



# SEMESTRÁLNA PRÁCA S3

Agentová simulácia

Diskrétna simulácia

Dokumentácia a simulačná štúdia pre spoločnosť AirCar Rental

Jozef Chmelár

[E-mailová adresa]

## Semestrálna práca S3

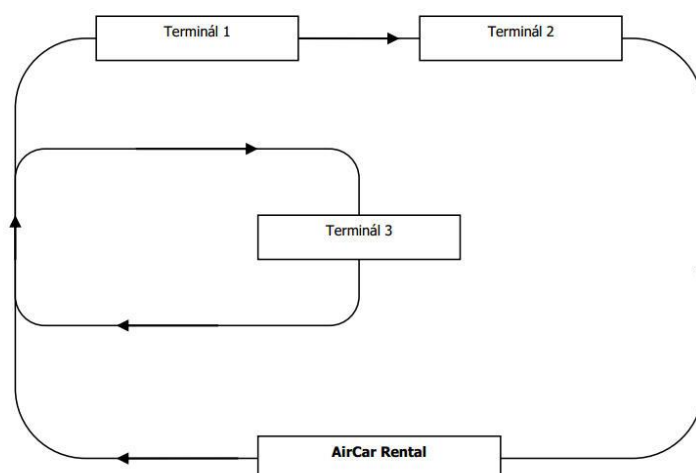
**Maximálny možný počet získaných bodov: 60 (z toho 15 za kontrolu rozpracovania)**

**Termín kontroly rozpracovania: 11 týždeň semestra**

**Termín na odovzdanie bez straty bodov: 12 týždeň semestra**

Spoločnosť AirCar Rental prevádzkujúca požičovne automobilov sa rozhodla otvoriť novú pobočku pri stredne veľkom medzinárodnom letisku. Cieľom spoločnosti AirCar Rental je poskytovať zákazníkom lacné, no pritom kvalitné služby. Pri posudzovaní kvality je čoraz dôležitejším faktorom priemerný čas obsluhy zákazníka. Keďže spoločnosť patrí do kategórie lacných požičovní, jej prevádzky sú umiestnené mimo letiskových terminálov, čo však so sebou prináša problém prepravy zákazníkov k výdajným a zberným miestam. Zákazníci sú preto k týmto miestam transportovaní autobusmi.

Minibusy premávajú na okružnej trase podľa Obr.1. Prvou zastávkou je Terminál 1, kde nastúpia cestujúci, autobus potom pokračuje k Terminálu 2, kde nastúpia (ak je voľné miesto) ďalší zákazníci. Autobus pokračuje k budove výdaja a príjmu automobilov. Tu všetci cestujúci vystúpia a postavajú sa do jediného radu na požičanie/vrátenie automobilu. Po vystúpení všetkých cestujúcich, môžu nastúpiť zákazníci, ktorí už vrátili požičané auto. Autobus následne pokračuje k odletovému terminálu označenému Terminál 3 (len v prípade, že vezie odlietajúcich zákazníkov), kde vystúpia všetci cestujúci. Ďalej autobus smeruje opäť k Terminálu 1 a celý cyklus sa opakuje.



Obr. 1.: Schéma trasy autobusu

Priemerná rýchlosť pohybu minibusu je 35 km/h. Vzdialenosti medzi jednotlivými zastávkami udáva nasledovná tabuľka:

Z	Do	Vzdialenosť (km)
AirCar Rental	Terminál 1	2,5
AirCar Rental	Terminál 3	2,9
Terminál 3	Terminál 1	0,9
Terminál 1	Terminál 2	0,5
Terminál 2	AirCar Rental	3,4

Analýza hodinového počtu zákazníkov bola vykonaná počas špičky medzi 16:00 a 20:30 **a bol zistený Poissonovský vstupný tok**. Výsledky sú uvedené v 15-minútových intervaloch pre jednotlivé miesta (v počtoch zákazníkov za hodinu):

Od	Do	Terminál 1 (zák/h)	Terminál 2 (zák/h)	AirCar Rental (vrátenie auta) (zák/h)
16:00	16:15	4	3	12
16:15	16:30	8	6	9
16:30	16:45	12	9	18
16:45	17:00	15	15	28
17:00	17:15	18	17	23
17:15	17:30	14	19	21
17:30	17:45	13	14	16
17:45	18:00	10	6	11
18:00	18:15	4	3	17
18:15	18:30	6	4	22
18:30	18:45	10	21	36
18:45	19:00	14	14	24
19:00	19:15	16	19	32
19:15	19:30	15	12	16
19:30	19:45	7	5	13
19:45	20:00	3	2	13
20:00	20:15	4	3	5
20:15	20:30	2	3	4

Počty uvedené v tabuľke predstavujú iba zákazníkov, ktorí si požičiavajú auto, títo sú však často sprevádzaní ďalšími ľuďmi. Skúsenosti ukazujú, že 60 % zákazníkov nemá ďalších spolucestujúcich, 20 % zákazníkov má jedného spolucestujúceho, 15 % má dvoch a 5 % troch spolucestujúcich. Aj keď títo dodatoční pasažieri neovplyvňujú počet vypožičaných áut, je nutné s nimi počítať pri stanovovaní kapacity minibusov.

Každý zamestnanec pobočky môže vybavovať prichádzajúcich aj odchádzajúcich zákazníkov. Počas prieskumu bol zaznamenaný čas potrebný na vybavenie vzorky cestujúcich (prichádzajúcich aj odchádzajúcich). Zozbierané dáta (v minútach) sa nachádzajú v súboroch *In.dat* a *Out.dat*.

Celková cena práce predstavuje 12,50 €/hod na vodiča a 11,50 €/hod na pracovníka vybavujúceho cestujúcich. Náklady na obstaranie minibusov nie je potrebné uvažovať, zaujímajú nás iba mesačné výdavky.



K dispozícii sú 3 druhy minibusov, ktoré môžu byť použité. Ich vlastnosti udáva nasledovná tabuľka.

Typ	Počet miest	Cena na km (€)
A	12	0,28
B	18	0,43
C	30	0,54

Pravidlom firmy je nepoužívať na jednom letisku viac typov minibusov, pretože to môže byť máťuce pre zákazníkov a zvyšuje to náklady na údržbu. Prieskumy naznačujú, že zákazníci preferujú väčšie minibusy.

Vzhľadom k obmedzeným dátam sa v simulačnej štúdii zamerajte len na časový úsek od 16:00 do 20:30, v ktorom môžete považovať počet personálu a minibusov za konštantný.

Pre vypracovanie simulačnej štúdie sú ďalej k dispozícii nasledujúce informácie:

- Cestujúci nastupujú do minibusu systémom FCFS (first-come, first-served).
- Cestujúci vystupujú z minibusu a radia sa do radu na zapožičanie automobilu systémom FCFS podľa časov príchodov k terminálom.
- Časová náročnosť základných operácií, ktoré je potrebné modelovať pomocou spojitého rovnomerného rozdelenia je nasledujúca:
  - a) doba nástupu cestujúceho je:  $p = 12s \pm 2s$ ,
  - b) doba výstupu cestujúceho je:  $r = 6s \pm 4s$ .

Podľa prieskumu je väčšina zákazníkov ochotná akceptovať primerané zdržanie. Pre prichádzajúcich cestujúcich je prijateľný čas *20 minút* (od príchodu na zberné miesto pred terminálom, po získanie kľúčov od auta). Odlietajúci zákazníci, ktorí vracajú požičané auto sa viac ponáhľajú a sú ochotní čakať najviac *18 minút* (od príchodu k miestu odovzdania auta po vystúpenie z minibusu pri letiskovej hale).

**Od simulačnej štúdie očakáva spoločnosť AirCar Rental zistenie, aká konfigurácia minibusov a personálu (pracovníkov vybavujúcich zákazníkov a vodičov minibusov) poskytne ekonomicky najvýhodnejšiu prevádzku požičovne pri dodržaní vysokej kvality poskytovaných služieb.**

Aj keď prieskum naznačil, že všetci zákazníci by chceli byť vybavení do *20 minút* pri prilete a do *18 minút* pri odlete, firma si je vedomá toho, že dosiahnutie tohto cieľa je veľmi ťažké. AirCar Rental je preto pri tejto základnej štúdii ochotná akceptovať 90% pravdepodobnosť uspokojenia zákazníkov.

Na základe simulačného modelu poskytnite firme AirCar Rental doporučená, ktoré jej umožnia splniť dané ciele. Súčasťou riešenia je aj odhad prevádzkových nákladov pre navrhované konfigurácie. Implementujte a navrhujte podrobné štatistiky o správaní sa systému, ktoré Vám umožnia urobiť kvalifikované závery (vyťaženie mikrobusev, vyťaženie pracovníkov, dĺžka čakania na príchod mikrobusev pred terminálom 1, dĺžka čakania na príchod mikrobusev pred terminálom 2, dĺžka čakania v rade na vybavenie v spoločnosti, priemerný počet ľudí čakajúcich pred terminálom 1, priemerný počet ľudí čakajúcich pred terminálom 2, priemerný počet ľudí čakajúcich v rade v spoločnosti, priemerný počet ľudí čakajúcich na odvoz k terminálu 3, atď.). Predpokladá sa, že navrhnete a vyhodnotíte ďalšie štatistiky popisujúce modelovaný systém, pomocou ktorých budete schopní zodpovedne posúdiť činnosť modelovaného systému. Pre všetky štatistiky určite aj 90% interval spoľahlivosti.

Keďže sa o tento projekt uchádzajú viaceré firmy, objednávateľ simulačnej štúdie sa rozhodol, že nebude poskytovať ďalšie informácie počas trvania projektu. V prípade nejasností však môžete urobiť **rozumné a zdokumentované predpoklady**.

#### Úloha:

Navrhujte a implementujte **agentovo orientovaný model**, ktorý bude modelovať **všetky** vyššie popísané vlastnosti reálneho systému (bez ohľadu na ich vplyv na výsledok) a bude orientovaný na použitie

pre uvedené ciele. Funkčnosť simulačného programu preukážte podrobným a prehľadným priebežným zobrazovaním situácie v systéme počas behu programu. Súčasťou dokumentácie riešenia je **váš** grafický návrh architektúry modelu. Súčasťou práce sú aj zdokumentované výsledky **všetkých** realizovaných experimentov.

**Pokiaľ sa rozhodnete využiť iné voľne dostupné simulačné jadro ako ABAsim, je potrebné to pred začatím práce nahlásiť (na cvičení). Musí ísť o dobre odladené a voľne dostupné knižnice.**

**Nezabudnite na všetky všeobecné požiadavky semestrálnych prác.** V priebehu simulácie vypisujte všetky sledované veličiny, stav systému (čo sa deje s jednotlivými vozidlami (kde sa presne nachádzajú), čo presne robia jednotliví pracovníci a pod.), priebežné štatistiky atď. Súčasťou dokumentácie bude aj **vaša** analýza vstupných dát. Ak pre potreby analýzy budete implementovať program, odovzdávate aj ten.

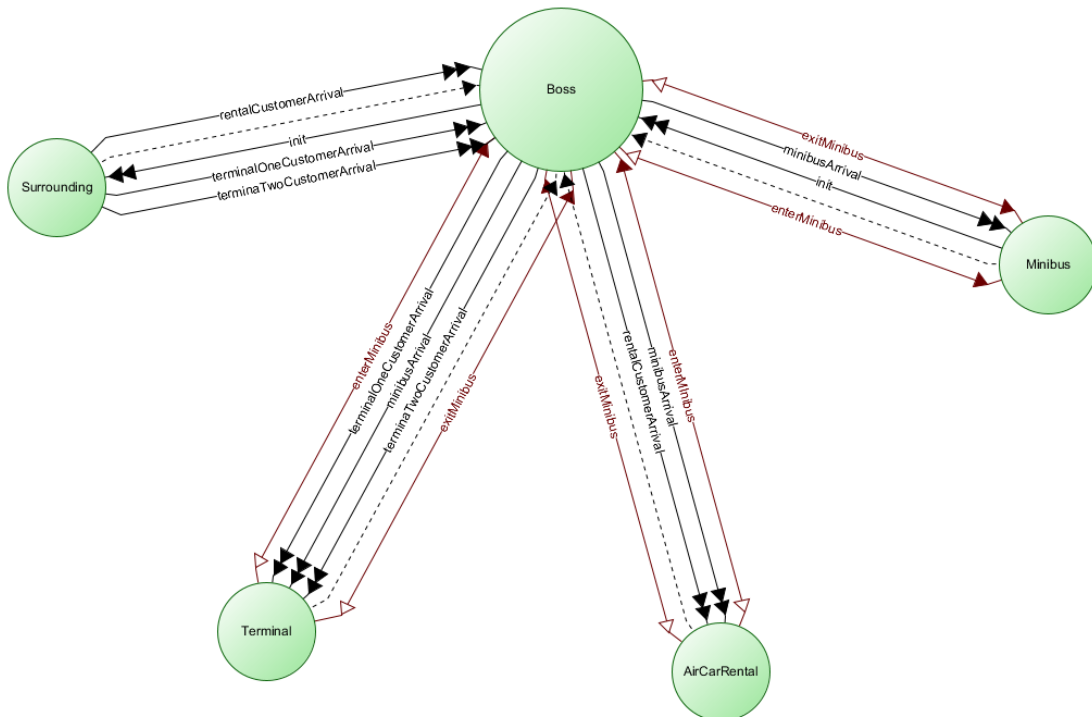
#### **Pracujte každý samostatne!**

Pre získanie **15 bodov** za kontrolu rozpracovania v jedenástom týždni je potrebné: pripraviť kompletný agentovo orientovaný model (ukázať nakreslený model v elektronickej podobe), implementovať simulačný model. Nie je potrebné mať štatistické vyhodnotenia a model môže vykazovať menšie nedostatky, ale musí fungovať. V GUI bude možné už sledovať aspoň stav jednotlivých vozidiel a pracovníkov. Pri kontrole rozpracovania je možné získať aj menej bodov. Body budú závisieť od stavu rozpracovania predvedenej semestrálnej práce.

## Riešenie

### Agentový návrh

Agentový model sa skladá z piatich agentov ktorí si navzájom posielajú správy a starajú sa o chod modelu.



### Agent modelu

Agent modelu, alebo aj „Boss“ sa nachádza na vrchole štruktúry. Prechádzajú cez neho všetky správy. Na začiatku simulácie posielajú agentovi Minibusu a Okolia správu „Init“, ktorá odštartuje simulačný model. Upozorňuje model o ukončení zahrievania.

### Agent okolia

Agent okolia, alebo aj „Surrounding“ má na starosti príchody a odchody zákazníkov do modelu. Po príchode zákazníka je odoslaná správa korešpondujúcemu agentovi terminálu, alebo AirCarRental-u. Pokiaľ zákazník odchádza zo systému, je smerovaný cez agenta okolia, kde sa zaznamená jeho odchod.

### Agent terminálu

Agent terminálu, obsahuje tri inštancie triedy Terminál. Podľa príchodu zákazníka na terminál, je správa poslaná konkrétnej inštancii, kde sa zákazník postaví do radu a čaká na príchod minibusov. Po príchode autobusu na terminál, je odoslaná správa do minibusu, ktorá žiada minibus o nastúpenie skupinky ľudí.

### Agent AirCarRental

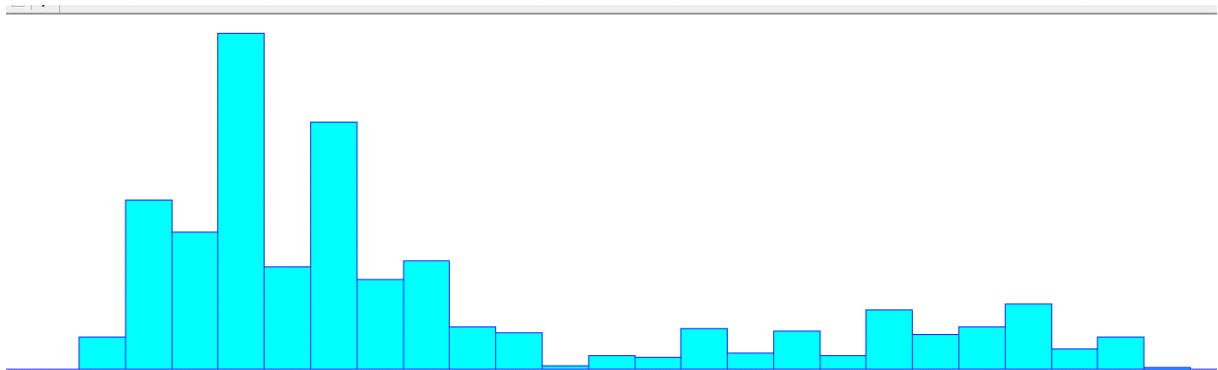
Agent obsahuje zoznam všetkých pracovníkov AirCarRental. Po príchode zákazníka do agenta, sa postaví do radu a pokiaľ je k dispozícii voľný pracovník je k nemu rovno priradený. Po dokončení obsluhy zákazníci odchádzajú do okolia, alebo sa postaví do radu a čakajú na odchod autobusu do Terminálu

## Agent minibusu

Agent minibusu má na starosti presun autobusov na nasledujúcu pozíciu. Taktiež má asistentov ktorí sa starajú o nástup, alebo výstup skupiny. Podľa naplnenia autobusu sa automaticky nastavuje nasledujúca zastávka minibusu.

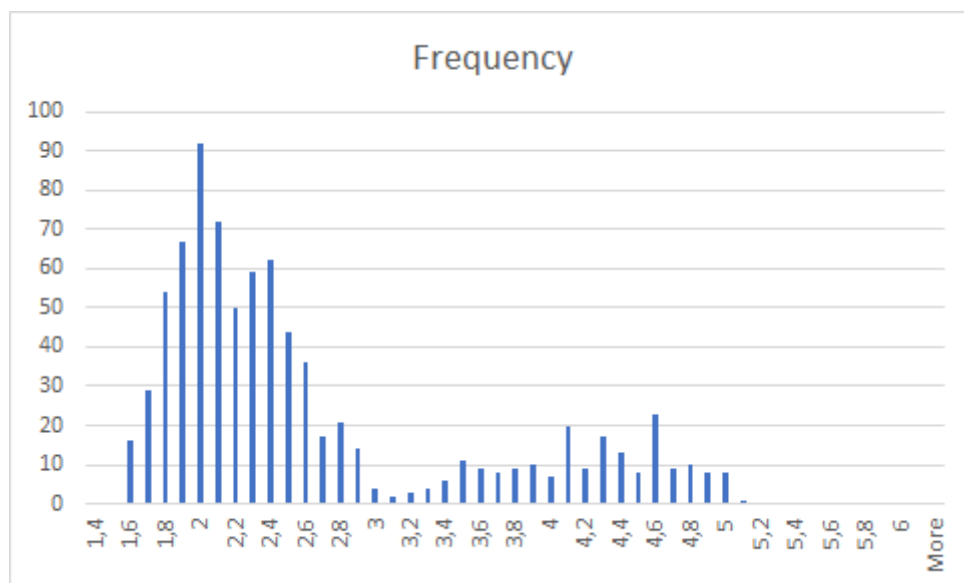
## Analýza vstupných dát

Vstupné dáta boli spracované pomocou Input Analyzer . Súbor „In.dat“ vyhodnotil softvér nasledovne.



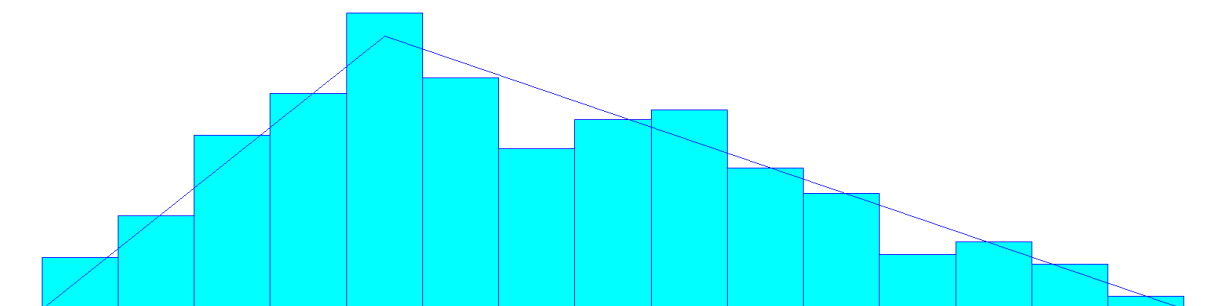
Obrázok 1 Graf in.dat

Rozdelenie ktoré prijal softvér nebolo pre naše účely vhodné. Vstupné dáta boli ďalej analyzované v Exceli, kde sme spracovali histogram.

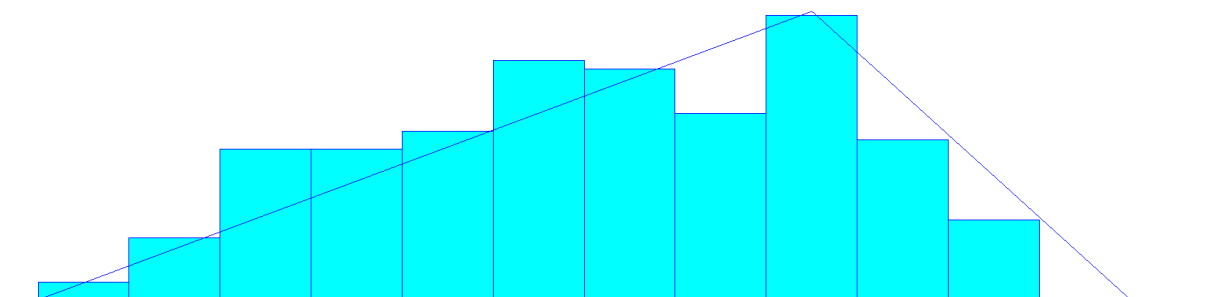


Obrázok 2 Histogram vstupných dát

Vstupné dáta boli rozdelené do dvoch skupín. Podľa skúseností a znalostí o trojuholníkovom rozdelení boli vstupné dáta rozdelené na dve časti, menšie ako tri a väčšie ako tri. Tieto dáta boli znova osobitne analyzované v Input Analyzer



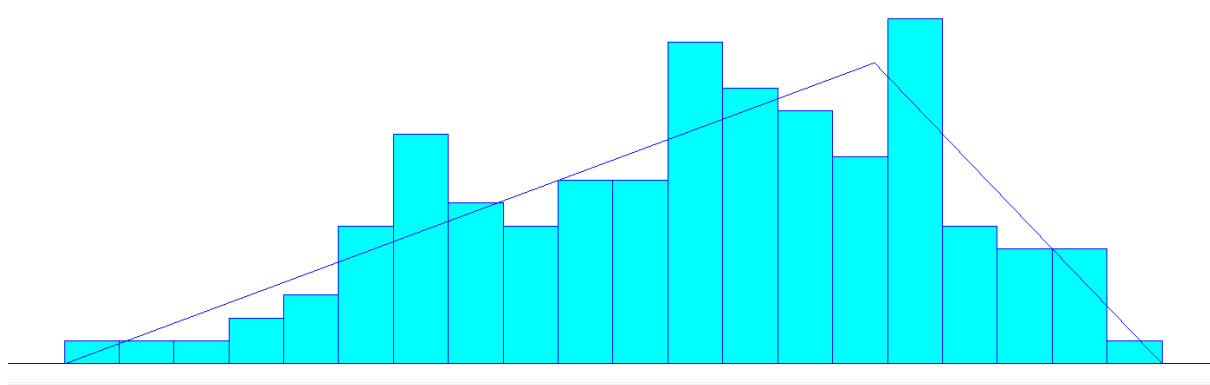
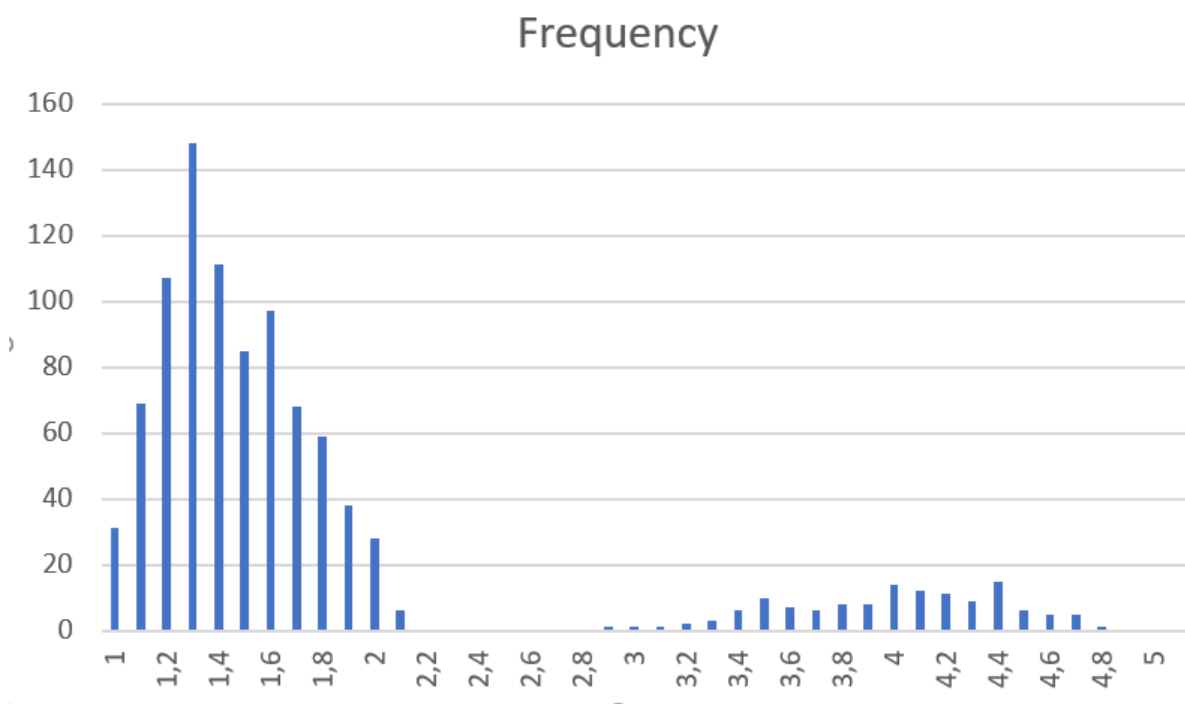
Rozdelenie popisujúce obsluhu zákazníkov ktorí si požičiavajú auto :  $\text{TRIA}(1.6, 2.06, 3)$   
637 vzoriek



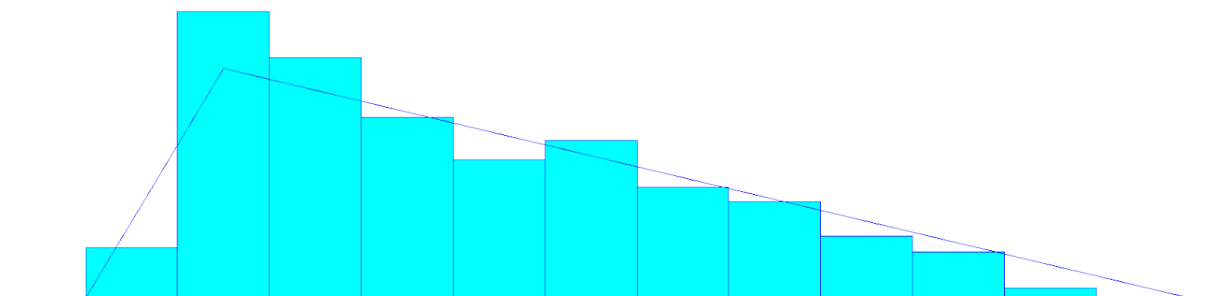
Rozdelenie popisujúce obsluhu zákazníkov ktorí si požičiavajú auto :  $\text{TRIA}(3, 4.63, 5.31)$   
195 vzoriek



Rovnako boli spracované dáta pre súbor out.dat



Rozdelenie popisujúce obsluhu zákazníkov ktorí vracajú auto TRIA(2.9, 4.3, 4.8)  
131 vzoriek



Rozdelenie popisujúce obsluhu zákazníkov ktorí vracajú auto TRIA(0.999, 1.15, 2.21)

847 vzoriek

Rozhodnutie o použití rozdelenia bolo vykonané pomocou spojitého rozdelenia od 0 po 1  
a pravdepodobnosťou  $\frac{\text{početVzoriek}}{\text{sumaVzoriek}}$

## Implementácia

Simulácia je implementovaná v jazyku [Kotlin](#) v spolupráci so simulačným jadrom ABA-Core. GUI bolo vytvorené pomocou frameworku [TornadoFX](#). Na štylovanie GUI bolo použité CSS od spoločnosti [Agix](#). Mimo iného boli využité technológie Git, Gradle, JavFX a KotlinTest. Implementoval som extension funkcie pre uľahčenie práce s ABACore.

## Zahrievanie

Simulácia sa spustí o 12:00 a 4 hodiny pracuje s vstupnými tokmi uvedenými v tabuľke zadania na prvom mieste. Po 4 hodinách sa resetujú štatistiky a od 16:00 sa zbierajú od znova.

## Chladenie

Po čase 20:30 prestanú do modelu vstupovať noví zákazníci. V AirCarRental sú obslužení zákazníci ktorí čakali na obsluhu. Pokiaľ sa nachádzajú v AirCarRental zákazníci ktorí čakajú na prepravu na T3 autobus ich prepraví. Ak boli na T3 vyložený všetci zákazníci a model je prázdny simulácia končí.

## Nastupovanie a vystupovanie zákazníkov

Predpokladáme, že skupina nastupuje do autobusu spoločne. To znamená, že skupina napríklad 3 ľudí naraz odíde z radu a bude nastupovať do autobusu. Pre každú osobu v skupine je generovaný čas nástupu a je sčítaný dokopy. Po príchode do AirCarRental sa postaví do radu iba líder skupiny a ten je obsluhovaný. Potom ako skončila jeho obsluha sa celá skupinka presunie do okolia, alebo do radu na zastávke do terminálu 3.

## Vyhodnotenie simulácie

### Cieľ

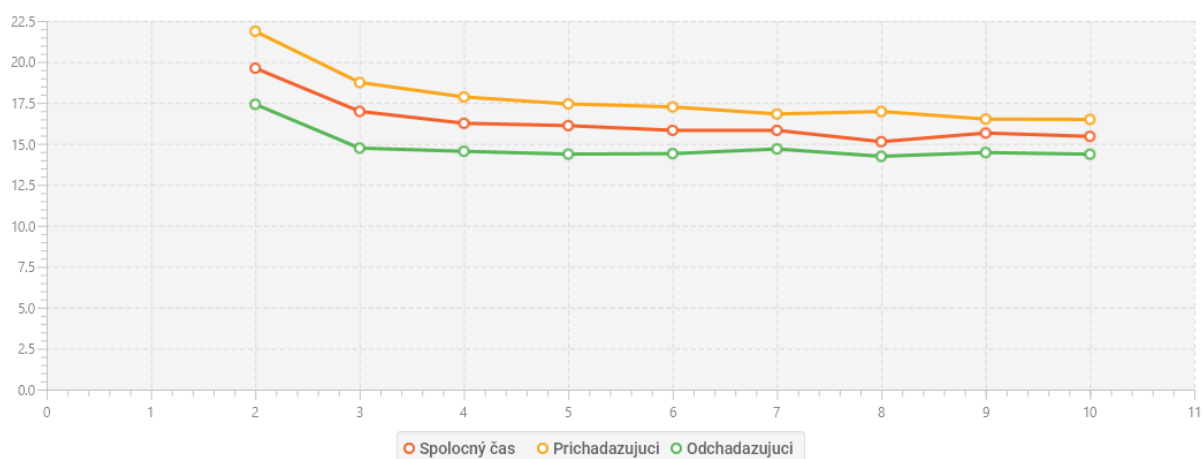
Cieľom simulácie je určiť minimálny počet autobusov jedného typu a minimálneho počtu pracovníkov ktorý garantuje 90% zákazníkov vybavenie auta do 20 minút a vrátenie auta do 18 minút. Na základe grafov ktoré sú vykresľované v aplikácii som sa dostával ku konkrétnemu výsledku ktorý som ďalej skúmal.

### Simulačná štúdia

Začal som experimenty s počtom zamestnancov a minibusov rovný jednej. To spôsobovalo, že zákazníci stáli stále v rade na AirCarRental a začali sa hromadiť aj na termináloch. Zvýšenie počtu pracovníkov výrazne zmenilo výsledok. Možnosti kde pracuje len jeden zamestnanec a vodič minibusu jednoznačne vylučujem.

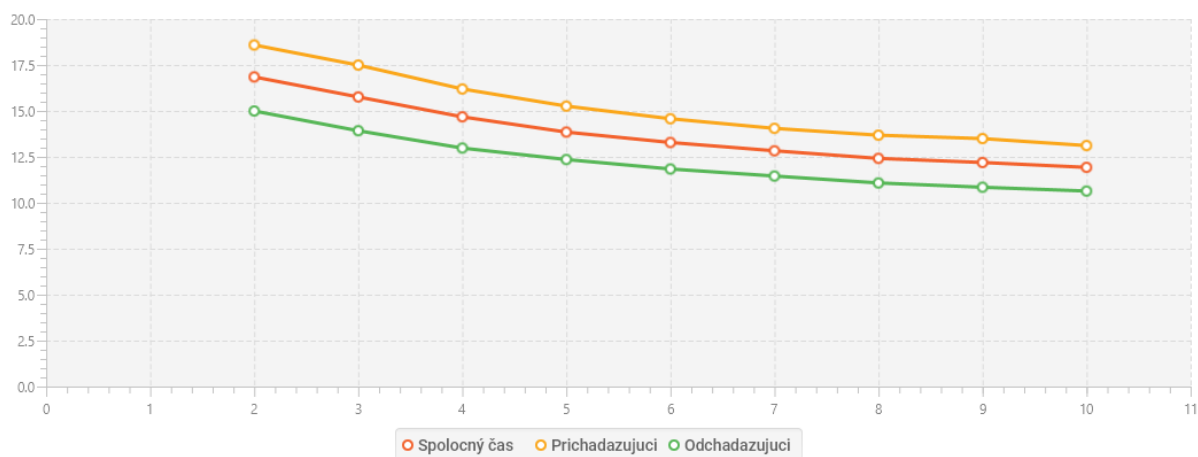
Skúmanie pokračovalo s minibusom typu A keďže sa jedná o najlacnejší minibus. Výsledky sú uvedené v minútach v 90% intervale spoľahlivosti.

Pri skúmaní závislosti počtu zamestnancov pri dvoch minibusoch, je jasné že už pri troch zamestnancoch máme výsledky ktoré sú spĺňajú naše ciele



Obrázok 3 Závislosť času na počte zamestnancov pri dvoch minibusoch

Následne sme skúmali závislosť počtu minibusov pri počte zamestnancov rovný trom.



Obrázok 4 Závislosť času na počte minibusov pri dvoch zamestnancoch

Najlacnejší variant ktorý spĺňa ciele je variant **dva minibusy a traja zamestnanci.**

Ďalej som v skúmaní výsledkov pre ďalšie typy minibusov nepokračoval, keďže všetky budú drahšie a pre zákazníka irelevantné, keďže tento lacný variant poskytuje výsledky ktoré prevyšujú očakávania zákazníka.

Minibus	Zamestnanci	Čas v systéme prichádzajúci	Čas v systéme odchádzajúci
2	2	<21,7901 , 21,9537>	<17,2336 , 17,3693>
2	3	<18,852 , 18,957>	<14,8539 , 14,9357>
3	2	<20,8957 , 20,9804>	<16,8203 , 16,8982>
3	3	<17,4867 , 17,5216>	<13,8883 , 13,9127>
4	2	<19,6307 , 19,7142>	<15,9089 , 15,9837>
4	3	<16,1866 , 16,2215>	<12,9921 , 13,0174>

## Štatistiky

### 90% interval spoľahlivosti

Štatistika	Priemer	min	max
Čas v systéme prichádzajúci	18,88	18,83	18,93
Čas v systéme odchádzajúci	14,87	14,82	14,91
Čas v systéme spoločný	16,94	16,90	16,99

### 90% interval spoľahlivosti

Štatistika	Priemer	min	max
Čas čakania Terminál 1	5,97	5,95	5,99
Dĺžka fronty Terminál 1	3,78	3,61	3,94
Dĺžka fronty Terminál 2	3,78	3,63	3,94
Čas čakania Terminál 2	6,02	6,00	6,04

### 90% interval spoľahlivosti

Štatistika	Priemer	min	max
Dĺžka fronty na obsluhu	0,88	0,88	0,89
Čas čakania na obsluhu	2,40	2,39	2,41
Dĺžka fronty na odvoz	7,67	7,28	8,05
Čas čakania na odvoz	6,02	6,00	6,04

### 90% interval spoľahlivosti

Štatistika	Priemer	min	max
Vyťaženosť obsluhujúceho	45,03	44,92	45,14
Vyťaženosť autobusov	10,62	10,47	10,76
Počet najazdených km	526,56	524,82	528,30
Cena za najazdene km	147,52	146,91	146,13
Cena práce šoférov	187,84	187,79	188,89
Cena práce obsluhujúci	302,31	302,74	302,76
Cena spolu	638,67	636,61	639,74



## Záver

AirCarRental odporúčam konfiguráciu 2 minibusy typu A, 3 zamestnanci. Vďaka tejto konfigurácii si môže byť spoločnosť istá uspokojením 90% svojich zákazníkov.