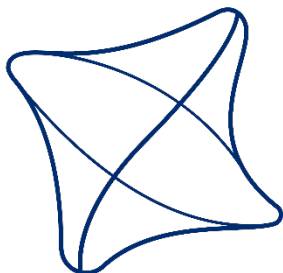


Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky



Semestrálna práca S1

Diskrétna simulácia

Bc. Dominik Ježík

2025



Obsah

1 Simulačné jadro	3
2 Generátory pseudonáhodných čísel	5
2.1 Generátor násad	5
2.2 Generátor diskretného a spojitého rovnomerného rozdelenie	5
2.3 Generátor spojitého a diskretného empirického rozdelenia	5
3 Vyhodnotenie simulačných experimentov	6
3.1 Vlastná stratégia 1.....	7
3.2 Vlastná stratégia 2.....	8
3.3 Vlastná stratégia 3.....	8
3.4 Grafy.....	10



1 Simulačné jadro

Základom simulačného jadra je abstraktná trieda *MonteCarloSimulationCore*, ktorá obsahuje metódy cyklu simulácie metódy Monte Carlo. V metóde *BeforeSimulation* sa nachádza inicializácia inštancie generátora násad, ktorú používajú ostatné používané generátory. Definované sú aj ostatné metódy – *BeforeReplication*, *AfterReplication*, *AfterSimulation* a abstraktná metóda *ExecuteReplication*.

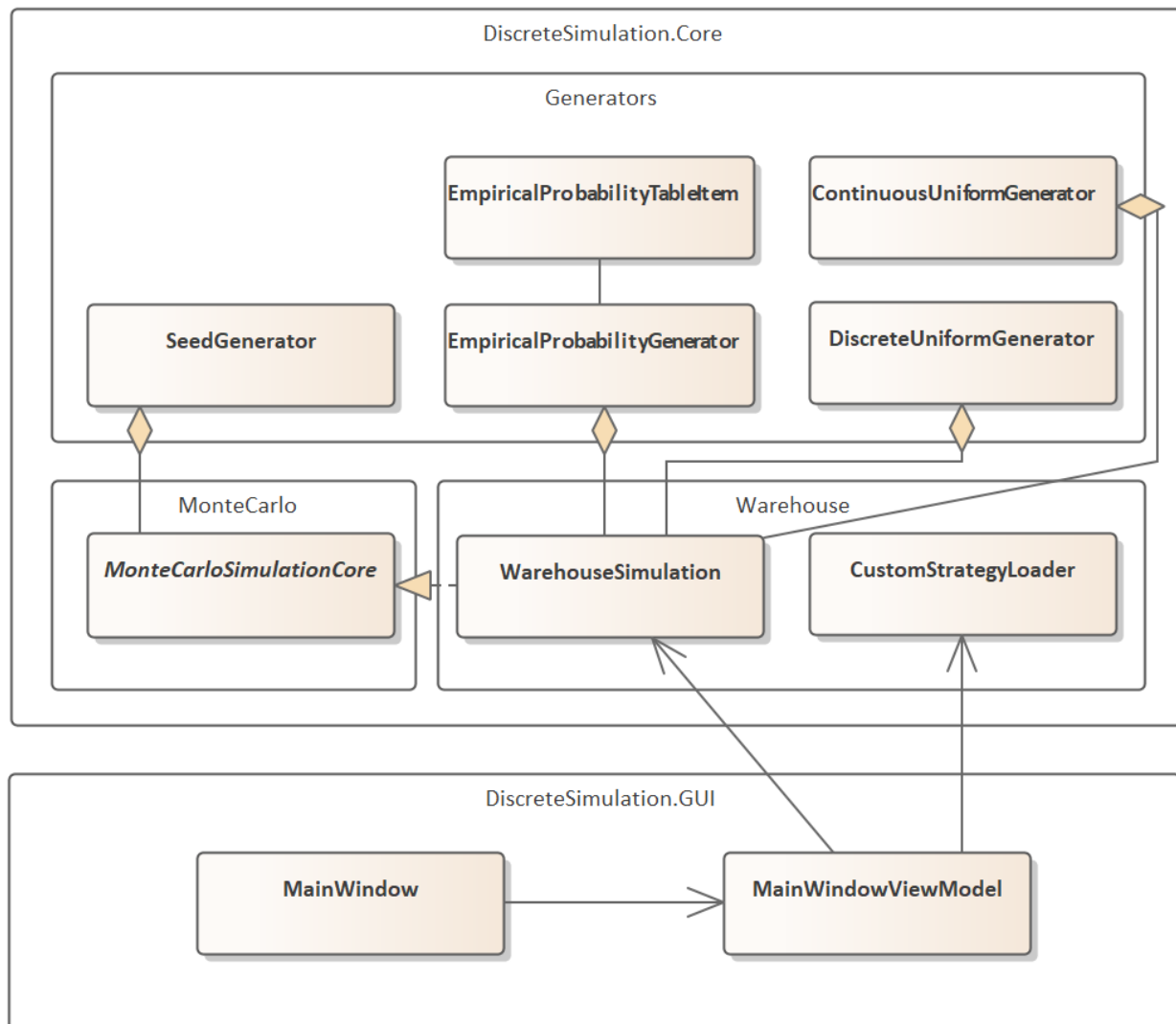
Hlavná metóda *StartSimulation* obsahuje cyklus, ktorý vykonáva zadaný počet replikácií a volá postupne jednotlivé metódy simulácie. Na konci každej replikácie sa zavolá C# event *ReplicationEnded*, na ktorý si programátor dokáže vložiť svoju lambda funkciu. Vykonaním tohto eventu a spustením lambda funkcie je programátor na GUI časti upozornený o ukončení replikácie a môže si vyžiadať z jadra simulácie štatistiku (prípadne štatistiky) a číslo dokončenej replikácie. Podobne existuje event *SimulationEnded*, vďaka ktorému je GUI programátor upozornený o ukončení simulácie – môže odblokovať tlačidlo pre opätovný štart simulácie. V cykle replikácií sa vykonáva pravidelná kontrola, či nebolo vyžiadané predčasné ukončenie simulácie.

Pre implementáciu už samotného modelu existuje trieda *WarehouseSimulation*, ktorá je potomkom *MonteCarloSimulationCore*. V metóde *BeforeSimulation* sa inicializujú všetky používané generátory, ktoré sú uložené ako atribúty triedy. Zresetuje sa súčet nákladov, do ktorého sa pripočítavajú náklady na konci každej replikácie. Tiež sa vyberie zvolená stratégia – stratégie sú uložené v jednotlivých metódach preto sa cez if skontroluje zvolená stratégia a podľa nej sa do pomocnej premennej uloží referencia na danú metódu so stratégiou. Výhodou je, že počas vykonávania replikácie už nemusíme vykonávať žiadny dodatočný if check na stratégiu.

V metóde *ExecuteReplication* je implementácia jedinej replikácie. Na začiatku si vytvoríme pomocné premenné pre súčet nákladov za replikáciu a pole aktuálne množstvo súčiastok na sklade. V cykle prechádzame 30 týždňov, kde na začiatku vykonáme zvolenú stratégiu – s danými pravdepodobnosťami dodávateľ dodá do skladu súčiastky alebo nedodá. Pripočítame náklady na aktuálne súčiastky v sklade za prvé štyri dni. Následne vygenerujeme počet súčiastok požadovaných odberateľom a tieto hodnoty odčítame zo zásob v sklade. Skontrolujeme či sme

pri niektorých súčiastkach neprešli do záporných čísel a ak áno tak za tieto súčiastky započítame pokutu a zresetujeme počet na sklade na 0. Pre zvyšné súčiastky na sklade započítame náklady na skladovanie za zvyšné 3 dni týždňa. Po vykonaní 30 týždňov započítame náklady do súčtu nákladov všetkých replikácií.

Trieda *CustomStrategyLoader* slúži na načítanie textového súboru, ktorý má formát celočíselnej matice s rozmermi 30 riadkov a 6 stĺpcov. Slúži pre načítanie vlastnej stratégie definovanej používateľom, kde každý riadok reprezentuje postupne každý týždeň a v jednom riadku sú prvé 3 hodnoty množstvá súčiastok (3 typy súčiastok) dodávané prvým dodávateľom a zvyšné 3 druhým dodávateľom.





2 Generátory pseudonáhodných čísel

V modeli simulácie nákladov na prevádzku skladu je potreba generovania pseudonáhodných čísel, ktoré majú buď rovnomerné diskrétne alebo spojité rozdelenie. Tiež potrebujeme generovať čísla z empirického rozdelenia, ktoré môže byť diskrétne alebo spojité.

2.1 Generátor násad

Generátor násad je realizovaný triedou *SeedGenerator*, ktorý má konštruktor s parametrom *seed* a bez parametrický konštruktor. Trieda je obalovou triedou nad *Random* a má iba jednu metódu *Next*, ktorá generuje násady pre ostatné používané generátory.

2.2 Generátor diskrétneho a spojitého rovnomerného rozdelenie

Triedy *DiscreteUniformGenerator* a *ContinuousUniformGenerator* sú obalovými triedami nad inštanciou triedy *Random*. Do konštruktora je zadaný rozsah rovnomerného rozdelenia a násada pre inštanciu *Random*. Pre vygenerovanie a získanie čísla je k dispozícii bez parametrická metóda *Next*. Vďaka tomuto prístupu sa programátor nemôže pomýliť a nesprávne pracovať s generátorom, keďže je zamedzené aby si z jednej inštancie *Random* vygeneroval čísla z rôznych rozdelení pravdepodobnosti.

2.3 Generátor spojitého a diskrétneho empirického rozdelenia

Flexibilný generátor spojitého a diskrétneho empirického rozdelenia je implementovaný triedou *EmpiricalProbabilityGenerátor*. Do konštruktora sa zadáva boolean parameter na rozhodnutie či ide o diskrétne alebo spojité rozdelenie. Zadáva sa aj tabuľka rozdelenia v podobe zoznamu objektov typu *EmpiricalProbabilityTableItem* (obsahuje spodnú a hornú hranicu generovaných čísel a pravdepodobnosť). Tretí parameter je buď inštancia triedy *SeedGenerator* alebo priamo zoznam seedov pre vnútorné inštancie *Random* (ich počet musí byť rovný počtu záznamov v tabuľke + 1). Kvôli tejto flexibilitě tretieho parametra má trieda 2 verzie konštruktora.



3 Vyhodnotenie simulačných experimentov

Simulácia bola postupne spustená so 4 stratégiami, ktoré boli uvedené v zadaní semestrálnej práce a navyše vlastné stratégie. Celkové náklady na prevádzku skladu súvisiace so skladovaním súčiastok vrátane pokút za nedodanie počas 30 týždňov prevádzky sú uvedené v tabuľke. Bolo vykonaných **100 000 000 replikácií** pre každú stratégiu.

- Stratégia A: Objednávanie každý týždeň od dodávateľa 1
- Stratégia B: Objednávanie každý týždeň od dodávateľa 2
- Stratégia C: Objednávanie každý nepárny týždeň od dodávateľa 1 a každý párny týždeň od dodávateľa 2
- Stratégia D: Objednávanie každý nepárny týždeň od dodávateľa 2 a každý párny týždeň od dodávateľa 1

Stratégia	Náklady na prevádzku (€)
Stratégia A	23 083,06€
Stratégia B	11 624,84€
Stratégia C	15 951,41€
Stratégia D	15 684,77€
Vlastná stratégia 1	9 347,57€
Vlastná stratégia 2	7 959,85€
Vlastná stratégia 3	2 893,50€

V prípade, že je potrebné sa rozhodnúť medzi stratégiami A až D za účelom minimalizácie nákladov, tak je najvhodnejšie zvoliť **stratégiu B**. Naše zvolené vlastné stratégie sú ešte výhodnejšie keďže náklady sú nižšie ako stratégia B a preto je najvhodnejšie zvoliť našu **vlastnú stratégiu 1, 2 alebo 3**.



3.1 Vlastná stratégia 1

Pri implementácii prvej vlastnej stratégie bola najskôr vykonaná analýza spoľahlivosti dodávateľa 1 a dodávateľa 2, keďže poznáme rozdelenia pravdepodobností oboch dodávateľov. Pre všetky 4 rozdelenia bola vypočítaná stredná hodnota $E(X)$, čo je vlastne priemerná hodnota, ktorú očakávame keď vygenerujeme pseudonáhodné číslo z daného rozdelenia. V metóde Monte Carlo toto generovanie opakujeme veľmi veľa krát, preto očakávame, že v priemere budeme dostávať toto číslo.

Strednú hodnotu spojitého rovnomerného rozdelenia vypočítame ako:

$$E(X) = \frac{a + b}{2}, \quad X \sim R(a, b)$$

a strednú hodnotu spojitého empirického rozdelenia o n -intervaloch vypočítame ako:

$$E(X) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_i + b_i}{2} \times p_i \right), \quad X \sim Emp(a, b, p)$$

Na základe vypočítaných stredných hodnôt dostaneme nasledujúcu tabuľku:

Dodávateľ 1	prvých 10 týždňov	od 11-teho týždňa
$E(X_1)$	40	62,5
Dodávateľ 2	prvých 15 týždňov	od 16-teho týždňa
$E(X_2)$	32	39,5

Na základe získaných hodnôt je vidieť, že dodávateľ 1 je spoľahlivejší na celom intervale 30 týždňov než dodávateľ 2. Z tohto dôvodu bude vo vlastnej stratégii do skladu dodávať súčiastky **iba dodávateľ 1**.



Rovnakým spôsobom sme zanalyzovali rozdelenia požadovaných množstiev 3 typov súčiastok, ktoré si chodí každý piatok zobrať odoberateľ.

Odoberateľ	Tlmiče	Brzdové doštičky	Svetlomety
E(Y)	75	155	91,5

Výpočty oboch tabuliek sú priložené v Excel súbore

Keďže zadanie umožňuje meniť objednávaný počet jednotlivých súčiastok, ktorý bol v prípade stratégií A až D fixne daný na počty (100, 200, 150), upravíme tento počet podľa vypočítaných stredných hodnôt na **(75, 155, 91)**. Myšlienkou tejto úpravy je zamedziť zbytočnému objednávaní väčšieho počtu nepotrebných súčiastok, keďže väčšinou bude odoberateľ požadovať zvolený počet súčiastok. Tým pádom znížime náklady na skladovanie súčiastok. Stratégia je lepšia ako stratégie A až D, keďže náklady sú na úrovni **9 347,57€**.

3.2 Vlastná stratégia 2

Druhá vlastná stratégia vychádza z prvej stratégie, kde použijeme vypočítané stredné hodnoty vyjadrujúce množstvo požadovaných súčiastok (75, 155, 91), ale tieto počty znížime o 10% na počty **(68, 140, 82)**. Očakávame, že náklady na skladovanie súčiastok sa znížia, ale náklady za pokuty sa zvýšia. Výsledné náklady sa znížili na hodnotu **7 959,85€**. Dôvod prečo sa náklady tak výraznejšie znížili vysvetľuje tretia vlastná stratégia.

3.3 Vlastná stratégia 3

Tretia vyskúšaná vlastná stratégia je založená na skutočnosti, že v zadaní a teda ani v modely nie sú uvedené žiadne výnosy za predaj súčiastok. Modelujeme tu iba denné náklady na skladovanie, ktoré sú podľa typu súčiastky (0.2; 0.3; 0.25) eura/deň na jednu súčiastku na sklade. Druhý typ nákladov je pokuta vo výške 0.3 eura na jednu súčiastku, ktorá sa platí odberateľovi ak súčiastka chýba na sklade.



Keď porovnáme tieto dva typy nákladov, pokuta je výrazne nižší náklad ako náklady na skladovanie. Napríklad ak nám v piatok chýba jeden kus súčiastky prvého typu zaplatíme pokutu **0.3 eura**, ale v prípade, že túto súčiastku máme na sklade a príde do skladu v pondelok tak za ňu platíme až do piatka rána skladovacie náklady vo výške $0.2 * 4 = \mathbf{0.8 \text{ eura}}$.

Na základe tejto úvahy v tretej vlastnej stratégii v pondelok od dodávateľa 1 ani od dodávateľa 2 **neobjednávame žiadne súčiastky**, čiže neplatíme žiadne skladovacie náklady počas celého týždňa. Na konci týždňa iba platíme pokuty za nedodanie požadovaných súčiastok. Náklady sme skutočne znížili na najmenšie zo všetkých stratégií na **2 893,50€**.

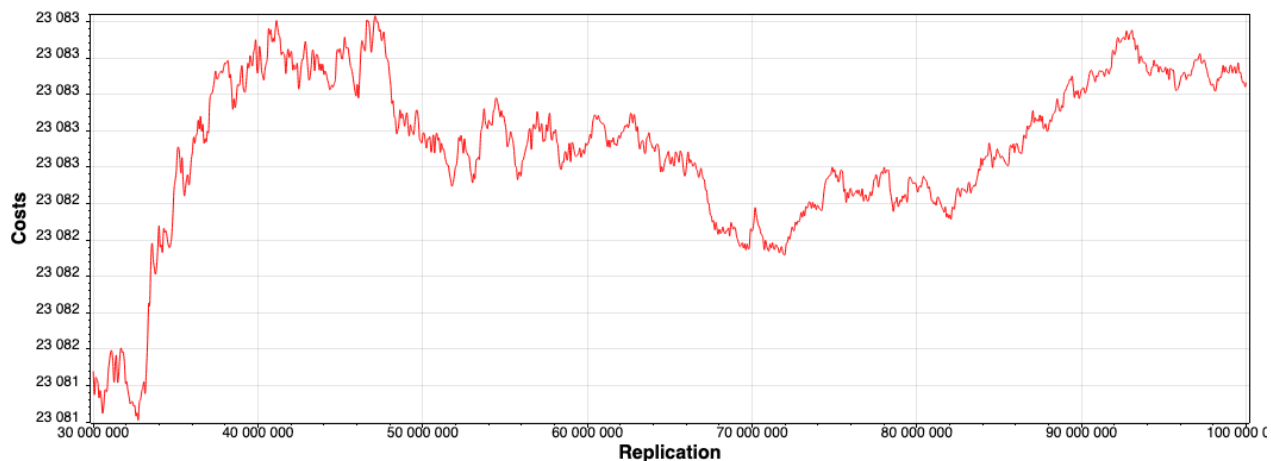
Táto taktika by pravdepodobne nefungovala, v prípade, že by sme modelovali aj zisky za predané súčiastky.



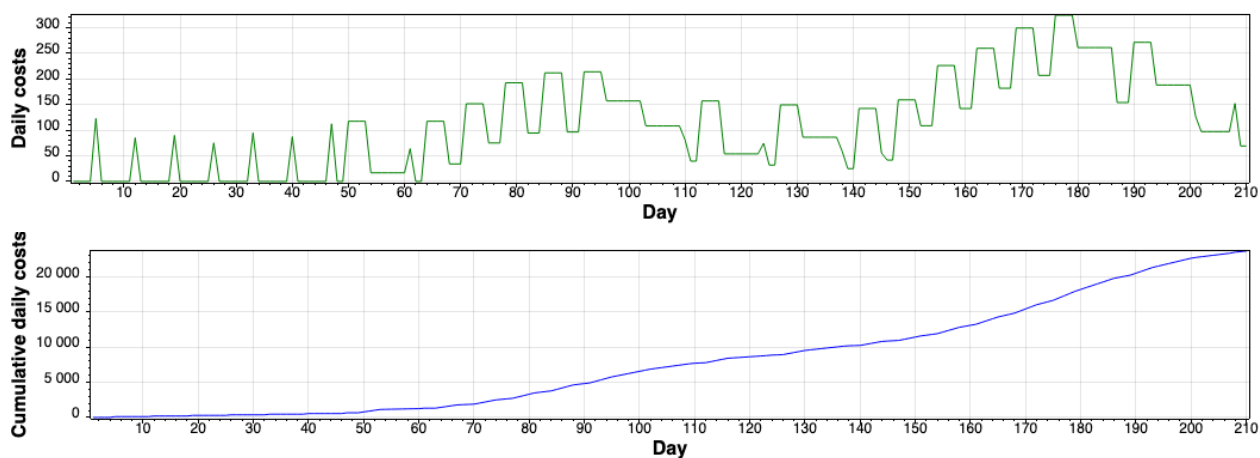
3.4 Grafy

Pre vykresľovanie grafov v používateľskom rozhraní *Avalonia* bola použitá voľne dostupná knižnica *ScottPlot.Avalonia* – <https://www.nuget.org/packages/ScottPlot.Avalonia>

Stratégia A: Objednávanie každý týždeň od dodávateľa 1



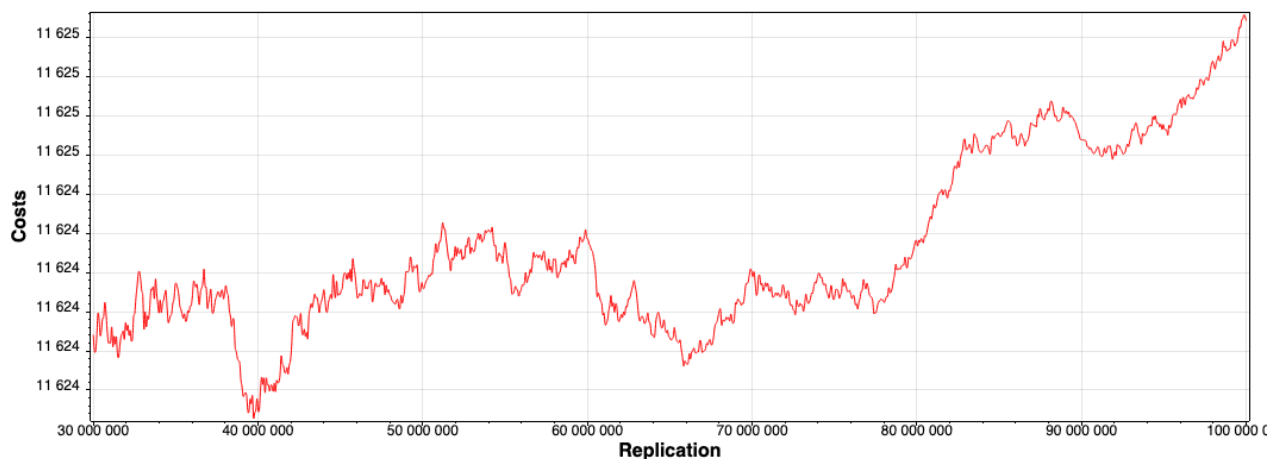
Graf ustáľovania celkových nákladov za 30 týždňov



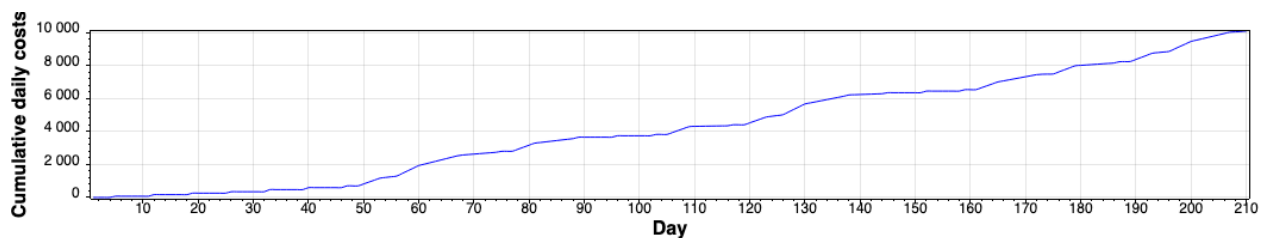
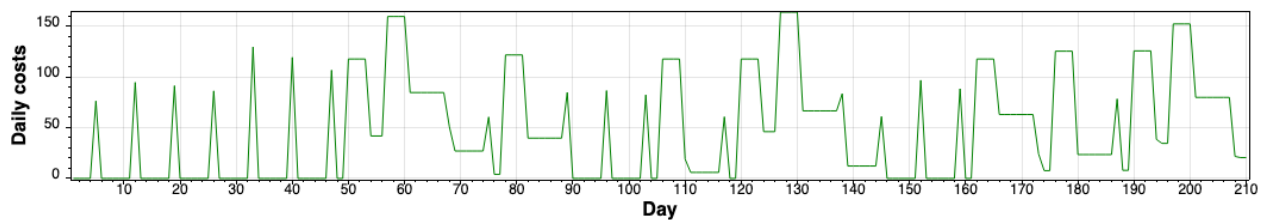
Grafy nákladov a kumulovaných nákladov pre jednotlivé dni jednej replikácie



Stratégia B: Objednávanie každý týždeň od dodávateľa 2



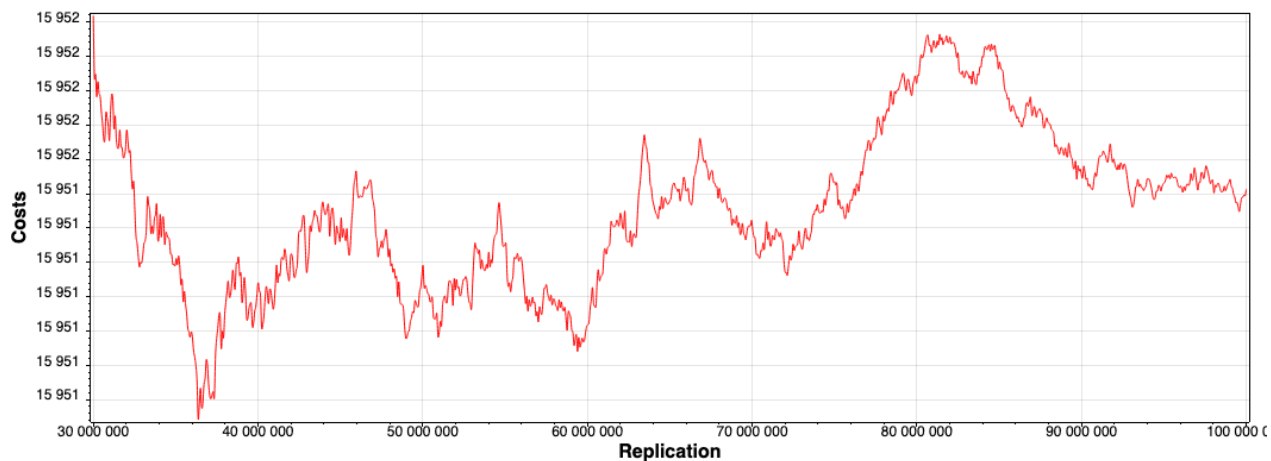
Graf ustáľovania celkových nákladov za 30 týždňov



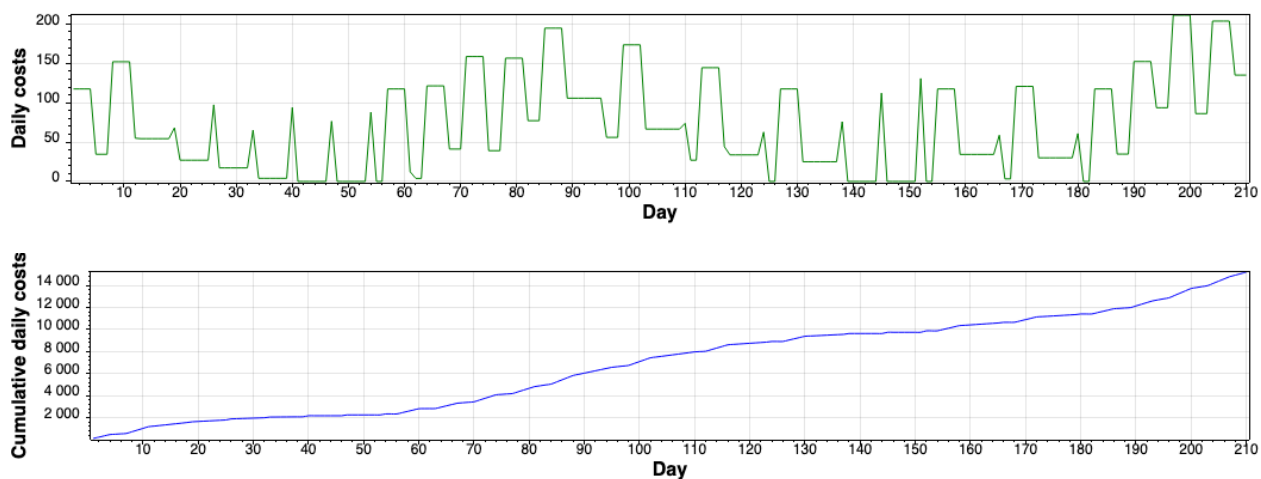
Grafy nákladov a kumulovaných nákladov pre jednotlivé dni jednej replikácie



Stratégia C: Objednávanie každý nepárny týždeň od dodávateľa 1 a každý párny týždeň od dodávateľa 2



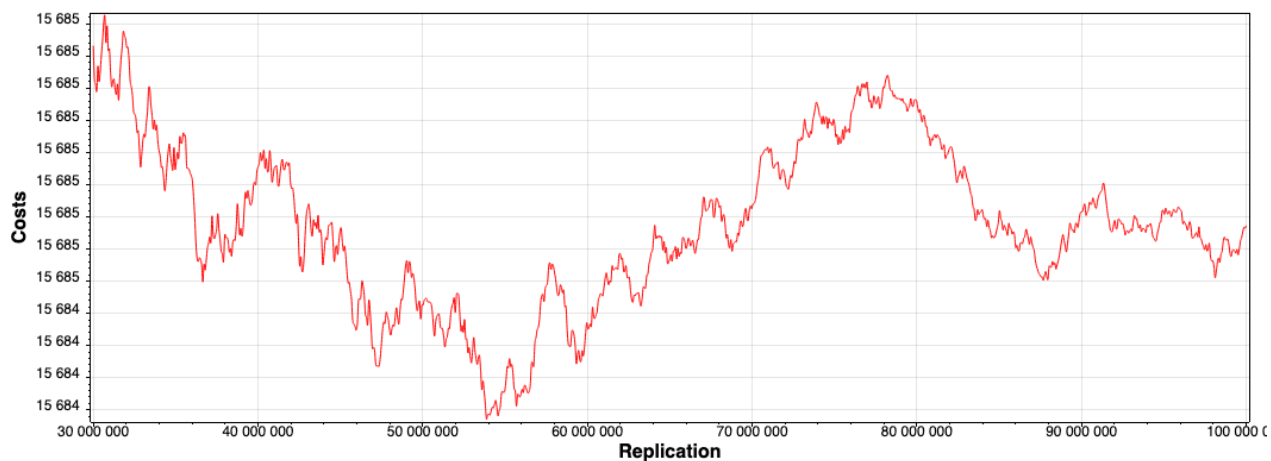
Graf ustáľovania celkových nákladov za 30 týždňov



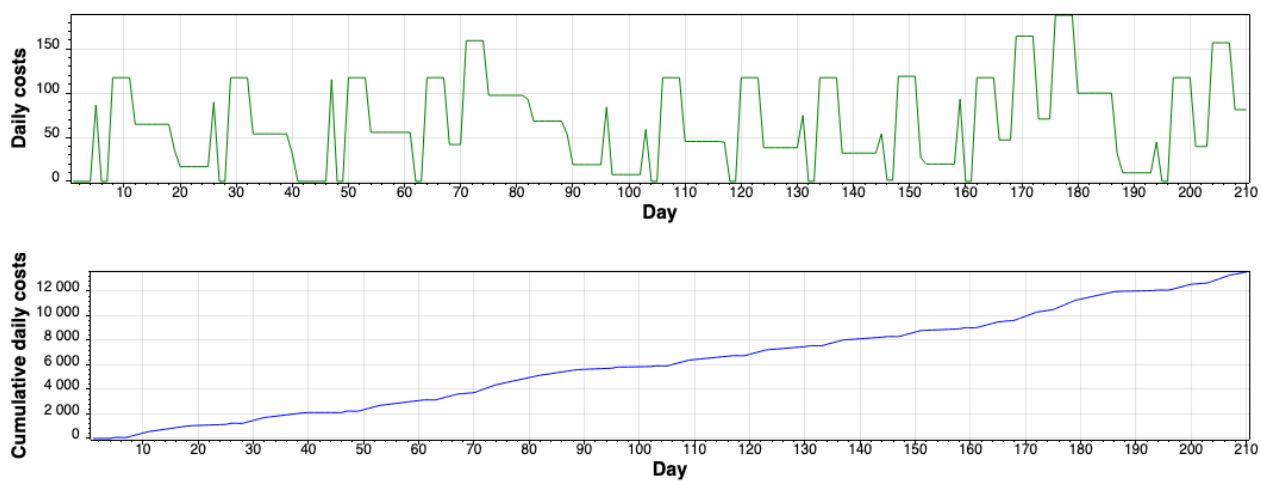
Grafy nákladov a kumulovaných nákladov pre jednotlivé dni jednej replikácie



Stratégia D: Objednávanie každý nepárny týždeň od dodávateľa 2 a každý párny týždeň od dodávateľa 1



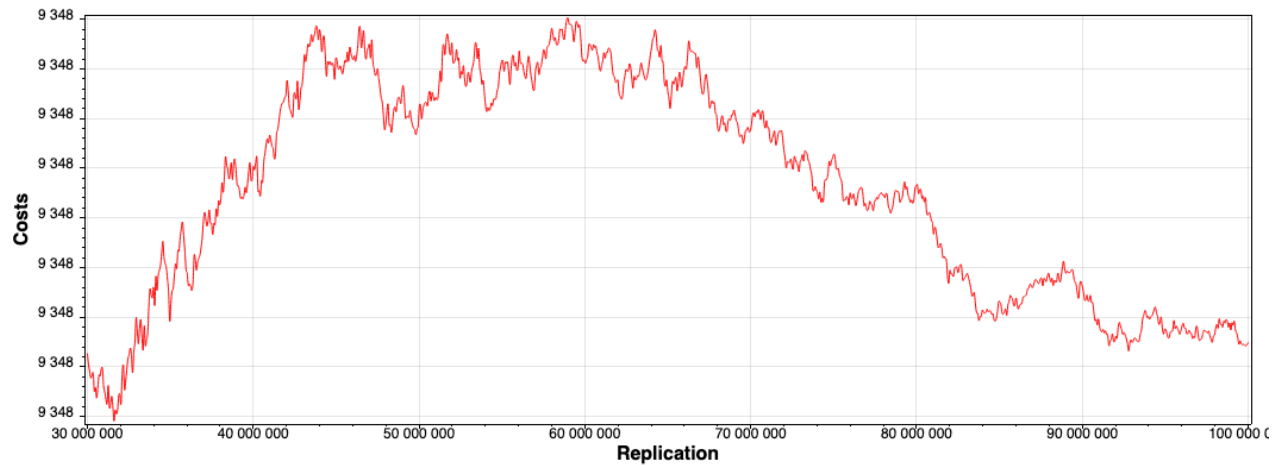
Graf ustáľovania celkových nákladov za 30 týždňov



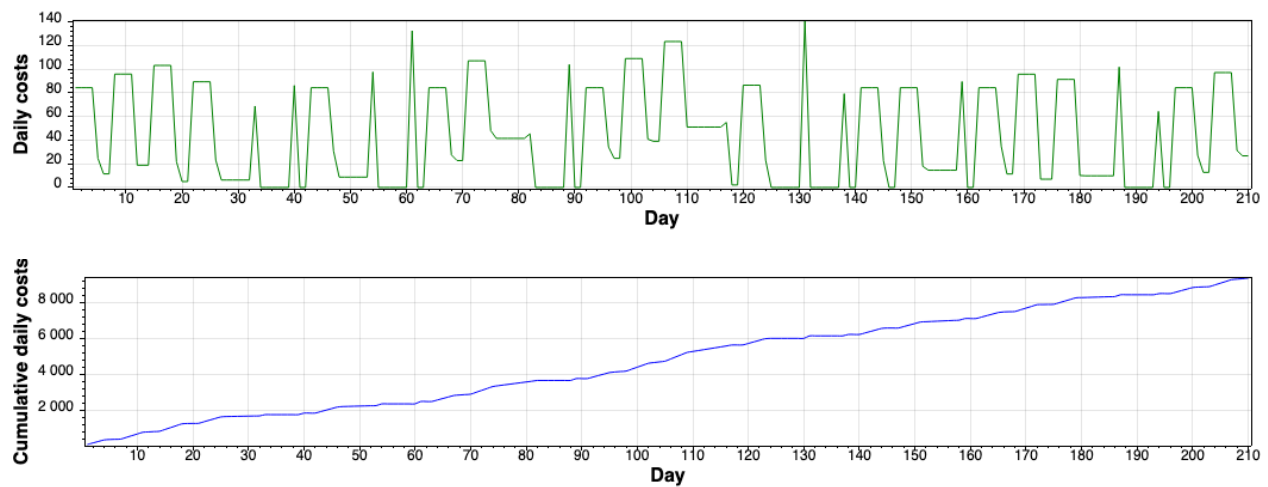
Grafy nákladov a kumulovaných nákladov pre jednotlivé dni jednej replikácie



Vlastná stratégia 1: Objednávanie každý týždeň od dodávateľa 1 s množstvom tovaru odhadnuté pomocou stredných hodnôt



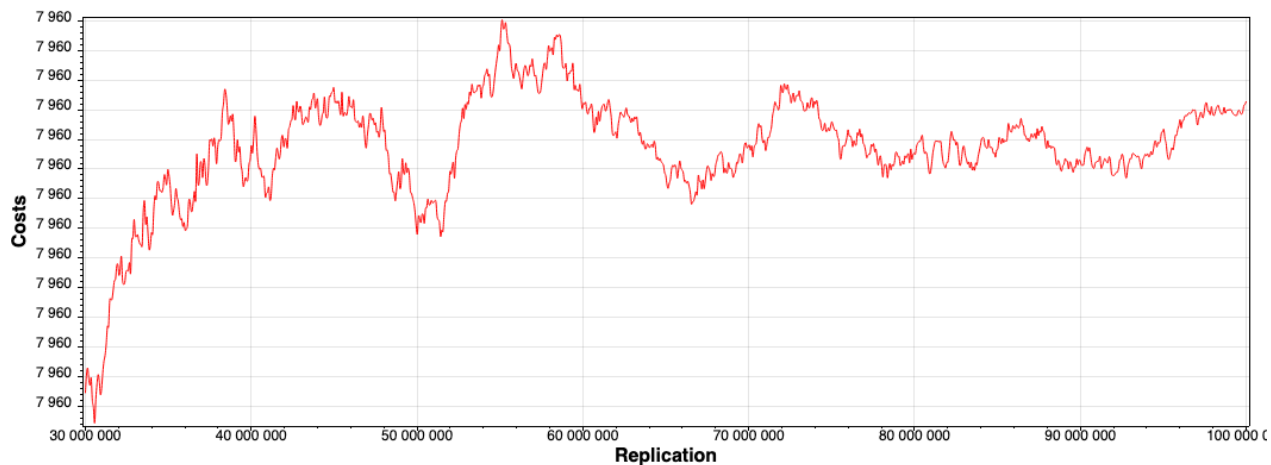
Graf ustáľovania celkových nákladov za 30 týždňov



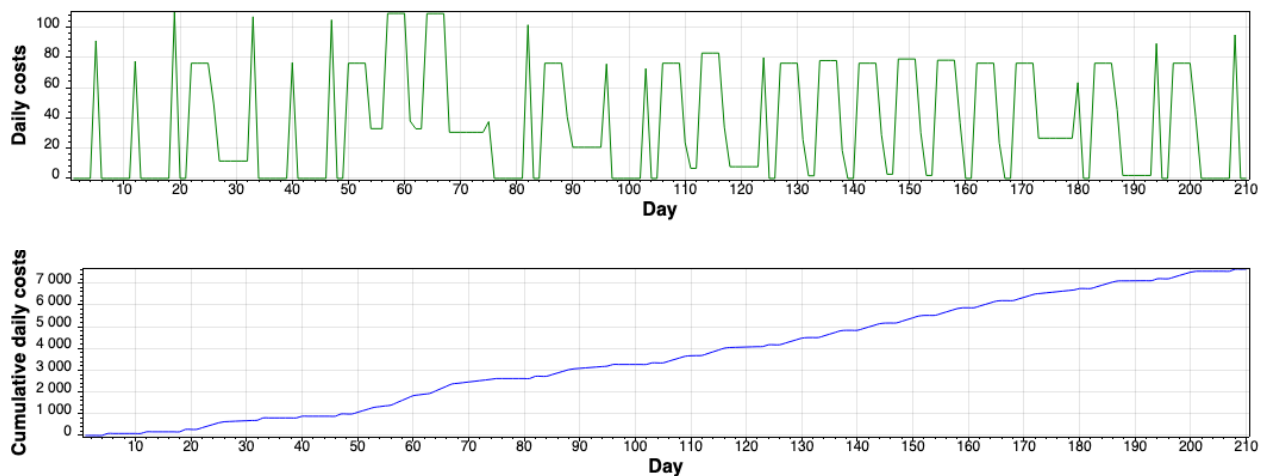
Grafy nákladov a kumulovaných nákladov pre jednotlivé dni jednej replikácie



Vlastná stratégia 2: Objednávanie každý týždeň od dodávateľa 1 s množstvom tovaru odhadnuté pomocou stredných hodnôt znížené o 10%



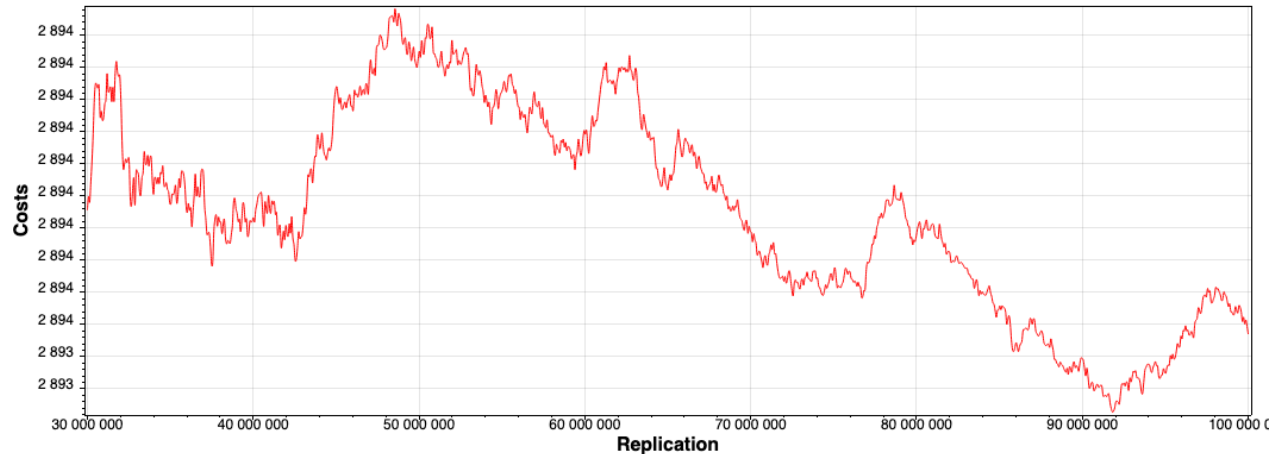
Graf ustáľovania celkových nákladov za 30 týždňov



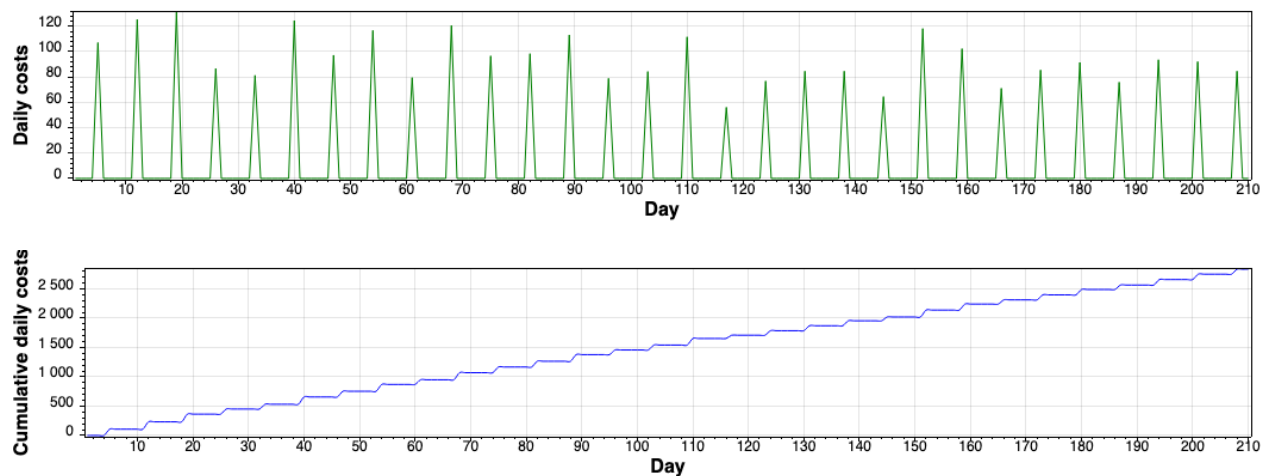
Grafy nákladov a kumulovaných nákladov pre jednotlivé dni jednej replikácie



Vlastná stratégia 3: Objednávanie každý týždeň od dodávateľa 1 s množstvom tovaru odhadnuté pomocou stredných hodnôt znížené o 10%



Graf ustáľovania celkových nákladov za 30 týždňov



Grafy nákladov a kumulovaných nákladov pre jednotlivé dni jednej replikácie