

Semestrálna práca S2

Maximálny možný počet získaných bodov: 30 (z toho 10 za kontrolu rozpracovania)

Termín kontroly rozpracovania: 7. týždeň semestra na príslušnom cvičení (práca musí byť nahratá na e-learning do 10:00 v deň kontroly)

Termín na odovzdanie bez straty bodov: 8. týždeň semestra na príslušnom cvičení (práca musí byť nahratá na e-learning do 10:00 v deň odovzdania)

Firma *Elektrokomponenty* prevádzkuje špecializované predajne s elektroinštalačným materiálom. Nakoľko táto firma uvažuje o otvorení novej predajne v Žiline, rozhodla sa objednať si vypracovanie jednoduchej simulačnej štúdie zameranej na modelovanie a optimalizáciu novej predajne. Cieľom tejto štúdie je určiť počet pracovníkov, ktorí budú schopní zabezpečiť poskytovanie služieb na požadovanej úrovni s čo najmenšími nákladmi na pracovnú silu.

Predajne firmy *Elektrokomponenty* majú tri špecifické typy zákazníkov. Prvá skupina sú **bežní** zákazníci, druhá skupina sú **zmluvní** zákazníci a tretia skupina sú **online** zákazníci. Zákazníci prichádzajúci do predajne sa najprv postaví do jediného radu, ktorý sa tvorí pred automatom vydávajúcim poradové číslo. Pri automate musí zákazník zadať, ku ktorému typu zákazníkov patrí. Následne mu automat vydá poradové číslo a zákazník sa presúva do predajne.

V predajni sa nachádza niekoľko obslužných miest. Každé miesto disponuje obslužným pultom a zamestnancom, ktorý sa stará o obsluhu daného zákazníka. Pred tými obslužnými miestami je priestor, kde zákazníci po vstupe do predajne čakajú, kým bude zavolané ich poradové číslo. Tento priestor je však kapacitne obmedzený a preto, ak sa v ňom nachádza **viac ako 8 ľudí** (práve obsluhovaní zákazníci sa do tohto počtu nepočítajú), automat nevydá ďalšie poradové číslo a zákazník musí stáť v rade pred automatom, kým počet zákazníkov v tomto priestore neklesne na 8 a menej. Dve tretiny obslužných miest sa zaoberá bežnými a zmluvnými zákazníkmi, zvyšná tretina sa zaoberá online zákazníkmi. Zmluvní zákazníci majú prednosť pred bežnými zákazníkmi. Jednotliví zákazníci sú pridelovaní obslužným miestam spôsobom, že keď je skončená obsluha daného zákazníka, ďalší je priradený podľa času, kedy bol vydaný poradový lístok (lístok s najnižším časom je obslužený ako prvý).

Keď bežný alebo zmluvný zákazník pristúpi k obslužnému miestu, nadiktuje zamestnancovi svoju požiadavku (aký tovar potrebuje nakúpiť). Môže sa jednať o jednoduchú, mierne zložitú alebo zložitú objednávku. Následne zamestnanec odíde do skladu, kde daný tovar pripraví a zabalí. Potom ho prinesie k obslužnému miestu. V prípade, že sa jedná o online zákazníka, tento prišiel po vopred pripravenú objednávku a teda, jeho tovar je už pripravený na špeciálnom úložnom mieste a zamestnanec zákazníkovi tento tovar iba odovzdá.

Následne sa všetky typy zákazníkov presúvajú k pokladniám. V prípade, že je tovar príliš veľkých rozmerov, zákazník ho necháva na obslužnom mieste a toto miesto je obsadené, až do doby, kým sa zákazník nevráti od pokladne.

Každá pokladňa disponuje jedným pokladníkom a pred každou pokladňou sa tvorí samostatný rad, pričom zákazník sa postaví do radu, v ktorom stojí najmenej ľudí (v prípade rovnako dlhých radov si vyberie náhodne – s rovnomerným rozdelením pravdepodobnosti). V prípade, že pred žiadnou pokladňou nie je rad, zákazník sa postaví do tej, na ktorej aktuálne neprebieha obsluha (v prípade ak je

viacero pokladní bez obsluhy tak si vyberie náhodne – s rovnomerným rozdelením pravdepodobnosti). Pri pokladni prebieha platenie, pričom zákazníci môžu platiť kartou alebo v hotovosti.

Po ukončení platenia sa zákazníci, ktorí mali objednávku veľkých rozmerov vrátia k príslušnému obslužnému miestu, aby si objednávku prevzali, následne odchádzajú z predajne, obslužné miesto je voľné a je možné obslúžiť ďalšieho zákazníka. Ostatní zákazníci odchádzajú z predajne hneď po zaplatení (obslužné miesto uvoľnia hneď po odchode k pokladniám).

Pre vypracovanie simulačnej štúdie sú k dispozícii nasledujúce informácie:

- Počet obslužných miest a počet pokladní je premenná modelu. Pokiaľ by počet obslužných miest nebol deliteľný tromi, zaokrúhlite počet obslužných miest pre online zákazníkov nadol, zvyšok miest budú miesta pre ostatných zákazníkov.
- Prúd zákazníkov prichádzajúcich do predajne je poissonovský prúd s intenzitou $\lambda = 30$ zákazníkov za hodinu.
- 50 % zákazníkov tvoria bežní zákazníci, 15 % zákazníkov tvoria zmluvní zákazníci, zvyšok tvoria online zákazníci.
- Čas, ktorý trvá zadanie typu zákazníka automatu a vydanie poradového čísla je možné modelovať rovnomerným spojitým rozdelením $105s \pm 75s$ **$75s \pm 45s$**
- Čas potrebný na prevzatie (nadiktovanie) objednávky pri obslužnom mieste pre zmluvných a bežných zákazníkov sa riadi rovnomerným spojitým rozdelením $480s \pm 420s$
- Čas potrebný na odovzdanie tovaru online zákazníkovi sa riadi trojuholníkovým rozdelením s parametrami $\min = 60s$, $\max = 480s$ a $\text{modus} = 120s$.
- 60% zákazníkov má tovar príliš veľký a necháva ho na obslužnom mieste, keď odchádza zaplatiť. Ostatní zákazníci berú tovar so sebou na pokladňu.
- Čas potrebný na vyzdvihnutie si príliš veľkého tovaru z obslužného miesta po zaplatení sa riadi rovnomerným spojitým rozdelením $50s \pm 20s$
- Všetky rady v systéme sú typu FIFO.
- Otváracia doba predajne je od 9:00 do 17:30. Po 17.00 už nie je možné použiť automat na vydanie poradového čísla, čakajúci v rade pre automatom odchádzajú neobslužení. Obsluha zákazníkov, ktorí už vošli do predajne je dokončená podľa požiadaviek, aj napriek ukončenej otváracjej dobe.
- Pravdepodobnosti jednotlivých typov platenia a ich trvanie sú v tabuľke:

Typ platby	Doba trvania platby		Pravdepodobnosť
	Typ rozdelenia	Čas v sekundách	
Hotovosť	Diskrétno rovnomerné	$T_{\min} = 180, T_{\max} = 480$	0.4
Karta	Diskrétno rovnomerné	$T_{\min} = 180, T_{\max} = 360$	0.6

- Pravdepodobnosti jednotlivých zložítostí objednávky a ich trvanie prípravy sú v tabuľke:

Typ objednávky	Doba trvania prípravy		Pravdepodobnosť
	Typ rozdelenia	Čas v minútach	
Jednoduchá	Spojité empirické	$U = <2, 5); p = 0.6$ $U = <5, 9); p = 0.4$	0.3
Mierne zložitá	Spojité rovnomerné	$U = <9, 11)$	0.4
Zložitá	Spojité empirické	$U = <11, 12); p = 0.1$ $U = <12, 20); p = 0.6$ $U = <20, 25); p = 0.3$	0.3

Navrhните a implementujte **udalostne** orientovaný simulačný model predajne firmy *Elektrokomponenty*. Implementujte a využite vlastné univerzálne simulačné jadro a univerzálny generátor na generovanie exponenciálneho, trojuholníkového a spojitého empirického rozdelenia.

S modelom vykonajte experimenty tak, aby ste boli schopní zodpovedne odporučiť taký počet pokladní a obslužných miest, pri ktorom priemerný čas strávený zákazníkom v predajni (čas začína plynúť okamihom postavenia sa do radu pred automatom na poradové číslo a končí odchodom z predajne) nebude vyšší ako 25 minút. Zároveň nesmie priemerný čas čakania v rade pred automatom prekročiť 3 minúty.

Pre hodnotu času stráveného zákazníkom v predajni určite aj 95% interval spoľahlivosti. Ďalej graficky (na grafe) v programe dokumentujte závislosť priemerného počtu čakajúcich v rade pred automatom na počte pokladní $<2, 6>$ (počet obslužných miest nastavte na vami odporúčanú hodnotu).

Všetky závery stanovte na základe štatisticky vyhodnotených replikácií. Nezabudnite na všetky všeobecné požiadavky semestrálnych prác. V priebehu simulácie vypisujte všetky sledované veličiny, stav systému (aktuálne dĺžky frontov, stavy jednotlivých osôb, vrátane personálu), priebežné štatistiky atď. Taktiež vypočítajte priemerné percentuálne vytťaženie obslužných miest a priemerné percentuálne vytťaženie pokladní. Vyhodnoťte tiež priemerný čas (napr. 17:25), kedy z predajne odíde posledný zákazník.

Pre zisk 10 bodov za priebežnú kontrolu je potrebné najneskôr v siedmom týždni predviesť:

- navrhnutý udalostný diagram nakreslený vo zvolenej aplikácii (nie perom na papier) (3 body),
- naprogramované a **otestované** generátory pre exponenciálne, trojuholníkové a spojité empirické rozdelenie pravdepodobnosti (1 bod),
- simulačný model, ktorý je možné spustiť prostredníctvom GUI aplikácie s aspoň čiastočným sledovaním simulačného behu (mení sa aspoň simulačný čas a stavy jednotlivých osôb, vrátane personálu).

Nie je potrebné mať pripravené štatistiky a model môže vykazovať chyby, ktoré budú neskôr odladené.

Pracujte každý samostatne!