadoch bez zahrievania bol pri dvanástich kuchároch priemerný čas čakania zákazníkov 13 minút 4.3 sekúnd a v priemere 10.13% zákazníkov odchádzalo neobslužených. Pri trinástich kuchároch bol priemerný čas čakania zákazníkov 12 minút 33.9 sekúnd a v priemere 9.78% zákazníkov odchádzalo neobslužených.

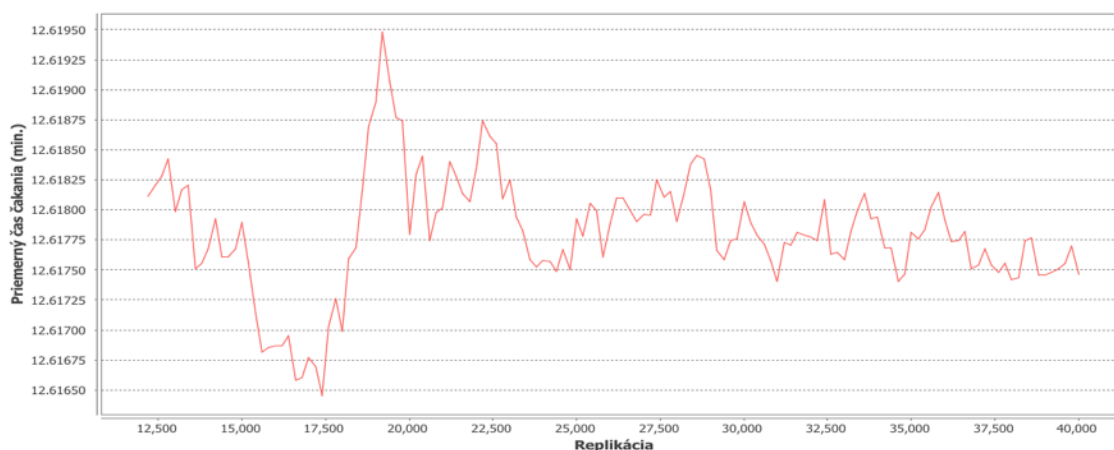
V prípadoch so zahrievaním bol pri dvanástich kuchároch priemerný čas čakania zákazníkov 13 minút 12.3 sekúnd a v priemere 10.39% zákazníkov odchádzalo neobslužených. Pri trinástich kuchároch bol priemerný čas čakania zákazníkov 12 minút 40.2 sekúnd a v priemere 9.98% zákazníkov odchádzalo neobslužených.

Pre prehľadnosť sú tieto výsledky zapísané v tabuľke Tab.1.

Počet kuchárov	So zahrievaním		Bez zahrievania	
	Priemerný čas čakania	Neobslužení zákazníci	Priemerný čas čakania	Neobslužení zákazníci
12	13:12.37	10.39%	13:04.35	10.13%
13	12:40.26	10.00%	12:33.98	9.78%
14	12:18.95	9.74%	12:13.74	9.46%

**Tab.1 Výsledky simulácie pre rôzne hodnoty parametra počet kuchárov pri veľkom počte čašníkov**

Pre splnenie daných požiadaviek je teda potrebných aspoň trinásť kuchárov. Pri zohľadnení zahrievania je ich potrebných až štrnásť pretože vychádza 10.00% zákazníkov neobslužených aj pri veľkom počte čašníkov, preto by mohol nastať problém s tým, že pri trinástich kuchároch bude nutné zamestnať pomerne veľký počet čašníkov na to, aby bola uspokojená druhá podmienka (maximálne 10% zákazníkov odchádza neobslužených).



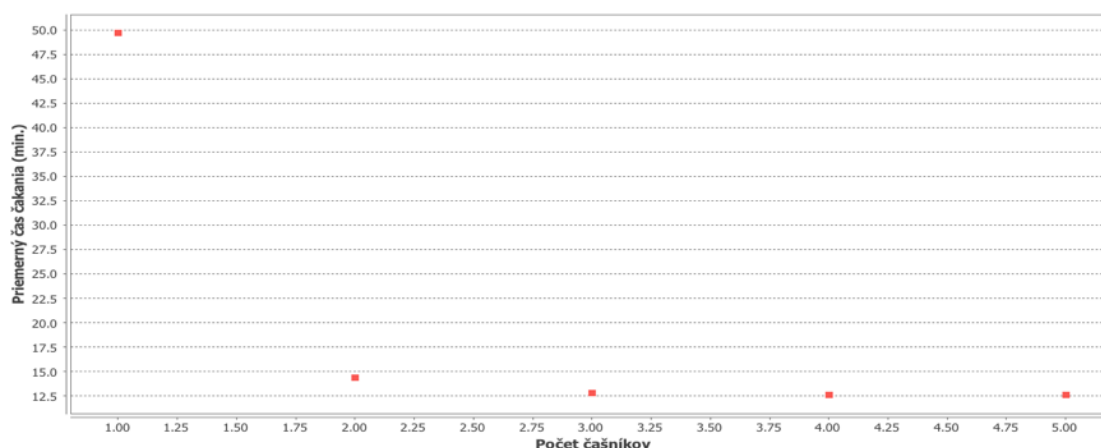
**Obr.5 Graf ušľavovania priemerného času čakania  
zákazníka pri trinástich kuchároch**

### **Určenie počtu čašníkov**

Po určení vhodného počtu kuchárov bolo potrebné určiť vyhovujúci počet čašníkov. Pre každú konfiguráciu (1 až 5 čašníkov) bola spustená simulácia s 40,000 replikáciami, pričom počet kuchárov bol nastavený na trinásť.

Pri jednom čašníkovi čakali zákazníci v priemere 49 minút 43.00 sekúnd. Pri dvoch čašníkoch bolo priemerné čakanie 14 minút 21.92 sekúnd. Pri troch čašníkoch bolo priemerné čakanie 12 minút 49.71 sekúnd. Pri štyroch čašníkoch bolo priemerné čakanie 12 minút 36.95 sekúnd a pri piatich čašníkoch bolo priemerné čakanie 12 minút 34.71 sekúnd. Tieto výsledky sú zobrazené na grafe Obr.6.

Pre uspokojenie prvej podmienky (priemerné čakanie zákazníka je menšie než štrnásť minút) sú teda potrebný aspoň traja čašníci, keďže pri dvoch čašníkoch je priemerné čakanie väčšie než štrnásť minút.



**Obr.6 Graf závislosti priemerného celkového času čakania zákazníkov od počtu čašníkov**

Ak je použité zahrievanie, pri otvorení reštaurácie pred ňou už čakajú zákazníci a preto je hneď po otvorení zaplnená. Preto sú priemerný čas čakania zákazníkov ako aj percento neobslúžených zákazníkov vyššie. Pri štrnástich kuchároch sú pre splnenie druhej podmienky potrebný aspoň štyria čašníci, pri trinástich kuchároch .

Počet kuchárov	Počet čašníkov	So zahrievaním		Bez zahrievania	
		Priemerný čas čakania	Neobslúžení zákazníci	Priemerný čas čakania	Neobslúžení zákazníci
13	3	12:56.92	10.27%	12:49.86	10.06%
13	4	12:43.69	10.03%	12:37.21	9.83%
13	5	12:41.10	10.01%	12:34.06	9.80%
14	2	14:14.47	11.81%	14:06.52	11.59%
14	3	12:36.55	10.03%	12:30.51	9.81%
14	4	12:22.50	9.75%	12:16.98	9.53%

**Tab.2 Výsledky simulácie pre rôzne hodnoty počtu čašníkov a kuchárov pri 20,000 replikáciách**

### Vytaženosť pracovníkov

Pri zamestnaní trinástich kuchárov a štyroch čašníkov v prípade bez zahrievania a chladenia simulácie je v reštaurácii v priemere 2.53 voľných čašníkov a 4.24 voľných kuchárov. Čašníci nepracujú v priemere 63.83% pracovnej doby zatiaľ čo kuchári nepracujú v priemere 33.93% pracovnej doby.

Pri zamestnaní štrnástich kuchárov a štyroch čašníkov v prípade so zahrievaním a chladením simulácie je v reštaurácii v priemere 2.58 voľných čašníkov a 5.2 voľných kuchárov. Čašníci nepracujú v priemere 62.11% pracovnej doby zatiaľ čo kuchári nepracujú v priemere 36.16% pracovnej doby.

### **Odporúčenie**

Vhodný počet zamestnancov závisí od toho, či pred otvorením reštaurácie pred ňou čakáva väčší počet zákazníkov.

Ak pred reštauráciou pred otvorením nečaká väčší počet zákazníkov, odporúčam zamestnať trinástich kuchárov a štyroch čašníkov.

Ak pred otvorením reštaurácie pred ňou čakáva väčší počet zákazníkov, štrnástich kuchárov a štyroch čašníkov.