

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: 103003/D/2013/1541413018

**MODELOVANIE RIADENIA ZÁSOB
POMOCOU SIMULAČNÝCH MODELOV**

Diplomová práca

2013

Bc. Bohuslav Kolek

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY**

**MODELOVANIE RIADENIA ZÁSLOB
POMOCO SIMULAČNÝCH MODELOV**

Diplomová práca

Študijný program: Manažérske rozhodovanie a informačné technológie
(Jednoodborové štúdium, inžiniersky II. St., externá forma)

Študijný odbor: 6258 Manažérske rozhodovanie a informačné technológie

Školiace pracovisko: KOVE FHI - Katedra operačného výskumu a ekonometrie FHI

Školiteľ: Ing. Marian Reiff, PhD.

Bratislava 2013

Bc. Bohuslav Kolek



ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Bc. Bohuslav Kolek

Študijný program: Manažérske rozhodovanie a informačné technológie
(Jednoodborové štúdium, inžiniersky II. st., externá forma)

Študijný odbor: 3.3.24 Kvantitatívne metódy v ekonómii

Typ záverečnej práce: Inžinierska záverečná práca

Jazyk záverečnej práce: slovenský

Názov: Modelovanie riadenia zásob pomocou simulačných modelov

Anotácia: 1. Úvod do teórie zásob
2. Úvod do simulácií
3. Návrh modelu zásob
4. Riešenie modelu pomocou vybraného softvéru

Vedúci: Ing. Marian Reiff, PhD.

Katedra: KOVE FHI - Katedra operačného výskumu a ekonometrie FHI

Dátum zadania: 25.10.2011

Dátum schválenia: 03.11.2011

doc. Mgr. Juraj Pekár, PhD.
Vedúci katedry

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že záverečnú prácu som vypracoval samostatne a že som uviedol všetku použitú literatúru.

Dátum:

.....
(podpis študenta)

Ďakujem svojmu vedúcemu bakalárskej práce, Ing. Marianovi Reiffovi, PhD. za cenné rady a pripomienky pri písaní tejto práce.

ABSTRAKT

Bc. KOLEK, Bohuslav: *Modelovanie riadenia zásob pomocou simulačných modelov*. – Ekonomická univerzita v Bratislave. Fakulta hospodárskej informatiky; Katedra operačného výskumu a ekonometrie – Vedúci záverečnej práce: Ing. Marian Reiff, PhD. – Bratislava: FHI, 2013, 85s.

Cieľom záverečnej práce bolo poskytnúť základné informácie o modelovaní riadenia zásob a o simuláciách, ktoré sa používajú na riešenie týchto modelov. Práca je rozdelená do štyroch kapitol. Obsahuje 46 tabuliek a 29 obrázkov. Prvá kapitola je venovaná v prvej časti úvodu do teórie zásob a popisu modelov riadenia zásob. V druhej časti sa venuje základom simulácie a teoretickým znalostiam potrebným k príprave simulačného projektu. Druhá a tretia kapitola popisujú cieľ práce a metodiku práce. V štvrtej kapitole implementujeme simuláciu jednotlivých modelov riadenia zásob v tabuľkovom procesore MS Excel 2013 a doplnku do Excelu Crystal Ball. Výsledkom našej práce sú funkčné simulačné tabuľky, ktoré sa dajú použiť aj v praxi.

Kľúčové slová:

Model riadenia zásob, simulácia, simulácia Monte Carlo, pravdepodobnostné rozdelenie

ABSTRACT

KOLEK, Bohuslav: *Inventory modeling using simulation models*. – University of Economics in Bratislava. Faculty of Business Informatics; Department of Operations Research and Econometrics – Final work chief: Ing. Marian Reiff, PhD. – Bratislava: FHI, 2013, 85p.

The main aim of this work was to provide a basic information about the inventory theory, inventory modelings and about simulations using the solutions of these problems. The work is divided into four chapters. It contains of 46 tables and 29 images. The first chapter is devoted to describe the basic theory of inventory management and describing the inventory models. The second part of the first chapter is about the basic simulation theory and the necessary knowledge how to prepare the simulation project. The second and the third chapter describes the objective and the methodology of the work. In the fourth chapter we implement the inventory simulation model in MS Excel 2013 spreadsheet software with Crystal Ball add-in. The results of solving the problems are working Excel spreadsheets for the inventory model simulations, which can be used in practice.

Keywords:

Inventory management model, simulation, Monte Carlo simulation, probability distribution

Úvod	8
1 Súčasný stav riešenia problematiky.....	9
1.1. Úvod to teórie zásob	9
1.1.1. Stochastické modely riadenia zásob	10
1.1.2. Model s jednorazovou objednávkou bez možnosti znovu objednania	12
1.1.3. (r, S) systém riadenia zásob	12
1.1.4. (s, S) systém riadenia zásob	13
1.1.5. (s, Q) systém riadenia zásob	14
1.2. Úvod do simulácií	15
1.2.1. Systém a model	15
1.2.2. Využitie simulácie v podnikovej praxi	16
1.2.3. Typy simulačných modelov a metód	17
1.2.4. Stochastickosť v simulačnom modelovaní	19
1.2.5. Generovanie náhodných čísel	20
1.2.6. Lineárne kongruentné generátory	21
1.2.7. Generovanie hodnôt náhodných veličín	22
1.2.8. Simulačné projekty	25
1.2.9. Vybrané pravdepodobnostné rozdelenia pre diskkrétne udalosti	28
1.2.10. Vybrané pravdepodobnostné rozdelenia pre spojité udalosti	33
2 Cieľ práce.....	41
3 Metodika práce.....	42
4 Výsledky práce.....	43
4.1. Model s jednorazovou objednávkou bez možnosti znovu objednania	43
4.1.1. Riešenie v Exceli	43
4.1.2. Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball	47
4.2. (r, S) systém riadenia zásob	52
4.2.1. Riešenie v Exceli	52
4.2.2. Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball	62

4.2.3.	Optimálne riešenie použitím OptQuestu.....	63
4.3.	(s, S) systém riadenia zásob	66
4.3.1.	Riešenie v Exceli	66
4.3.2.	Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball	70
4.3.3.	Optimálne riešenie použitím OptQuestu.....	70
4.4.	(s, Q) systém riadenia zásob	72
4.4.1.	Riešenie v Exceli	72
4.4.2.	Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball	74
4.4.3.	Optimálne riešenie použitím OptQuestu.....	75
4.5.	Porovnanie modelov	77
4.6.	Príklad simulačného projektu	78
4.6.1.	Fáza 1 - Analýza problému a formulácia cieľov	78
4.6.2.	Fáza 2: Vytvorenie konceptuálneho modelu	78
4.6.3.	Fáza 3: Zber dát	79
4.6.4.	Fáza 4: Tvorba simulačného modelu	80
4.6.5.	Fáza 5: Verifikácia a validácia modelu.....	80
4.6.6.	Fáza 6: Uskutočnenie experimentov a analýza výsledkov	81
4.6.7.	Fáza 7: Dokumentácia k modelu	83
4.6.8.	Fáza 8: Implementácia	83
Záver		84
Použitá literatúra		85

Úvod

Riadenie zásob je veľmi dôležitou časťou riadenia každého podniku. Hlavne pre podniky, ktoré pracujú s malou maržou, môže zlé riadenie zásob vážne ohroziť ich existenciu. Úlohou riadenia zásob je minimalizácia nákladov na obstaranie a skladovanie zásob (alebo maximalizácia zisku z nich dosiahnutých), ale za súčasného snaženia o čo najlepšie uspokojenie požiadaviek zákazníka. Čo sú v podstate protichodné úlohy, keďže zákazník požaduje tovar čo najskôr (ideálne ak je skladovaný) a za čo najnižšiu cenu. Manažment stojí pred neľahkou úlohou uviesť do rovnováhy tieto protichodné požiadavky a určiť vhodnú hladinu zásob. Problém hľadania rovnováhy môže byť rozdelený na viacero otázok: koľko, kedy a ako často objednať tovar, aby uspokojil čo najväčšiu časť požiadaviek zákazníkov priamo zo skladu, bez zbytočných čakacích lehôt, ktoré môžu viesť k nespokojnosti alebo v horšom prípade aj strate zákazníka. Túto hranicu nie je ľahké nájsť. K tomuto cieľu slúžia modely riadenia zásob. Keď je dopyt zákazníkov dopredu známy, môžu manažéri použiť ktorýkoľvek zo známych deterministických modelov, ktoré sú dobre popísané v každej učebnici podnikového hospodárstva. Realistickejšou situáciou je však situácia, kedy požiadavky zákazníka nie sú dopredu známe. Ďalším prvkom neistoty je množstvo času, ktoré je potrebné medzi vystavením objednávky a jej príchodom do skladu. Preto manažéri požadujú modely, ktoré obsahujú aj pravdepodobnostné prvky. Prvá možnosť je použiť „najlepšie“ odhady a pokračovať s deterministickým modelom, alebo vyvinúť matematický model. Tieto analytické modely však bývajú veľmi zložité a ťažké na pochopenie pre bežných manažérov, ktorí nie sú študovaní matematici. Tretia možnosť je zachytiť náhodnosť všetkých parametrov do simulačného modelu. Výhodou simulačných modelov je, že je ich pomerne ľahké vytvoriť. Takže sú ideálnym riešením pre tieto problémy. Ďalšou výhodou je to, že sa dajú urobiť aj v bežných tabuľkových procesoroch ako je MS Excel, ktoré sú dostupné v skoro každom počítači. Samozrejme existujú aj špeciálne programy a doplnky do Excelu vyvinuté na simulácie, ktoré majú oveľa väčšie možnosti hlavne čo sa týka prezentácie priebehu simulácie a zobrazenia výsledkov a prognóz.

1 Súčasný stav riešenia problematiky

1.1. Úvod to teórie zásob

Pod pojmom zásoby si možno predstaviť napríklad suroviny čakajúce na spracovanie, nedokončené výrobky, alebo tovar v obchodnej sieti. V modernom podnikaní sú všadeprítomné. Keď sa pozrieme na ľubovoľnú firmu, tak významnú časť jej aktív tvoria práve zásoby. Väčšine manažérov sa zásoby nepáčia, pretože sú ako peniaze uložené v zásuvke. Taktiež sú s nimi spojené ďalšie náklady súvisiace so skladovaním a starostlivosťou o nich a sú predmetom kazenia sa a zastarania. Cieľom optimalizácie zásob je zníženie celkových nákladov. Napriek všetkým týmto „zlým“ vlastnostiam majú zásoby aj pozitívny účel. Zásoby surovín poskytujú stabilný zdroj materiálov pre výrobu. Veľké zásoby vyžadujú menej časté dopĺňanie a môžu znížiť náklady z dôvodu úspor z rozsahu. Tovarové zásoby poskytujú lepšiu úroveň služieb zákazníkom. Rôznorodosť a dostupnosť produktov je dôležitá z marketingového hľadiska. Ako vidíme zásoby majú veľký praktický a ekonomický význam, preto riadenie zásob jednou z najdôležitejších úloh v podniku. (Jensen, a iní)

V procese riadenia zásob môžu vzniknúť v skladovacom a zásobovacom systéme podniku dve extrémne situácie (TEPLICKÁ, a iní, 2004 s. 17) :

a) **Prebytok zásob**- množstvo zásob na sklade je vyššie ako spotreba (dopyt)

Prebytok spôsobuje:

- zmrazenie finančných prostriedkov firmy
- zvýšenie nákladov na skladovanie a udržiavanie zásob
- dochádza k znehodnoteniu zásob z dôvodu dlhodobého skladovania

b) **Nedostatok (deficit) zásob** – množstvo zásob v skladovacom systéme je nižší ako skutočná spotreba (dopyt)

Nedostatok spôsobuje:

- zastavenie plynulého chodu výroby,

- strata na zisku, pokles tržieb,
- nepokrytie dopytu,
- strata dôvery zákazníkov – spotrebiteľov .

Dôležitým pojmom v teórii zásob je dopyt a dĺžka dodacej lehoty. Na základe týchto ukazovateľov delíme modely riadenia zásob na:

Deterministické – dopyt aj dodacia lehota sú dopredu známe. Tieto modely umožňujú modelovať niektoré reálne situácie, ktoré sú deterministické, ako napríklad automatizované výrobné linky,

Stochastické – dopyt aj dodacia lehota sú náhodné veličiny so známym pravdepodobnostným rozdelením.

Keďže v reálnych situáciách prevládajú stochastické modely, budeme sa v ďalších častiach práce venovať im.

Cieľom riadenia zásob je minimalizácia nákladov spojených z obstarávaním zásob, ich skladovaním, minimalizácia strát z nedostatku zásob a maximalizácia úrovne spokojnosti zákazníka.

1.1.1. Stochastické modely riadenia zásob

Náhodnosť hrá významnú úlohu vo väčšine modelov riadenia zásob. Predajca chce uspokojiť dopyt po tovare od svojich zákazníkov, objednanie príliš veľkého množstva zásob zvyšuje náklady na skladovanie a riziko, že zásoby sa stanú zastaranými. Naopak objednanie malého množstva znižuje spokojnosť zákazníkov a zisk z predaja. Podobné to je aj pri objednávaní zásob do výroby, kde je variabilná dĺžka výrobného procesu a dopytu po výrobkoch. V týchto prípadoch čelíme neistote čo značným spôsobom sťažuje situáciu pri rozhodovaní o veľkosti objednávky zásob.

Aj keď v týchto prípadoch nevieme aký bude presný dopyt, poznáme pravdepodobnostné rozdelenie, podľa ktorého sa dopyt riadi. Toto nám s pomocou stochastických modelov riadenia zásob pomôže nájsť optimálnu veľkosť objednávky zásob.

Stochastické modely z hľadiska formovania kritéria účelovej funkcie môžu mať nasledujúci charakter (TEPLICKÁ, a iní, 2004 s. 31):

- a) **nákladovo–orientovaný model**, v prípade, že kritériom pre stanovenie optimálnej veľkosti objednávky bude minimalizácia nákladov spojených z obstarávaním zásob, ich skladovaním, minimalizácia strát z nedostatku zásob. Do tejto skupiny modelov patria aj deterministické modely riadenia bežných zásob v podniku.
- b) **modely bez nákladovej orientácie**. V ich rámci má účelová funkcia charakter miery spoľahlivosti plnenia funkcie skladovacieho systému podniku.

Ukazovateľom miery spoľahlivosti sú najčastejšie:

- Miera plnenia obsluhy
 - Miera rizika
- c) **modely so zmiešaným kritériom**. V ich rámci sa ako kritérium pre riadenie pohybu zásob uplatňuje nákladové kritérium aj miera spoľahlivosti plnenia funkcie skladovacieho systému podniku.

Miera rizika a miera spoľahlivosti obsluhy ako kritérium spoľahlivosti ich práce v podstate určujú rovnováhu medzi hodnotovým vyjadrením skladovaných zásob t.j. N_s a hodnotou deficitu zásob N_d .

Miera rizika:
$$\rho = \frac{N_d}{N_s + N_d}$$

Miera plnenia obsluhy:
$$\partial = 1 - \rho$$

N_s – náklady spojené so skladovaním zásoby (prepočítané na jednotku skladovaného množstva) za časovú jednotku

N_d – náklady spojené s deficitom zásoby (prepočítané na jednotku množstva deficitu) za časovú jednotku

Pri stochastických modeloch poznáme nasledovné základné stratégie dopĺňovania zásob (TEPLICKÁ, a iní, 2004 s. 20):

- a) **Model s jednorazovou objednávkou bez možnosti znovu objednania (single period inventory model)** – model s jednorazovou objednávkou bez možnosti znovu objednania.
- b) **Model (s, Q)** – model s voľnými objednávacími termínmi.
- c) **Model (r, S)** – model s pevne stanovenými objednávacími termínmi.
- d) **Model (s, S)** - model s voľnými objednávacími termínmi.

Tieto stratégie si bližšie rozoberieme v nasledujúcich kapitolách.

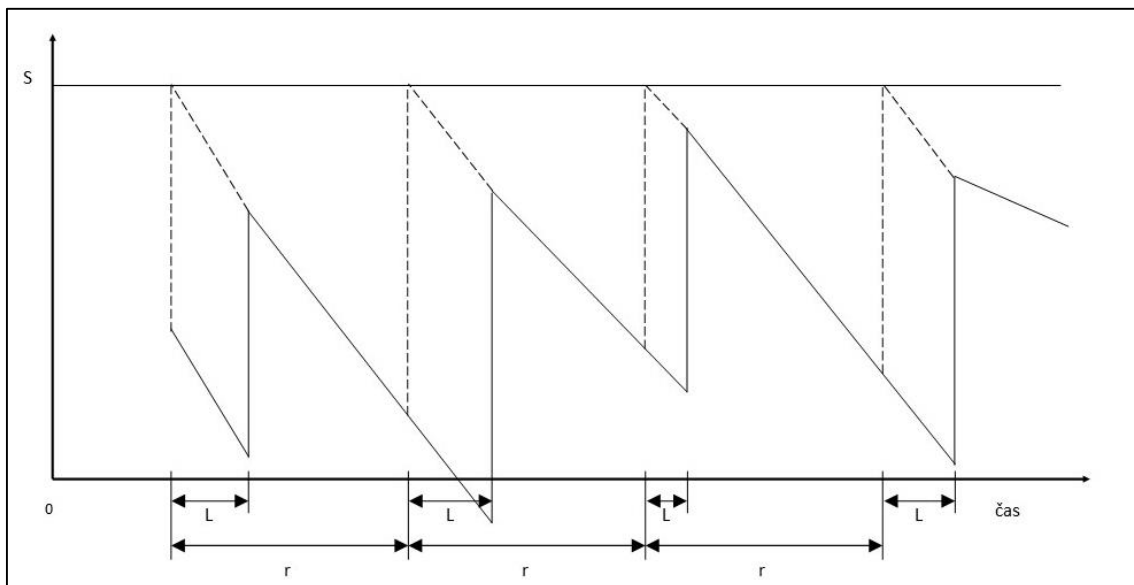
1.1.2. Model s jednorazovou objednávkou bez možnosti znovu objednania

Známy aj ako problém predavača novín (JACOBS, a iní, 2012 s. 360). Ten sa musí rozhodnúť koľko novín má objednať. Ak ich objedná málo, nemá čo predávať a prichádza o zisk. Na druhej strane ak ich objedná veľa na konci dňa mu zostanú nepredané kusy a prichádza o zisk. Toto je často sa vyskytujúci problém napríklad pri predajcoch suvenírov k nejakej udalosti ako napríklad majstrovstvá sveta v hokeji. Alebo sa jedná o rýchlo kaziaci sa tovar ako ovocie a zelenina. Pri všetkých týchto príkladoch sa jedná o „jednorazovú“ objednávku, aj keď v skutočnosti sa objednáva periodicky (napr. náš predajca novín predáva každý deň), ale každá objednávka je nezávislá od ostatných. Alebo sa jedná o objednávku kde už nie je možnosť neskoršieho doplnenia (napr. náhradné diely na kozmickú loď, alebo tovar na vianočný trh, ktorý sa objednáva dopredu).

1.1.3. (r, S) systém riadenia zásob

Zakladá sa na vopred plánovanej konštantnej dĺžke dodávkového cyklu - pevné objednávacie termíny, ktoré sa pravidelne opakujú po uplynutí časového intervalu r , kde sa ihneď objednáva doplnenie zásoby podľa faktického stavu a veľkosti hladiny zásoby s . Veľkosť objednávky je daná rozdielom $S-s$. Pričom S je množstvo zásob, na ktoré dopĺňame sklad. Jednotlivé výkyvy vo veľkosti spotreby výrobných zásob, ktoré vznikajú z príčin, ktoré podmieňujú vznik rozdielu medzi plánom a skutočnosťou, sa tu vyrovnávajú zmenou veľkosti objednávaného množstva zásob, ktoré je premenlivou veličinou. V našich podmienkach je tento systém dopĺňovania zásob prevládajúcim (TEPLICKÁ, a

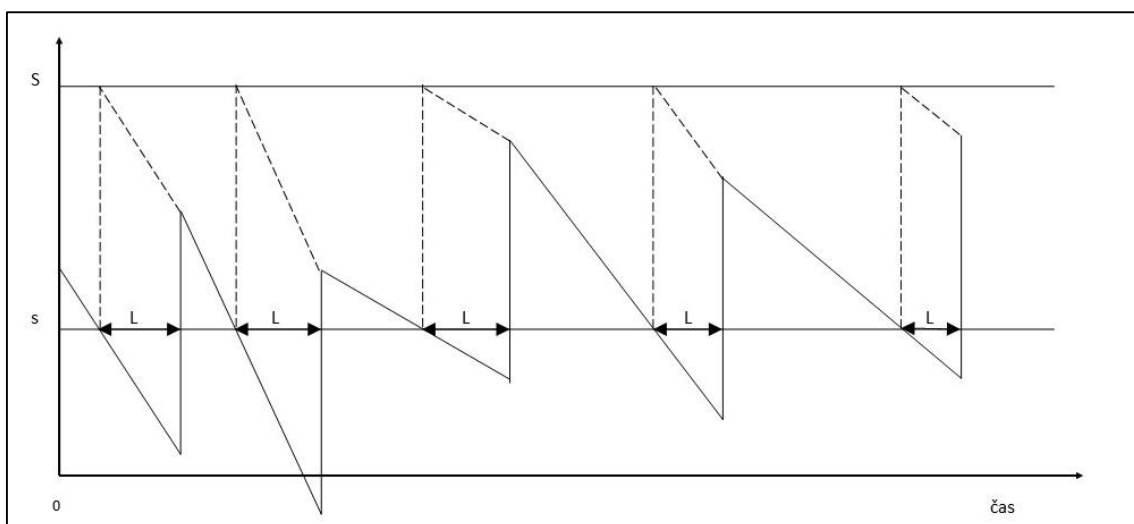
iní, 2004 s. 21). Na nasledujúcom obrázku je grafické znázornenie, pričom L je dĺžka dodacej lehoty.



Obrázok 1 – (r, S) systém riadenia zásob, zdroj: vlastné spracovanie

1.1.4. (s, S) systém riadenia zásob

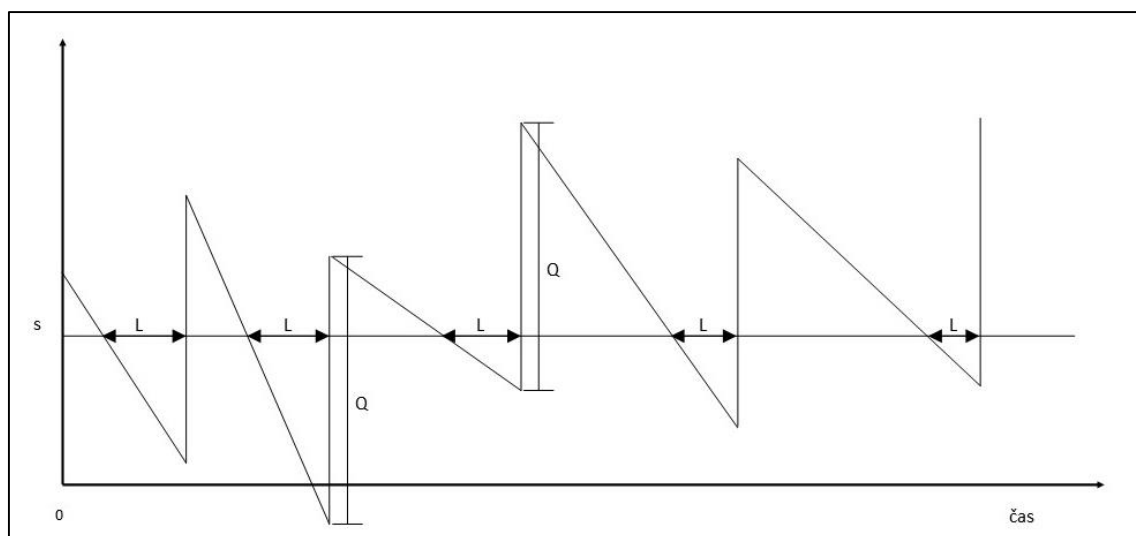
Stratégia s voľnými objednávacími termínmi, kedy signál k doplneniu zásob je vyslaný v okamihu, kedy faktická alebo disponibilná zásoba klesne pod vopred stanovenú hladinu s . Veľkosť objednávky je daná rozdielom $S-s$, Veľkosť objednávky je rôzna s voľnými objednávacími termínmi. (obidve veličiny sú premenlivé) (TEPLICKÁ, a iní, 2004 s. 20)



Obrázok 2 – (s, S) systém riadenia zásob, zdroj: vlastné spracovanie

1.1.5. (s, Q) systém riadenia zásob

Uplatňuje sa tam, kde odberateľsko-dodávateľské vzťahy umožňujú na dlhšie plánovacie obdobie stanoviť množstvo jednotlivých druhov odoberaných zásob ako konštantnú veličinu. V praxi sa určí signálna úroveň jedného alebo skupiny zásob s v sklade a pri každom ich poklese na túto úroveň sa uskutoční nová objednávka. Z toho vyplýva, že okamih uskutočnenia objednávok a trvanie dodávkových cyklov sú určované v závislosti od spotreby zásob a preto sú charakterizované ako premenné veličiny (TEPLICKÁ, a iní, 2004 s. 21). Pri (s, Q) stratégii sa objednávka vystavuje vtedy, keď hladina zásob klesne pod hodnotu s . V ideálnom prípade sa hladina zásob sleduje kontinuálne, ale v praxi je častejšie sledovanie v určitých časových intervaloch (napríklad na konci dňa, týždňa, mesiaca). Ak v okamihu kontroly množstvo klesne pod hodnotu s , je vystavená objednávka, pričom jej veľkosť je stále konštantná a má hodnotu Q .



Obrázok 3 – (s, Q) systém riadenia zásob, zdroj: vlastné spracovanie

1.2. Úvod do simulácií

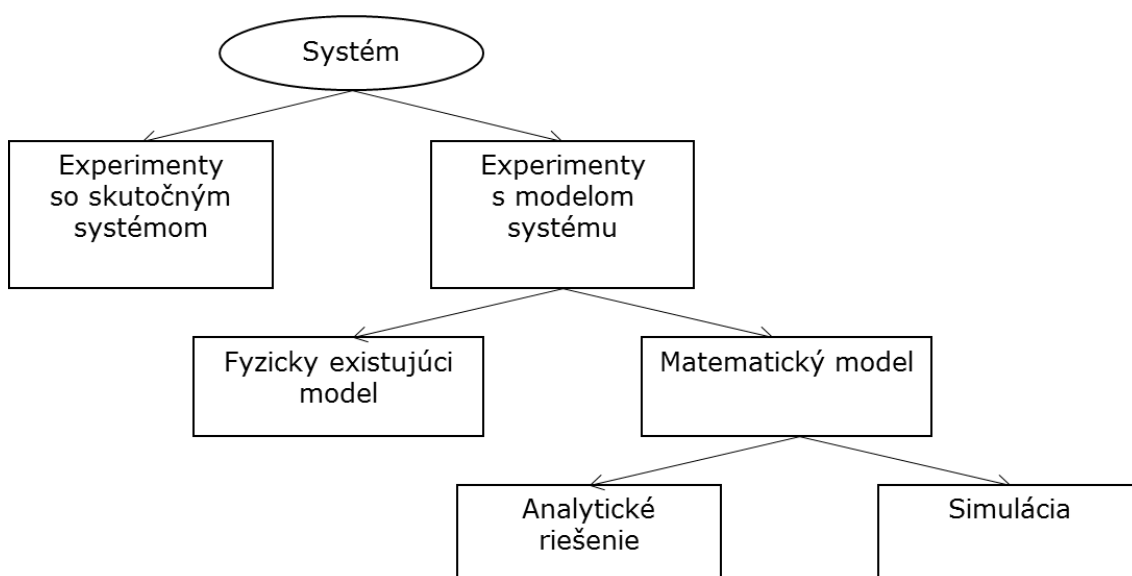
Podľa slovníka cudzích slov (BALÁŽOVÁ, a iní, 2005) simulácia znamená:

1. predstieranie, napodobňovanie, simulovanie
2. lek. - vedomé predstieranie neexistujúcich chorobných príznakov
3. práv. - rokovanie predstierajúce určitý právny úkon (napr. kúpnu zmluvu)
4. tech., ekon. - napodobňovanie, napodobnenie deja, správania alebo nejakej sústavy modelom (simulátorom)

V našom prípade platí 4. definícia, keďže sa v tejto práci budeme venovať simulácii ako modernej metóde analýzy zložitých podnikových procesov, ktoré obsahujú prvky náhodného a dynamického chovania (DLOUHÝ, a iní, 2007 s. 3).

1.2.1. Systém a model

Simulácia je vlastne napodobňovanie, predstieranie určitých stavov systému na základe jeho modelu. Pričom pod pojmom systém rozumieme určitú časť reálneho sveta, ktorá je predmetom nášho bádania. Možné prístupy k analýze systému uvádza vo svojom diele Averill M. Law (Law, 2006 s. 4).



Obrázok 4 – Možné prístupy k analýze systému, zdroj: (Law, 2006 s. 4)

Experimenty so skutočným systémom, pokiaľ existuje, sú síce najpresnejšie, ale vo väčšine prípadov aj veľmi drahé a ich výsledok môže spôsobiť nenávratne škody.

Napríklad experimentovanie s počtom strojov vo výrobe, môže mať pri malom počte za následok nespĺnenie objednávok a stratu zákazníkov. Naopak pri vysokom počte spôsobí vysoké náklady na ich obstaranie, zaškolenie obsluhy, náklady na platy obsluhy. A v konečnom dôsledku malé využitie výrobných kapacít strojov. Z tohto dôvodu je výhodnejšie experimentovať s modelom systému. A to, buď s fyzickým modelom, čo môže byť napríklad simulátor v autoškole, letecký simulátor, alebo matematickým modelom. Matematický model je založený na rovnici, alebo sústave rovníc, ktoré popisujú daný systém. V praxi sa stretávame s modelmi vyjadrenými v diferenciálnom, integračnom, alebo variačnom tvare. Keď už máme vytvorený matematický model, je potrebné ho vyriešiť. Pokiaľ je model dostatočne jednoduchý, dokážeme rovnice vyriešiť a dostávame analytické riešenie. Ale väčšina modelov, ktoré opisujú reálne systémy sú zložité a nedajú sa riešiť analyticky. Vtedy použijeme simuláciu. Toto sa zohľadňuje aj pri tvorbe modelu. Pokiaľ sa chystáme riešiť ho analyticky, podľa Hušeka (1987 s. 14) sa analytické riešenia chápe ako istá realizácia, či konkretizácia určitej teórie. Pri simulácii však najčastejšie ide o čo najpresnejšie zobrazenie skúmaného systému. Takže sa pri jeho tvorbe nekladie dôraz na to, aby bol analyticky riešiteľný.

Simulačné modelovanie používa znalosti viacerých vedných odborov ako sú matematika, teória pravdepodobnosti, štatistika, programovanie. Simulácie sú náročné na počet výpočtov, takže k reálnemu použitiu simulácie sa pristúpilo až s nástupom počítačových technológií. Prvé väčšie nasadenie bolo počas druhej svetovej vojny v projekte Manhattan, čiže pri vývoji jadrovej bomby. Odvtedy ide vývoj počítačovej simulácie ruka v ruku s vývojom počítačov. Simulácia sa nepoužíva iba na riešenie ekonomických úloh, ale aj v chémii, fyzike, biológii, medicíne, technike, pri predpovedaní počasia a v mnohých ďalších vedných odboroch.

1.2.2. Využitie simulácie v podnikovej praxi

Využitie simulácie v podnikovej praxi je veľmi rôznorodé. Nasledujúci prehľad uvádza tradičné aplikácie simulácie na úrovni podniku (DLOUHÝ, a iní, 2007 s. 7):

- Optimalizácia rozsiahlych výrobných systémov s cieľom skrátiť výrobný proces, zvýšiť produktivitu, zlepšiť využitie zdrojov, minimalizovať náklady atď.
- Analýzy logistických procesov v podniku s cieľom znížiť zásoby na sklade, nedokončenú výrobu a minimalizovať riziko neuspokojenia dopytu.

- Optimalizácia pravidiel skladovania, napr. zlepšenie manipulácie s materiálom, zvýšenia priepustnosti rámp pri prijíme a výdaji.
- Systém riadenia zásobovacích procesov.
- Riadenie a plánovanie rozsiahlych procesov.
- Vnútropodnikové dopravné procesy.
- Komunikačné systémy, pravidlá pohybu dokumentov.
- Finančné plánovanie a riadenie rizík.
- Simulácia odstávok výrobných zariadení pri plánovanej údržbe.

Pomocou simulačného modelovania môžeme získať dôležité informácie o charakteristikách modelovaného systému ako napr.:

- Využitie výrobných kapacít a zdrojov.
- Minimálne, maximálne, priemerné hodnoty čakania a dĺžky frontov. Identifikácia úzkych miest.
- Spotreba zásob a periodicita ich objednávaní.
- Minimálne, maximálne, priemerné doby trvania činností. Celkové trvanie činnosti.
- Počet požiadaviek (výrobkov, zákaziek, služieb), ktoré boli systémom vybavené.
- Počet nevybavených požiadaviek, porúch, reklamácií.
- Priame, nepriame a celkové náklady výroby, služby, zákazky.

1.2.3. Typy simulačných modelov a metód

Simulačné modely rozdeľujeme podľa viacerých kritérií. A to podľa:

- a) priebehu času v modeli
- b) podľa stavov, v ktorých sa môže systém nachádzať
- c) podľa toho či model obsahuje pravdepodobnostné štatistiky, alebo nie

Ad a)

Diskrétny – čas v modeli nadobúda predom známe hodnoty z určitej množiny (hodina, deň, týždeň, mesiac, štvrťrok). Tento je typický napríklad pre modelovanie vývoja národného hospodárstva, kde modelované údaje ako vývoj cenovej hladiny, HDP, miezd, nezamestnanosti sledujeme po mesiacoch, štvrťrokoch, rokoch. Alebo modelovanie riadenia zásob. Stav zásob sa sleduje v určitých časových okamihoch ako napr. koniec dňa, týždňa, mesiaca.

Spojité – čas v modeli nadobúda akúkoľvek hodnotu. Používa sa napríklad pri simulácii príchodu zákazníka do systému, alebo pri simulácii výskytu určitých udalostí ako porucha zariadenia vo výrobe atď.

Ad b)

Diskrétny – zmena stavu systému nastáva v určitom okamihu výskytu udalosti. Samotná udalosť môže nastať v ktoromkoľvek okamžiku spojitého času.

Spojité – zmena stavu systému prebieha neustále, mení sa kontinuálne (napríklad hladina vody v nádrži).

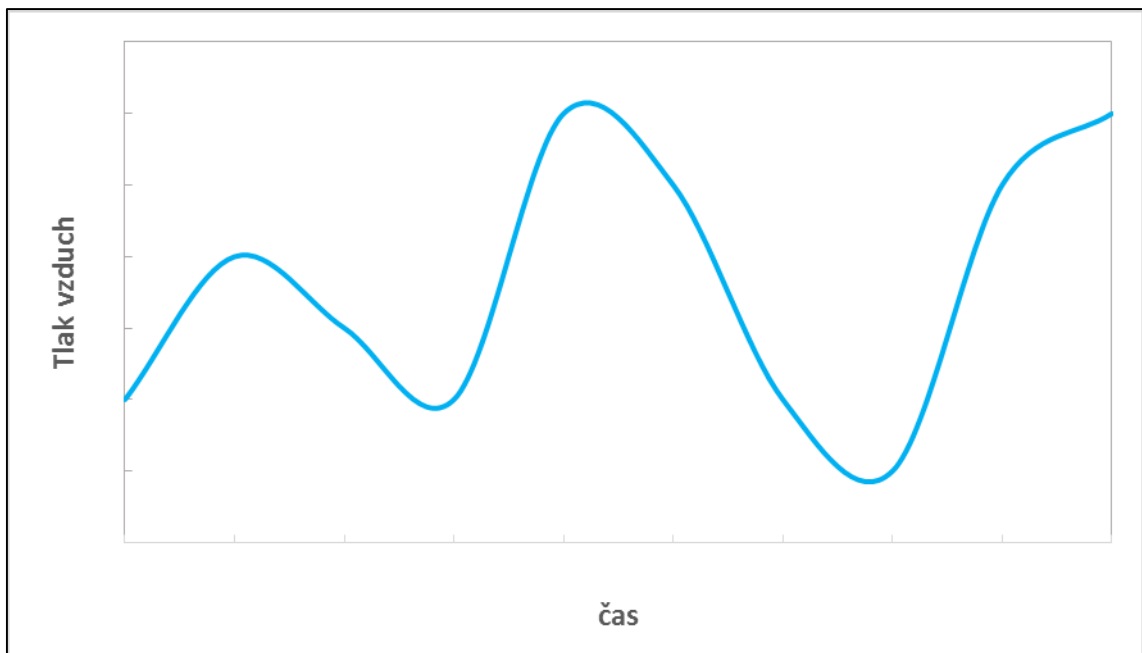
Ad c)

Deterministický – neobsahuje pravdepodobnostné charakteristiky, dostávame presný výsledok.

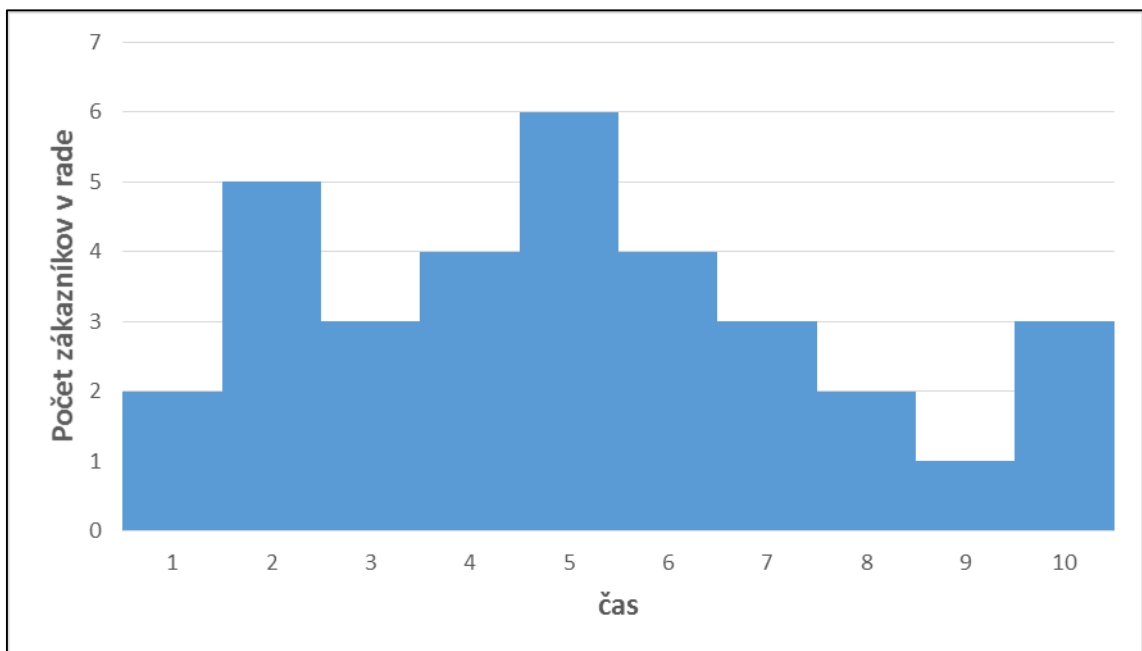
Stochastický – obsahujú pravdepodobnostné charakteristiky, výsledok je štatistický odhad skutočných hodnôt.

Dynamická simulácia – keď je dynamika systému pri modelovaní dôležitá.

Statická simulácia – keď čas nie je pri modelovaní podstatný. Vtedy hovoríme o metóde Monte Carlo.



Obrázok 5 - Systém so spojitým časom a spojitým zachytením stavov, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 6 - Systém so spojitým časom a diskretným zachytením stavov, zdroj: vlastné spracovanie

1.2.4. Stochastickosť v simulačnom modelovaní

Procesy v simulačných modeloch obyčajne nebývajú deterministické a obsahujú rôzne prvky variability a náhodnosti. Napríklad dopyt po výrobkoch nie je každý deň,

týždeň rovnaký. Takisto príchod pacientov do čakárne nie je v konštantných intervaloch. To isté platí aj pre mnohé iné činnosti, ktoré sa snažíme v modeloch simulovať. Aby sme tieto variability vedeli v modeli zachytiť, používame vhodne zvolené diskkrétne, alebo spojité pravdepodobnostné rozdelenia. Pomocou generátorov náhodných čísel a týchto rozdelení potom vieme simulovať správanie sa systému. Podrobnejšie sa im budeme venovať v ďalšej časti.

1.2.5. Generovanie náhodných čísel

Náhodné čísla definujeme ako nezávislé hodnoty rovnomerného rozdelenia na otvorenom intervale $(0, 1)$ (DLOUHÝ, a iní, 2007 s. 19). Toto sa označuje ako $R(0, 1)$. Na získanie náhodných čísel môžeme použiť tabuľky, ktoré sú súčasťou mnohých učebníc štatistiky. Alebo použijeme nejaký generátor náhodných čísel. Tých poznáme niekoľko typov:

- 1) **Mechanické** – napríklad hod kockou, hod mincou, alebo rôzne zariadenia na žrebovanie lotérií.
- 2) **Fyzikálne** – alebo ináč aj skutočné generátory náhodných čísel (True Random Number Generators - TRNG) ich podstata je v extrahovaní náhodnosti z fyzikálnych javov a ich prenos do počítača. Môžu to byť pomerne jednoduché javy ako zmeny v pohybe myšou, alebo frekvencia úderov prstov do klávesnice. Samozrejme existujú aj zložitejšie systémy ako dostať náhodnosť do počítača. Dobré použiteľný je rádioaktívny zdroj, pretože bod, kedy sa začne rozpad je nepredvídateľný. Ďalším príkladom môže byť meranie atmosférického šumu. Známy je aj generátor, ktorý generoval náhodné čísla z obrázkov lávovej lampy. Charakteristickou vlastnosťou fyzikálnych generátorov je neefektívnosť v zmysle relatívne dlhej doby na generovanie postupnosti náhodných čísel. Na druhej strane je ich nedeterministickosť, to znamená, že nevieme generovať tu istú postupnosť (samozrejme je možné náhodné opakovanie časti postupnosti)
- 3) **Aritmetické** – (Pseudo-Random Number Generators - PRNG) generujú náhodné čísla pomocou určitých algoritmov. Ich výhodou je, že produkujú veľké množstvo „náhodných“ čísel v krátkom čase. To je výhodou pri aplikáciách, kde potrebujeme veľa hodnôt. Ďalšou vlastnosťou je ich deterministickosť. To znamená, že pokiaľ vieme štartovací bod algoritmu, vieme opakovane generovať

tú istú postupnosť. Táto vlastnosť je výhodná ak potrebujeme generovať tú istú postupnosť viackrát. Napríklad pri niektorých simulačných experimentoch, pri výučbe, aby si mohli študenti porovnať výsledky, pri optimalizácii. Aritmetické generátory sú tiež periodické – t.j. po určitom počte čísel sa generovaná postupnosť opakuje dookola. Táto vlastnosť je nežiadaná, aj keď väčšina moderných generátorov má túto periódu takú dlhú, že ju v praxi môžeme ignorovať.

Porovnanie TRNG a PRNG generátorov

Tabuľka 1 – Porovnanie TRNG a PRNG generátorov, zdroj: <http://www.random.org/randomness/>

Charakteristika	Aritmetické generátory	Fyzikálne generátory
Efektivita	vysoká	veľmi nízka
Deterministickosť	deterministické	nedeterministické
Periodicita	periodické	neperiodické

Tabuľka 2 – Oblasť použitia jednotlivých generátorov, zdroj: zdroj: <http://www.random.org/randomness/>

Oblasť použitia	Generátor
Lotérie a žrebovania	fyzikálny
Hry a automaty	fyzikálny
Odber vzoriek(narp. drogové testy)	fyzikálny
Simulácie a modelovanie	aritmetický
Bezpečnosť(napr. šifrovacie kľúče)	fyzikálny

1.2.6. Lineárne kongruentné generátory

Na generovanie náhodných čísel sa v súčasnosti používajú najčastejšie lineárne kongruentné generátory. Tieto navrhol v roku 1948 D. H. Lehmer. Dajú sa opísať týmto základným vzťahom:

$$x_{n+1} = (ax_n + c).(\text{mod } m)$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots, k$$

Kde x_0 – východisková hodnota, x_n – generované n -té náhodné číslo, k – počet generovaných náhodných čísel, a – multiplikátor, c – prírastok, m – modulo (zostatok po celočíselnom delení).

Čísla získame z generátora transformujeme na náhodné čísla z $R(0, 1)$ pomocou vzorca $r_n = \frac{x_n}{m}$.

Príklad pre hodnoty: $x_0 = 7$; $a = 11$; $c = 9$; $m = 13$

Tabuľka 3 – Oblasť použitia jednotlivých generátorov, zdroj: vlastné spracovanie

x_n	ax_n+c	$(ax_n+c)(mod\ m)$	$r_{n+1} = x_{n+1}/m$
7	86	1	0,05882353
1	20	3	0,17647059
3	42	8	0,47058824
8	97	12	0,70588235
12	141	5	0,29411765
5	64	13	0,76470588
13	152	16	0,94117647
16	185	15	0,88235294
15	174	4	0,23529412
4	53	2	0,11764706
2	31	14	0,82352941
14	163	10	0,58823529
10	119	0	0,00000000
0	9	9	0,52941176
9	108	6	0,35294118
6	75	7	0,41176471
7	86	1	0,05882353

Podobne fungujú aj ďalšie odvodené generátory:

Aditívny lineárny kongruentný generátor: $x_{n+1} = (ax_n + x_{n-1}).(mod\ m)$

Multiplikatívny lineárny kongruentný generátor: $x_{n+1} = (ax_n).(mod\ m)$

Najčastejšie sa však používajú kombinované generátory, ktoré dokážu vygenerovať oveľa dlhšiu postupnosť čísel bez opakovania.

1.2.7. Generovanie hodnôt náhodných veličín

Už vieme generovať náhodné čísla pre rovnomerné rozdelenie $R(0, 1)$. Avšak na modelovanie skutočnosti budeme potrebovať aj iné rozdelenia, ktoré popisujú mnohé reálne deje. K tomu budeme potrebovať znalosti z teórie pravdepodobnosti. Predmetom teórie pravdepodobnosti je hľadanie zákonitostí, ktorými sa riadia tzv. hromadné náhodné

udalosti, teda udalosti, ktoré sú v komplexe základných podmienok ľubovoľne ráz opakovateľné (PACÁKOVÁ, a iní, 2009 s. 64). Aby sme vedeli tieto znalosti použiť, pripomenieme si základné pojmy, ktoré budeme používať.

- **Náhodný pokus** – je činnosť, ktorá môže byť viackrát opakovaná, pričom výsledok nie je dopredu známy (napr. hod kockou, zhotovenie výrobku, uzatvorenie poisťnej zmluvy atď.).
- **Náhodná premenná** – výsledok náhodného pokusu vyjadrený reálnym číslom. Rozdeľujú sa na:

diskrétne – môžu len nadobúdať hodnoty z konkrétnej konečnej množiny

spojité – môže nadobúdať ľubovoľnú hodnotu z konečného, alebo nekonečného intervalu

- **Rozdelenie** – pravidlo, ktoré každej hodnote, alebo hodnôt priradí pravdepodobnosť, že náhodná veličina nadobudne túto hodnotu, alebo hodnotu z tohto intervalu.
- **Distribučná funkcia** – náhodnej premennej X je definovaná pre každé reálne číslo vzt'ahom:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad x \in (-\infty, \infty)$$

teda vyjadruje pravdepodobnosť, že náhodná premenná X má hodnoty menšie, alebo rovnajúce sa hodnote reálneho čísla x .

- **Hustota pravdepodobnosti** – spojitej náhodnej premennej je funkcia

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}. \text{ Pre všetky reálne } x \text{ je } f(x) \geq 0 \text{ a } \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$$

- **Pravdepodobnostná funkcia** – je v podstate pravidlom rozdelenia pravdepodobnosti **diskrétnej** náhodnej premennej.

$$p(x_i) = P(X = x_i) \text{ pre všetky } x_i \text{ platí } f(x_i) \geq 0 \text{ a celkový súčet } f(x_i) = 1$$

Pre generovanie hodnôt náhodných premenných môžeme použiť niekoľko spôsobov, ktoré závisia od typu rozdelenia.

Metóda inverznej transformácie

Ak máme náhodnú premennú X so spojitou a rastúcou distribučnou funkciou $F(x)$ na intervale (a, b) . Metóda inverznej transformácie transformuje hodnoty rovnomerného rozdelenia $r \in (0, 1)$ na hodnoty $x \in (a, b)$ dané predpisom $x = F^{-1}(r)$. Pričom F^{-1} je inverzná funkcia k distribučnej funkcii F . Túto metódu môžeme použiť iba pre distribučné funkcie, ku ktorým existuje inverzná funkcia vyjadrená pomocou elementárnych funkcií. Dá sa požiť aj pre generovanie diskretných náhodných premenných.

Príklad generovania pre exponenciálne rozdelenie:

$$r = F(x)$$

$$r = 1 - e^{-\lambda x}$$

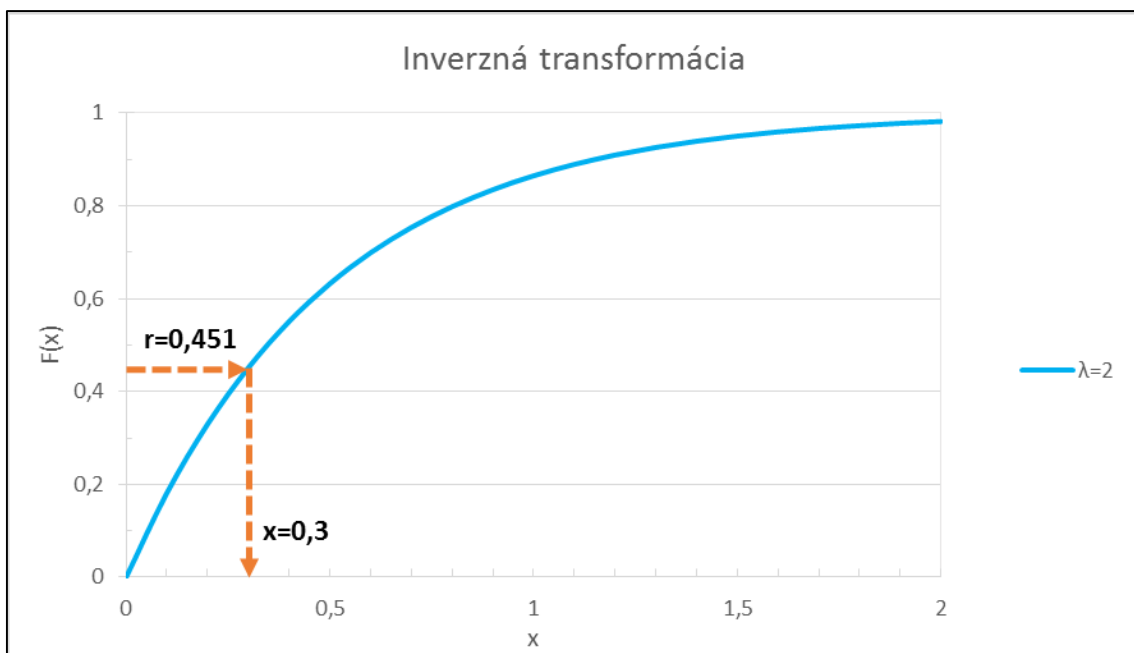
$$e^{-\lambda x} = 1 - r$$

$$-\lambda x = \ln(1 - r)$$

$$x = \left(-\frac{1}{\lambda}\right) \ln(1 - r)$$

$$\text{pre } r = 0,451; \lambda = 2$$

$$x = 0,3$$



Obrázok 7 – Grafické znázornenie inverznej transformácie, zdroj: (DLOUHÝ, a iní, 2007)

1.2.8. Simulačné projekty

Simulačné projekty, ktorých cieľom je zlepšenie podnikových procesov, prechádzajú určitými fázami, ktoré však nie sú pevne dané (DLOUHÝ, a iní, 2007 s. 11). Preskočenie, alebo podcenenie určitej fázy síce môže v niektorých prípadoch ušetriť čas aj peniaze, ale častejším výsledkom je celkové predraženie a zdržanie projektu. Rôzni autori aj konzultantské firmy používajú a prezentujú rôzne delenia na jednotlivé fázy. My si popíšeme delenie podľa (DLOUHÝ, a iní, 2007 s. 11-13):

Fáza 1: Analýza problému a formulácia cieľov

Správna formulácia problému je pre jeho úspešné vyriešenie zásadným krokom. Je bežné, že ani dobrý manažéri nie sú schopní hneď formulovať v čom spočíva príčina problému a ako pristúpiť k riešeniu problému a aké realistické ciele si majú stanoviť. Výroky typu „naš podnik je stratový“, „nie sme schopní dodržať dohodnuté termíny“, alebo „chceme zlepšiť efektívnosť“ sú veľmi nekonkrétne a nie sú správnou formuláciou problému. V tejto fáze je kľúčové stretnutie klienta z riešiteľským tímom, kde sa dohodnú na:

- zhode ohľadom vymedzenia problému a na stanovení dosiahnuteľných cieľov, napríklad problémom je nedostatočná kapacita skladu, cieľom je optimalizácia skladových procesov, pričom zlepšenie o 10 až 15% je už dostačujúce
- tom či bude projekt realizovaný a či je simulácia vhodnou metódou riešenia
- tom, kto bude za projekt zodpovedný a ako bude prebiehať komunikácia medzi klientom a riešiteľským kolektívom

Fáza 2: Vytvorenie konceptuálneho modelu

Pred začiatkom tvorby počítačového modelu je potrebné vytvoriť si predstavu o modelovanom systéme, takzvaný konceptuálny model. Bez takéhoto premysleného modelu sa len ťažko podarí navrhnuť zmysluplný počítačový model zložitého systému. Pri tvorbe modelu si musia odpovedať na nasledujúce otázky:

- Aký podnikový systém modelujeme? Kto sú zákazníci systému?
- Ako je hodnotená efektívnosť systému
- Aká podrobná úroveň modelovania je potrebná?
- Aké objekty, činnosti a zdroje modelovaný systém zahŕňa?
- Aké požiadavky vstupujú do systému? Aké sú pravidlá pri obsluhu požiadaviek?
- Akým spôsobom sa pridelujú obmedzené zdroje k jednotlivým procesom?

Fáza 3: Zber dát

Simulácia je dátovo náročná operácia. Problém nastáva ak žiadne dáta nie sú k dispozícii. Vtedy sa musíme spoľahnúť na reálnosť expertných odhadov od pracovníkov, ktorí majú s danou činnosťou najviac skúseností, alebo na analógiu s podobnými procesmi ku ktorým dáta existujú. Ak sú dáta k dispozícii, musíme dať pozor na ich vypovedaciu hodnotu. Ako boli získané? Aké sú presné?

Fáza 4: Tvorba simulačného modelu

Tvorba modelu v simulačnom programe znamená „zakódovanie“ konceptuálneho modelu z fázy 2 do tohto programu. V niektorých prípadoch môže riešiteľský tím zistiť, že daný program nie je vhodný na riešenie projektu. Tvorba modelu je prvou kontrolou konceptuálneho modelu, pretože nekompromisnosť presnej počítačovej logiky odhalí to, čo bolo pri tvorbe modelu prehliadnuté.

Fáza 5: Verifikácia a validácia modelu

Pod verifikáciou rozumieme overenie toho, či vytvorený model súhlasí z konceptuálnym modelom. Validáciu chápeme, ako overenie toho, či je počítačový model v zhode s realitou.

Fáza 6: Uskutočnenie experimentov a analýza výsledkov

Toto je najzaujímavejšia časť projektu, lebo práca vložená do modelu začína prinášať výsledky. Jedná sa o experimentovanie s modelom. Cieľom analýzy výsledkov je určiť výkonnosť nejakej konfigurácie systému a porovnať výkonnosť rôznych variantov s ohľadom na nejaké kritériá. V niektorých prípadoch je dôležité analyzovať aj tie varianty, ktoré neboli najlepšie. Môžu totiž poskytnúť užitočné informácie o možných nedostatkoch systému.

Fáza 7: Dokumentácia k modelu

Zanedbanie dokumentácie projektu je častou chybou pri realizácii projektov. Jej význam je dôležitý, najmä ak chceme model preskúmať s odstupom času, napr. s cieľom vytvoriť nový podobný model, kde táto dokumentácia môže poslúžiť ako užitočná pomôcka. Taktiež môže pomôcť vyhnúť sa chybám a nedostatkom, ktorých sme sa dopustili pri predošlom projekte.

Fáza 8: Implementácia

Je uvedenie výsledkov simulačného projektu do praxe. Dôležité je, aby aj riešiteľský tím, respektíve jeho časť, spolupracoval na tejto fáze, aby sa zabezpečilo úspešné dovŕšenie projektu. Ak sa implementácia ponecháva iba na užívateľoch, ktorí nedisponujú dostatočne hlbokými poznatkami o modelovanom systéme, zvyšuje to riziko neúspechu.

1.2.9. Vybrané pravdepodobnostné rozdelenia pre diskkrétne udalosti

Geometrické rozdelenie

Toto rozdelenie popisuje počet pokusov pokiaľ nastane prvý úspešný, alebo požadovaný výskyt. Napríklad počet pokusov pri rulete pokiaľ padne očakávaná hodnota a vyhráme, alebo koľko vrtov musíme urobiť kým narazíme na ropu. Má jediný parameter a to p – pravdepodobnosť vyskytnutia sa priaznivého stavu. Tento parameter nadobúda hodnoty z intervalu $(0, 1)$. Parameter $q = (1 - p)$ je pravdepodobnosť výskytu nepriaznivého stavu.

Pravdepodobnostná funkcia:

$$P(X = x) = pq^x = p(1 - p)^x, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

Distribučná funkcia:

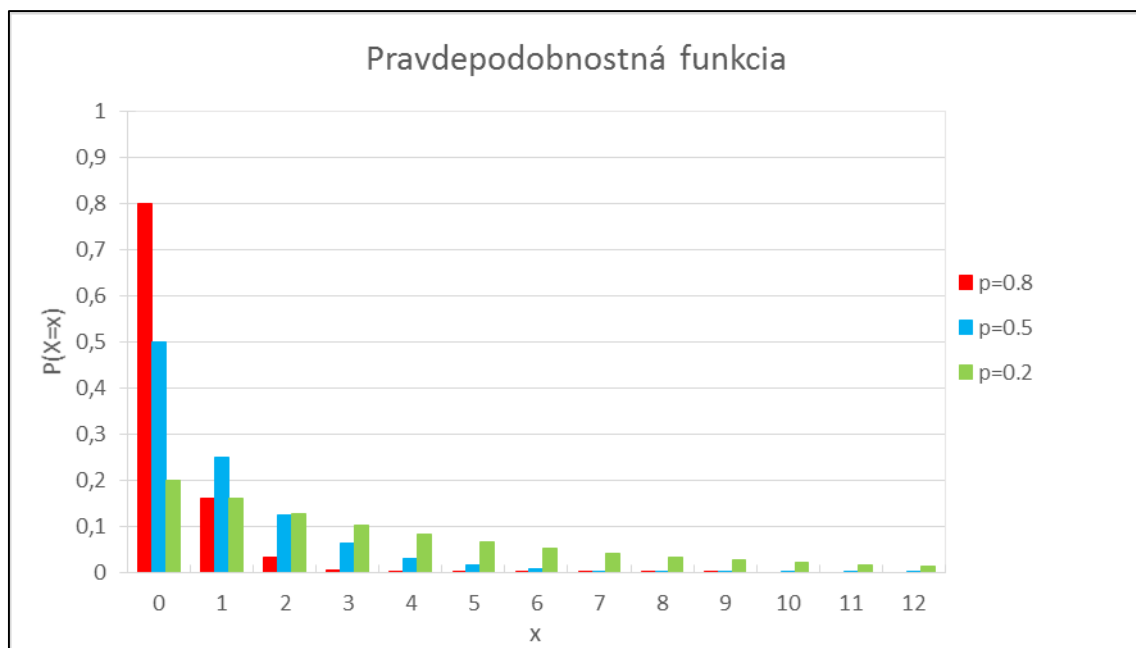
$$F(x) = 1 - (1 - p)^x, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

Stredná hodnota:

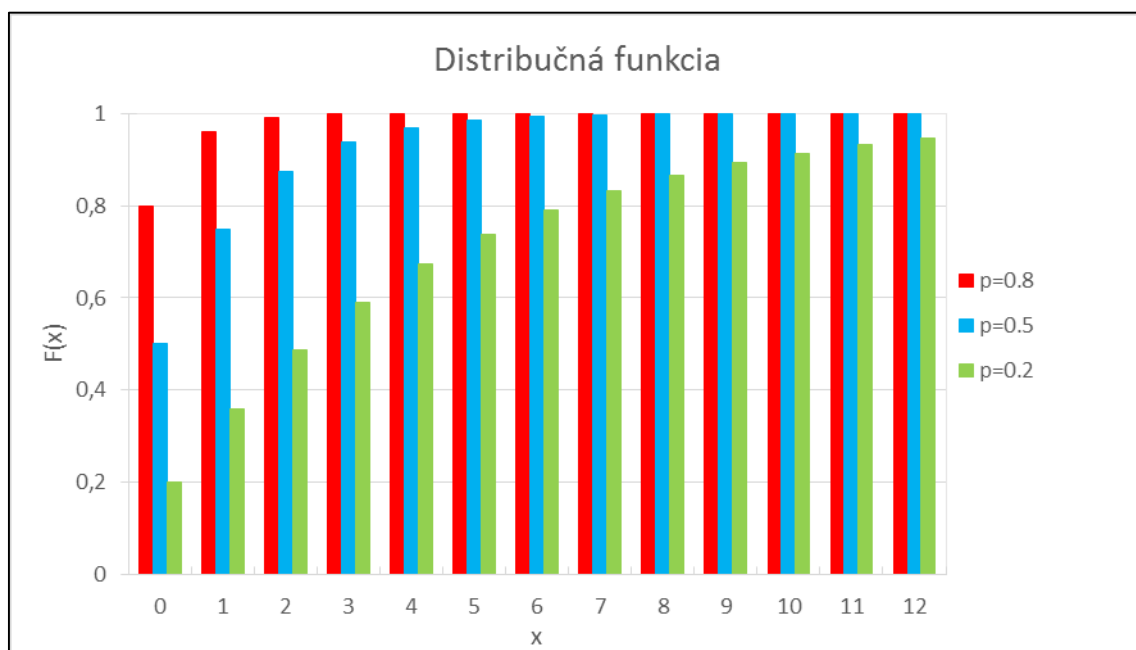
$$E(x) = q/p$$

Rozptyl:

$$D(x) = q/p^2$$



Obrázok 8 – Pravdepodobnostná funkcia pre geometrické rozdelenie s parametrami $p = 0.8$, $p = 0.5$, $p = 0.2$, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 9 – Distribučná funkcia pre geometrické rozdelenie s parametrami $p = 0.8$, $p = 0.5$, $p = 0.2$, zdroj: vlastné spracovanie

Binomické rozdelenie

Náhodná veličina X s binomickým rozdelením popisuje koľkokrát nastal priaznivý jav z n nezávislých pokusov. Napríklad počet hodení znaku pri 10-tich hodoch mincou, alebo počet chybných výrobkov v 100 kusovej sérii. Má dve parametre, n – počet realizovaných náhodných pokusov a p – počet výskytov priaznivého stavu.

Pravdepodobnostná funkcia:

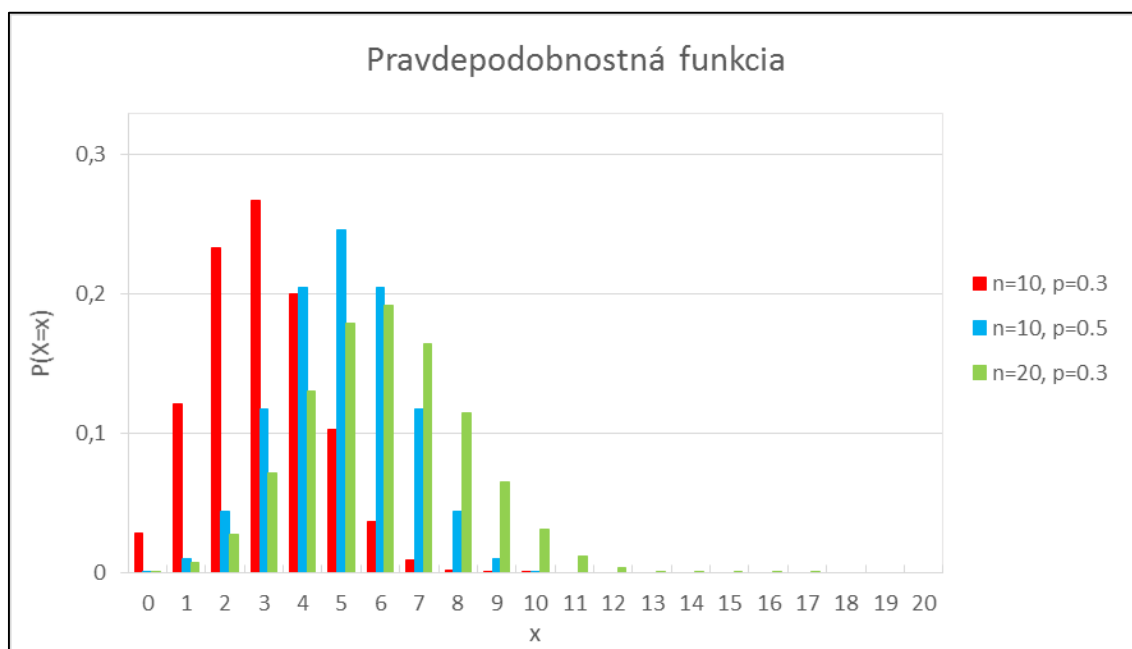
$$P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n$$

Stredná hodnota:

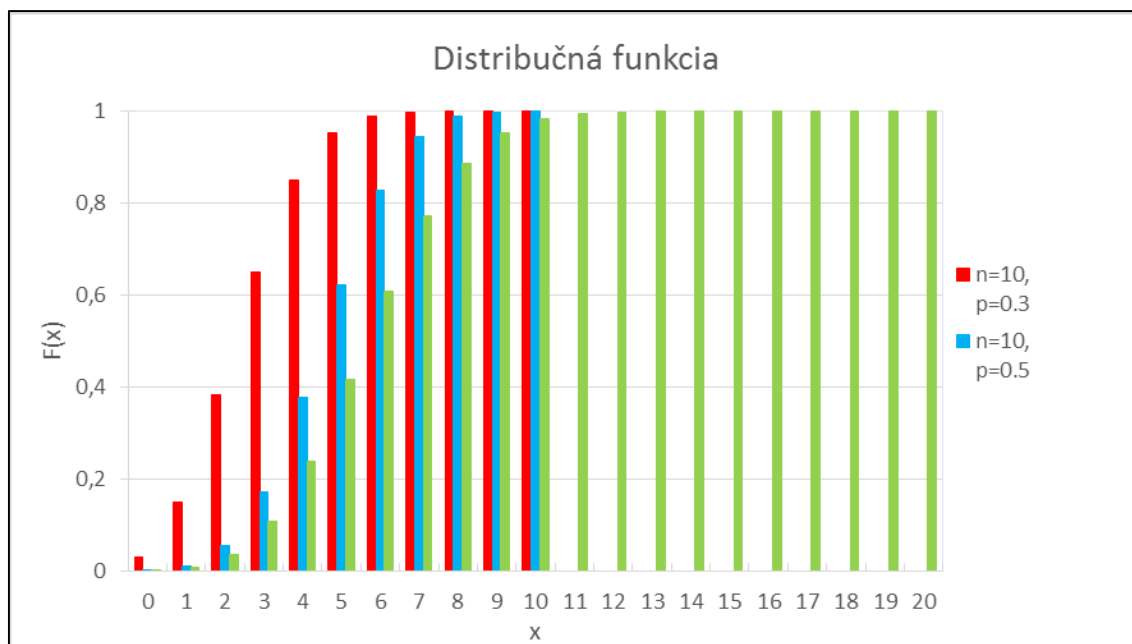
$$E(x) = np$$

Rozptyl:

$$D(x) = np(1 - p)$$



Obrázok 10 – Pravdepodobnostná funkcia pre binomické rozdelenie s parametrami $n = 10$ $p = 0.3$, $n = 10$ $p = 0.5$, $n = 20$ $p = 0.3$, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 11 – Distribučná funkcia pre binomické rozdelenie s parametrami $n = 10$ $p = 0.3$, $n = 10$ $p = 0.5$, $n = 20$ $p = 0.3$, zdroj: vlastné spracovanie

Poissonové rozdelenie

Popisuje, koľkokrát sa sledovaný jav vyskytol počas jednotky času (môže to byť sekunda, minúta, hodina, deň atď.). Používa sa na generovanie príchodu entít do systému, počtu chybných výrobkov, počtu chýb na jeden výrobok, počet prerušení výroby, počtu telefonátov za jednotku času. Má jediný parameter λ (podobne ako exponenciálne rozdelenie), ktorý je interpretovaný ako intenzita príchodu.

Pravdepodobnostná funkcia:

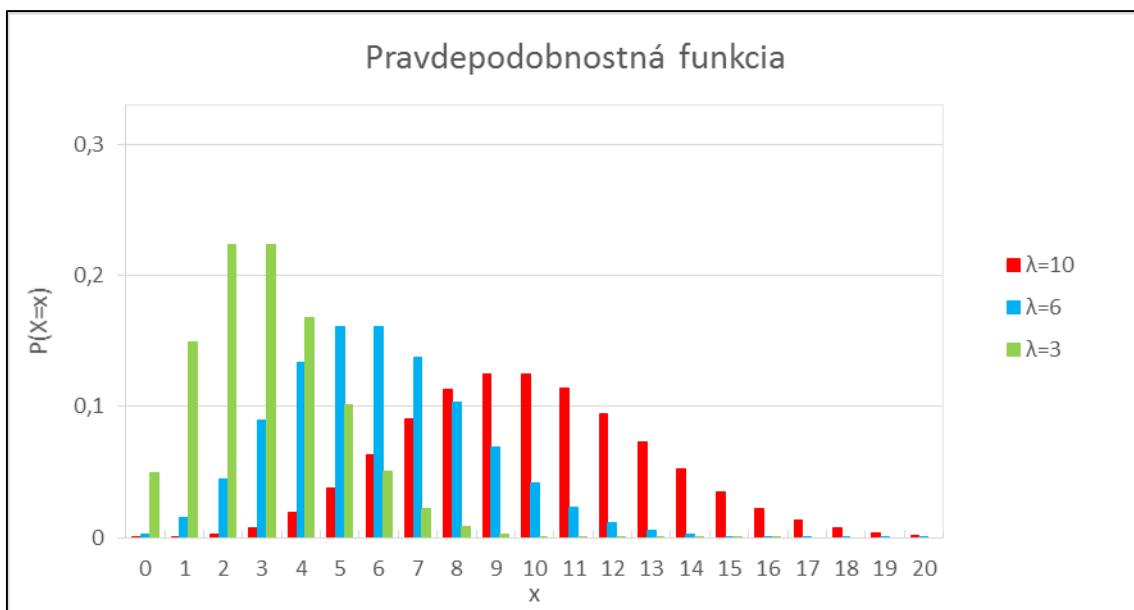
$$P(X = x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

Stredná hodnota:

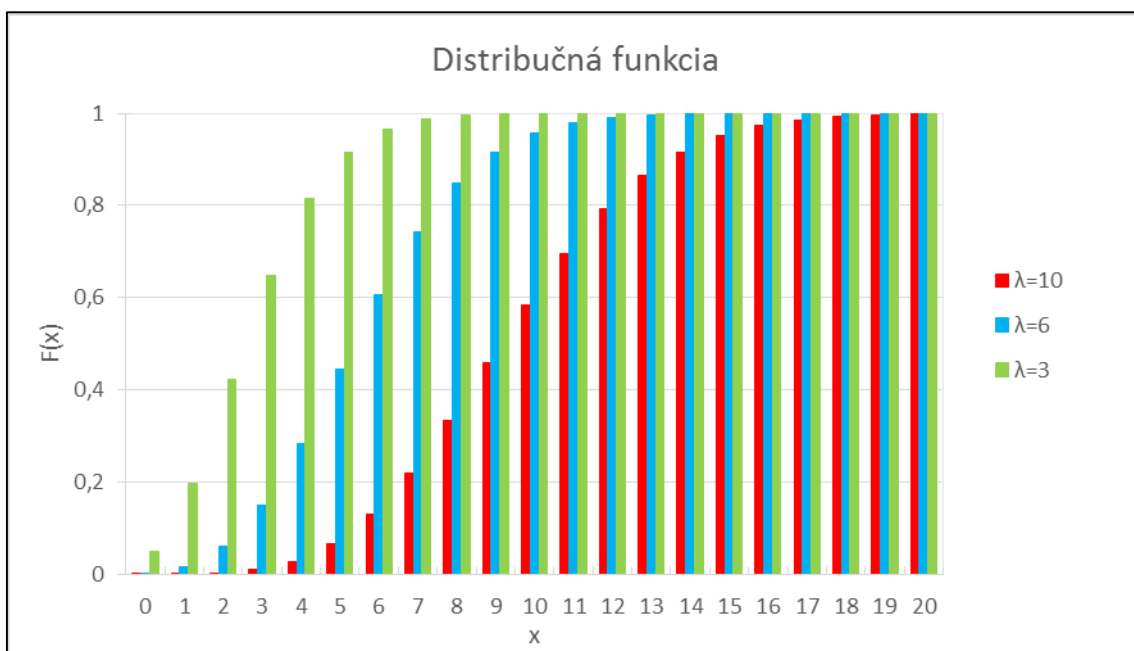
$$E(x) = \lambda$$

Rozptyl:

$$D(x) = \lambda$$



Obrázok 12 – Pravdepodobnostná funkcia pre poissonove rozdelenie s parametrami $\lambda = 10$, $\lambda = 6$, $\lambda = 3$, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 13 – Distribučná funkcia pre poissonove rozdelenie s parametrami $\lambda = 10$, $\lambda = 6$, $\lambda = 3$, zdroj: vlastné spracovanie

1.2.10. *Vybrané pravdepodobnostné rozdelenia pre spojité udalosti*

Rovnomerné rozdelenie

$R(0, 1)$ je základné rozdelenie pre generovanie ďalších náhodných čísel. Okrem neho sa $R(a, b)$ používa v simulácii na zachytenie trvania činností. Má dve parametre, minimálnu hodnotu a a maximálnu hodnotu b , pričom hodnoty z tohto intervalu majú rovnakú pravdepodobnosť výskytu. Pokiaľ je k dispozícii iba horný a dolný odhad experta, používa sa toto rozdelenie. Má dve parametre a – minimálna hodnota, b – maximálna hodnota.

Hustota pravdepodobnosti:

$$f(x) = \begin{cases} 1/(b-a), & x \in (a, b) \\ 0, & x \notin (a, b) \end{cases}$$

Distribučná funkcia:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x-a)/(b-a), & x \in (a, b) \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

Stredná hodnota:

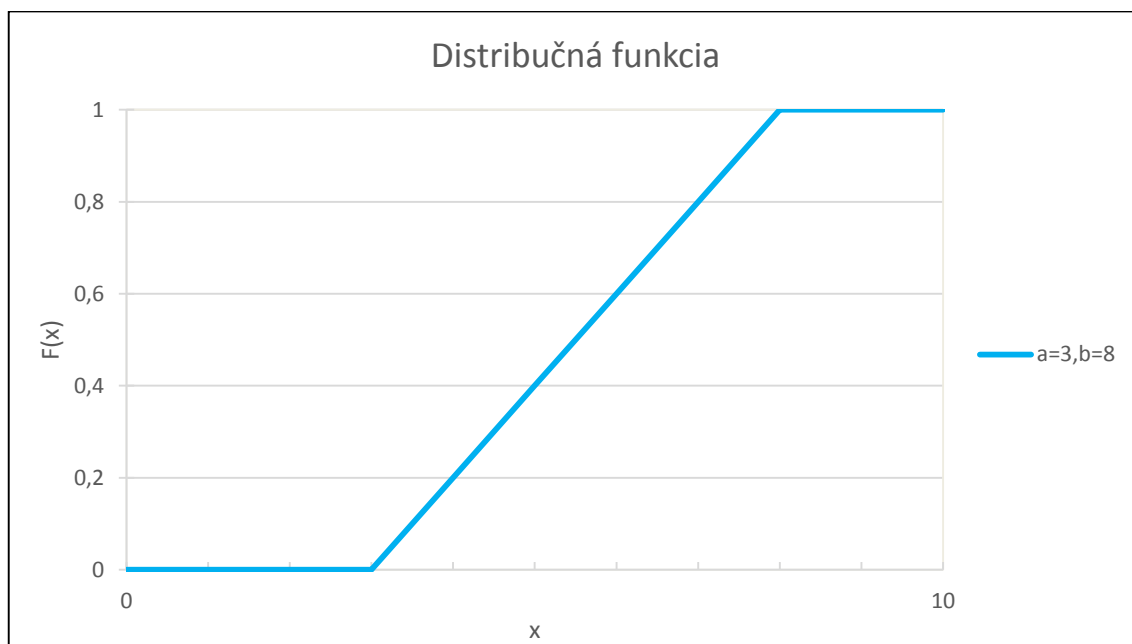
$$E(x) = (a+b)/2$$

Rozptyl:

$$D(x) = (b-a)^2/12$$



Obrázok 14 – Hustota pravdepodobnosti pre rovnomerné rozdelenie s parametrami $a = 3$ a $b = 8$, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 15 – Distribučná funkcia pre rovnomerné rozdelenie s parametrami $a = 3$ a $b = 8$, zdroj: vlastné spracovanie

Normálne rozdelenie

Je najdôležitejšie rozdelenie v teórii pravdepodobnosti, pretože popisuje mnoho javov v prírode ako veľkosť IQ u ľudí, ich hmotnosť. Najčastejšie sa používa na opis „neistých“ premenných ako chyby pri fyzikálnych meraniach a ekonomických pozorovaniach (veľkosť inflácie, cena benzínu). Môže sa použiť aj pre generovanie dĺžky trvania činností, ale treba dať pozor, aby sme zvolili rozptyl a strednú hodnotu tak aby sa negenerovali záporné hodnoty. Existuje jednoduché pravidlo. Ak k strednej hodnote μ pripočítame 3x smerodajnú odchýlku σ^2 dostaneme horné ohraničenie a ak ju odpočítame, tak dostaneme dolné ohraničenie intervalu hodnôt. Má dve parametre μ – stredná hodnota a σ^2 – smerodajná odchýlka. Pričom hodnoty sú rozložené symetricky okolo strednej hodnoty a až 68% hodnôt je v intervale $(\mu - \sigma^2, \mu + \sigma^2)$.

Hustota pravdepodobnosti:

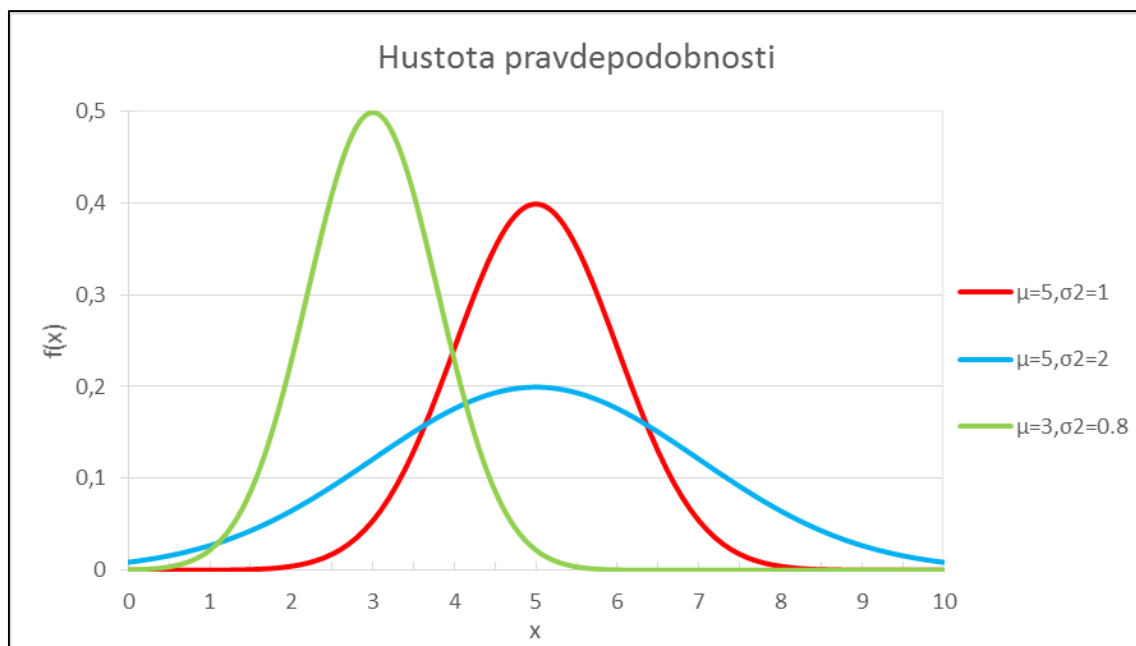
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \text{ pre } -\infty < x < \infty$$

Stredná hodnota:

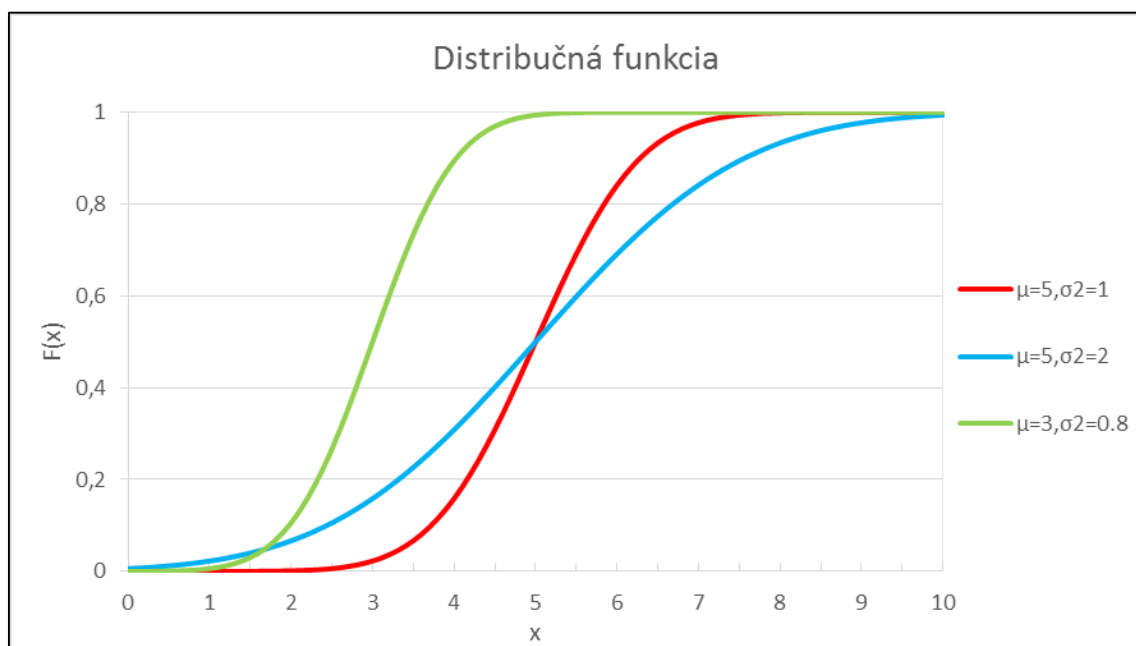
$$E(x) = \mu$$

Rozptyl:

$$D(x) = \sigma^2$$



Obrázok 16 – Hustota pravdepodobnosti pre normálne rozdelenie s parametrami $\mu = 5 \sigma^2 = 1$, $\mu = 5 \sigma^2 = 2$, $\mu = 3 \sigma^2 = 0.8$, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 17 – Distribučná funkcia pre normálne rozdelenie s parametrami $\mu = 5 \sigma^2 = 1$, $\mu = 5 \sigma^2 = 2$, $\mu = 3 \sigma^2 = 0.8$, zdroj: vlastné spracovanie

Trojuholníkové rozdelenie

V skutočnosti sa vyskytuje veľmi zriedka, ale v prípade, že nemáme k dispozícii žiadne vstupné údaje, ale aspoň vieme, že sledovaná premenná nadobúda najčastejšie hodnotu b , minimálne a a maximálne c , tak je toto rozdelenie veľmi užitočné. Môže to byť napríklad odhad predaja, marketingové náklady. Toto rozdelenie má tri parametre a, b, c pre ktoré platí $a < b < c$.

Hustota pravdepodobnosti:

$$f(x) = \begin{cases} 2(x-a)/[(b-a)(c-a)], & a \leq x \leq b \\ 2(c-x)/[(c-a)(c-b)], & b \leq x \leq c \\ 0, & x < a \vee x > c \end{cases}$$

Distribučná funkcia:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ (x-a)^2/[(b-a)(c-a)], & a \leq x \leq b \\ 1 - (c-x)^2/[(c-a)(c-b)], & b \leq x \leq c \\ 1, & x > c \end{cases}$$

Stredná hodnota:

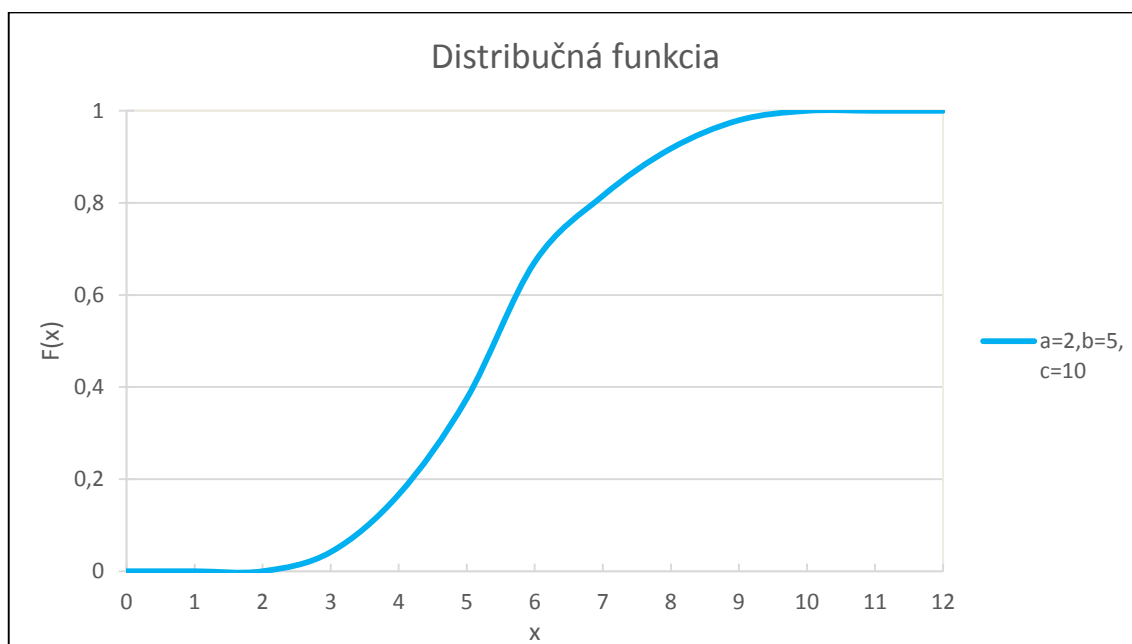
$$E(x) = (a + b + c)/3$$

Rozptyl:

$$D(x) = (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc)/18$$



Obrázok 18 – Hustota pravdepodobnosti pre trojuholníkové rozdelenie s parametrami $a = 2$, $b = 5$ a $c = 10$, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 19 – Distribučná funkcia pre trojuholníkové rozdelenie s parametrami $a = 2$, $b = 5$ a $c = 10$, zdroj: vlastné spracovanie

Exponenciálne rozdelenie

Je to zrejme najčastejšie používané rozdelenie v praxi. Popisuje udalosti náhodne sa opakujúce v čase alebo priestore. Napríklad čas medzi dvoma poruchami nejakého zariadenia, čas medzi príchodmi do zásobníka, medzi dvoma telefonátmi, alebo medzi potrebou opravy cesty. Využíva sa napríklad v poistnej matematike pri určovaní (pravdepodobnostného) rozdelenia výšky poistného plnenia, ďalej napríklad vo fyzike pri modelovaní času rádioaktívneho rozpadu, či v systémoch hromadnej obsluhy. Má jediný parameter λ , ktorý je interpretovaný ako intenzita príchodu, čiže počet príchodov za jednotku času (môže to byť sekunda, minúta, hodina, deň atď.). Hodnota $1/\lambda$ nám udáva čas medzi dvoma po sebe idúcimi udalosťami.

Hustota pravdepodobnosti:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Distribučná funkcia:

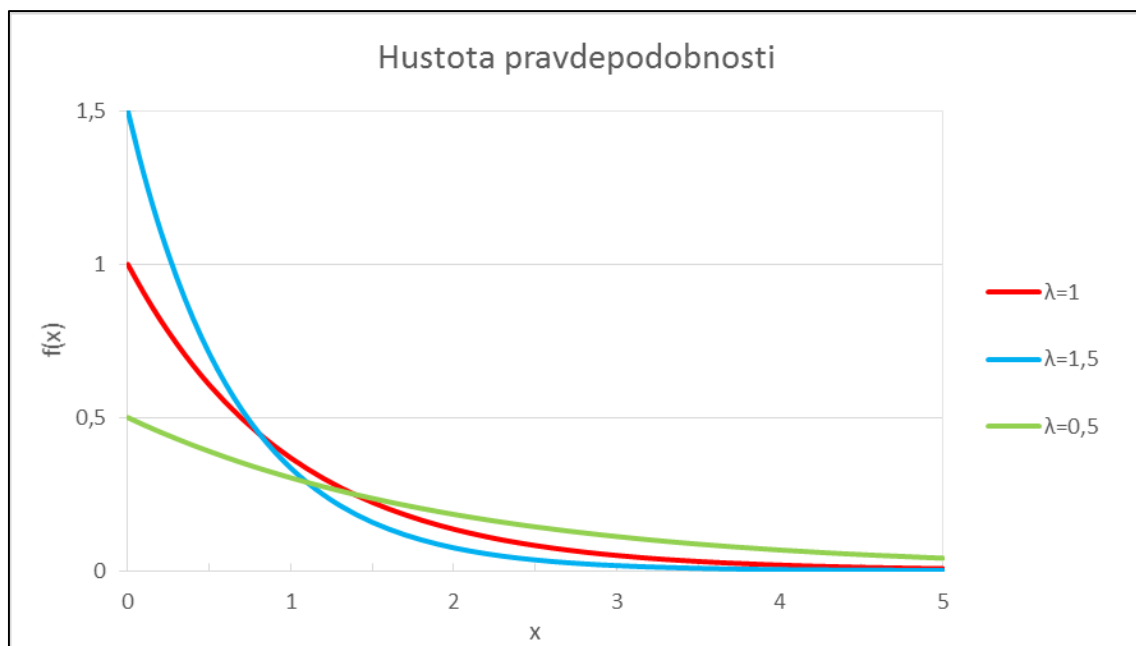
$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Stredná hodnota:

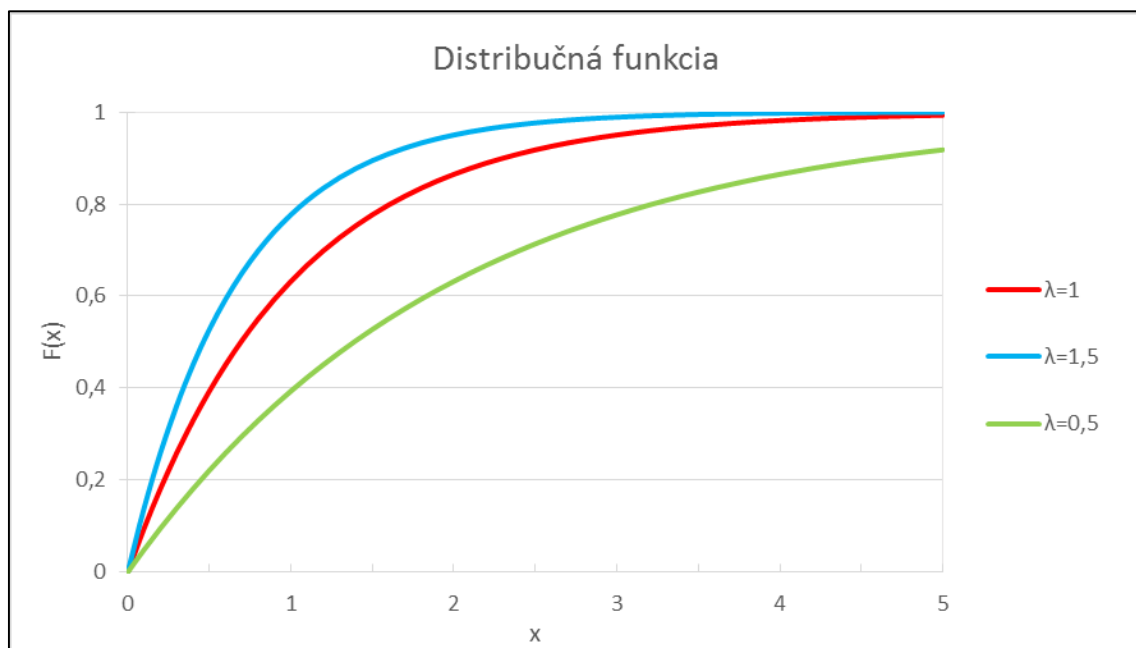
$$E(x) = 1/\lambda$$

Rozptyl:

$$D(x) = 1/\lambda^2$$



Obrázok 20 – Hustota pravdepodobnosti pre exponenciálne rozdelenie s parametrami $\lambda = 1$, $\lambda = 1.5$, $\lambda = 0.5$, zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 21 – Distribučná funkcia pre exponenciálne rozdelenie s parametrami $\lambda = 1$, $\lambda = 1.5$, $\lambda = 0.5$, zdroj: vlastné spracovanie

2 Cieľ práce

Cieľom tejto práce je poskytnúť základné teoretické informácie o modelovaní riadenia zásob a simulačnom modelovaní. Následne tieto vedomosti spojíme a pokúsime sa o riešenie niektorých problémov z oblasti riadenia zásob použitím simulačných modelov. Na samotnú simuláciu použijeme program MS EXCEL, ktorý je bežne dostupná súčasť kancelárskych balíkov. Takže riešenia, ktoré navrhujeme budú použiteľné aj bez použitia drahých špecializovaných softvérov. Zároveň sa tie isté úlohy pokúsime riešiť aj v doplnku pre EXCEL určenému špeciálne pre statickú simuláciu od firmy Oracle - CRYSTAL BALL.

3 Metodika práce

Pri zostavovaní tejto práce sme použili viacero krokov:

- v prípravnej fáze štúdium odbornej literatúry a dostupných elektronických zdrojov, ktoré sú uvedené v zozname použitej literatúry
- výber problematiky, ktorej sa v ďalších kapitolách venujeme
- príprava teoretického základu, ktorý slúži k pochopeniu problému
- implementácia riešenia v programe EXCEL bez aj s doplnkom CRYSTAL BALL
- popis jednotlivých riešení
- riešenie simulačného projektu

4 Výsledky práce

V tejto kapitole popíšeme riešenia jednotlivých modelov riadenia zásob v programoch EXCEL a v programe EXCEL s doplnkom CRYSTAL BALL.

4.1. Model s jednorazovou objednávkou bez možnosti znovu objednania

Typickým príkladom modelu s jednorazovou objednávkou bez možnosti znovu objednania je problém predavača novín. Ten nakupuje noviny za cenu 0,99 € za 1 ks a predáva ich za 1,30 €. Z údajov za minulé obdobia vie, že dopyt po novinách má približne diskrétné rovnomerné rozdelenie z intervalu 200 ks až 300 ks. V prípade, že sa deň predtým udiala nejaká významná udalosť, pravdepodobnostné rozdelenie mení svoje parametre na interval 300 ks až 400 ks. Takáto udalosť nastáva v priemere raz za 10 dní. Túto udalosť však predajca nie je schopný predpovedať a musí urobiť objednávku do 10 hodiny ráno deň dopredu. V prípade, že predajca nepredá všetky noviny môže 30 ks vrátiť bez toho, aby musel za nich platiť. Cieľom simulácie je nájsť takú veľkosť objednávky, ktorá predajcovi z dlhodobého hľadiska prinesie čo najvyšší zisk.

4.1.1. Riešenie v Exceli

Najprv si priblížime riešenie v Exceli. Na začiatku si pripravíme časť so vstupnými údajmi. Tá sa nám zíde v prípade ak by sa zmenili vstupné údaje, aby sme nemuseli prerábať všetky vzorce v tabuľkách.

1. Do bunky B2 vložíme nákupnú cenu novín, do B3 predajnú cenu, B8 – dolná hranica dopytu za bežný deň, B9 - horná hranica dopytu za bežný deň, B11 – percentuálna pravdepodobnosť, že nastane významná udalosť, B13 - dolná hranica dopytu za „špeciálny“ deň, B14 - horná hranica dopytu za „špeciálny“ deň, B16 – koľko ks novín môže predajca vrátiť, bez zaplattenia a B18 – je veľkosť simulovanej objednávky (viď tabuľka 4).

Tabuľka 4 – vstupné údaje, zdroj: vlastné spracovanie

	A	B
1		
2	nákup	0,99 €
3	predaj	1,30 €
4		
5	DOPYT	ks
6	bežný deň	
7	rozdelenie - rovnomerné	
8	a1	200
9	b1	300
10		
11	špeciálny deň	10%
12	rozdelenie šd - rovnomerné	
13	a2	300
14	b2	400
15		
16	môže vrátiť	30
17		
18	veľkosť objednávky	250

Tieto bunky sme si pomenovali, kvoli lepšej prehľadnosti vo vzorcoch (viď obrázok 22)

New... Edit... Delete		
Name	Refers To	Value
spec_den	=Sheet1!\$B\$11	10%
a_2	=Sheet1!\$B\$13	300
b_2	=Sheet1!\$B\$14	400
moze_vratit	=Sheet1!\$B\$16	30
objednavka	=Sheet1!\$B\$18	250
nakup	=Sheet1!\$B\$2	0,99 €
predaj	=Sheet1!\$B\$3	1,30 €
a_1	=Sheet1!\$B\$8	200
b_1	=Sheet1!\$B\$9	300

Obrázok 22 – pomenovanie buniek, zdroj: vlastné spracovanie

2. Pripravíme si tabuľku, kde budeme simulovať predaj za 30 dní.
3. Do bunky E3 vložíme vzorec na výpočet dopytu v simulovaný deň.

$$E3 = \text{ROUNDDOWN}(\text{IF}(\text{RAND}() < \text{spec_den}; \text{RAND()} * (\text{b_2} - \text{a_2} + 1) + \text{a_2}; \text{RAND()} * (\text{b_1} - \text{a_1} + 1) + \text{a_1}); 0)$$
– tu si funkciou RAND generujeme náhodné číslo s rovnomerným rozdelením z intervalu (0, 1). Ak je menšie ako hodnota „špeciálneho dňa“, tak generujeme $\text{RAND()} * (\text{b_2} - \text{a_2} + 1) + \text{a_2}$, čo je rozdelenie pre špeciálny deň, ináč generujeme dopyt pre bežný deň $\text{RAND()} * (\text{b_1} -$

$a_{1+1}+a_1$). Keďže nám ako výsledok môžu vychádzať aj desatinné čísla, výsledok zaokrúhlujeme funkciou **ROUNDDOWN**.

4. V bunke **F3** = **MIN(objednavka;E3)*predaj** – vypočítavame tržbu z predaja za daný deň. Čo je vlastne menšia z hodnôt dopytu v daný deň, alebo počtu objednaných kusov, ak bol dopyt vyšší ako počet novín, ktoré predajca objednal. Toto množstvo násobíme predajnou cenou.
5. V bunke **G3** = **IF(E3>objednavka;objednavka*nakup;MAX(objednavka-moze_vratit;E3))** – vypočítame náklady na zakúpenie novín na predaj. Ak bol dopyt väčší ako počet objednaných novín, jednoducho ich vynásobíme nákupnou cenou **objednavka*nakup**. Ale ak bol dopyt nižší tak musíme odpočítať počet novín, ktoré môžeme vrátiť bez zaplatenia a tak stanovíme nákupnú cenu za daný deň **MAX(objednavka-moze_vratit;E3)**.
6. V bunke **H3** = **F3-G3** – vypočítame zisk z predaja, čo je rozdiel medzi tržbou a nákladmi.
7. Tieto vzorce skopírujeme do ďalších riadkov pod seba, tak aby sme dostali 30 simulovaných dní. Na konci tabuľky ešte vložíme štatistické ukazovatele a to priemer, modus a medián pre hodnoty zisku zo všetkých 30-tich simulácií.

Tabuľka 5 – model predaja novín v tabuľke, zdroj: vlastné spracovanie

	D	E	F	G	H
2	deň	dopyt	tržba	náklady	zisk
3	1	290	325,00 €	247,50 €	77,50 €
4	2	264	325,00 €	247,50 €	77,50 €
5	3	293	325,00 €	247,50 €	77,50 €
6	4	221	287,30 €	221,00 €	66,30 €
7	5	271	325,00 €	247,50 €	77,50 €
27	25	200	260,00 €	220,00 €	40,00 €
28	26	296	325,00 €	247,50 €	77,50 €
29	27	204	265,20 €	220,00 €	45,20 €
30	28	261	325,00 €	247,50 €	77,50 €
31	29	213	276,90 €	220,00 €	56,90 €
32	30	267	325,00 €	247,50 €	77,50 €
33				Priemer	71,87 €
34				Medián	77,50 €
35				Modus	77,50 €
36					

8. V ďalšom kroku si pripravíme dátovú tabuľku na porovnanie výsledkov simulácie pre viacero hodnôt veľkosti objednávky novín. Do stĺpca **J** vložíme poradie pokusov a do riadku **2** hodnoty veľkosti objednávky, pre ktoré chceme odhadnúť priemerný zisk. (viď tabuľka 5)
9. Do ich priesečníka, v tomto prípade bunka **J2**, vložíme vzorec na výpočet zisku. Stačí ak tam vložíme odkaz napríklad na bunku **H3**.
10. Označíme pole **J2:R32** a zvolíme príkaz zo záložky **Data/What-if Analysis/Data Table**. Otvorí sa nám dialógové okno. Do poľa **Row input cell** vložíme odkaz na bunku, v ktorej je parameter, ktorý chceme meniť, v našom prípade je to **\$B\$18**. Do poľa **Column input cell** vložíme odkaz na akúkoľvek prázdnu bunku.
11. Do riadkov **33,34,35** vložíme vzorce na výpočet priemeru, modusu a mediánu.

Tabuľka 6 – dátová tabuľka, zdroj: vlastné spracovanie

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
2	77,50 €	215	230	245	260	275	290	305	330
3	1	63,60 €	71,30 €	75,95 €	72,00 €	25,40 €	23,40 €	87,30 €	77,00 €
4	2	66,65 €	71,30 €	75,95 €	80,60 €	75,90 €	89,90 €	17,50 €	- 14,00 €
5	3	62,70 €	65,10 €	65,40 €	80,60 €	85,25 €	87,00 €	44,80 €	41,90 €
6	4	66,65 €	67,20 €	75,95 €	80,60 €	67,00 €	26,00 €	1,90 €	34,10 €
7	5	66,65 €	71,30 €	75,95 €	73,50 €	85,25 €	83,10 €	38,30 €	102,30 €
27	25	66,65 €	66,60 €	75,95 €	70,80 €	85,25 €	44,20 €	40,90 €	14,60 €
28	26	66,65 €	71,30 €	75,95 €	80,60 €	85,25 €	83,70 €	- 3,30 €	- 33,50 €
29	27	66,65 €	71,30 €	75,95 €	80,60 €	46,20 €	70,20 €	88,20 €	61,40 €
30	28	66,65 €	67,50 €	75,95 €	67,70 €	52,70 €	89,90 €	64,30 €	60,10 €
31	29	66,65 €	71,30 €	71,40 €	46,90 €	59,20 €	79,20 €	89,70 €	- 12,70 €
32	30	66,65 €	66,30 €	75,95 €	80,60 €	24,10 €	65,00 €	12,30 €	53,60 €
33	Priemer	66,15 €	68,68 €	73,22 €	73,18 €	70,51 €	66,92 €	47,19 €	32,77 €
34	Medián	66,65 €	71,30 €	75,95 €	77,10 €	76,20 €	82,80 €	42,85 €	43,85 €
35	Modus	66,65 €	71,30 €	75,95 €	80,60 €	85,25 €	89,90 €	26,60 €	102,30 €

Na základe výsledku z dátovej tabuľky dostávame odhad optimálnej veľkosti objednávky, niekde medzi 245 a 260 ks. Pri týchto hodnotách je priemerná veľkosť zisku najvyššia. Lepší odhad dostaneme použitím väčšieho počtu pokusov. Tridsať pokusov je na simuláciu pomerne málo. Taktiež sa dá pohrať z veľkosťami objednávok, a napríklad pri ďalšej simulácii použiť namiesto hodnôt z intervalu 215 až 330, ktoré sme použili

v príklade, užší interval práve z rozsahu, ktorý nám ukázala prvá simulácia t.j. 245 až 260. Toto je práve výhoda simulácií, že keď už máme hotový model, môžeme sa sním „pohrať“ a hľadať odhad optimálneho riešenia.

4.1.2. Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball

Crystal Ball je doplnok do programu MS Excel, ktorý rozširuje jeho možnosti v oblasti simulácie modelov, analýzy dát a rozhodovania. Takže bude potrebné si tabuľku z predchádzajúceho príkladu trochu upraviť pre potreby simulácie v Crystal Balle.

1. Tabuľka so vstupnými údajmi ako v tabuľke č.4 zostane zachovaná, ale vypadne z nej riadok 18. Hodnoty veľkosti objednávky vložíme priamo do simulačnej tabuľky.
2. Do bunky E3 vložíme veľkosť objednávky. V našom príklade je to 230. Do bunky F3 vložíme pomocou menu doplnku Crystal Ball ([Define assumption/uniform](#)) generovanie náhodného čísla s rovnomerným rozdelením (0, 1). Toto nám bude simulovať výskyt „špeciálneho dňa“. V okne, ktoré sa nám zobrazí vložíme hodnoty minimum = 0 a maximum = 1.

Tabuľka 7 – simulácia v Crystal Ball, zdroj: vlastné spracovanie

	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1									
2	<i>simulácia</i>	<i>objednávka</i>	<i>náh.číslo</i>	<i>bežný deň</i>	<i>špec. deň</i>	<i>dopyt</i>	<i>tržba</i>	<i>náklady</i>	<i>zisk</i>
3	1	230	0	0	0	0	- €	200,00 €	-200,00 €
4	2	235	0	0	0	0	- €	205,00 €	-205,00 €
5	3	240	0	0	0	0	- €	210,00 €	-210,00 €
6	4	245	0	0	0	0	- €	215,00 €	-215,00 €
7	5	250	0	0	0	0	- €	220,00 €	-220,00 €
8	6	255	0	0	0	0	- €	225,00 €	-225,00 €
9	7	260	0	0	0	0	- €	230,00 €	-230,00 €
10	8	265	0	0	0	0	- €	235,00 €	-235,00 €
11									

3. Do bunky G3 vložíme generovanie náhodného čísla s celočíselným rovnomerným rozdelením z intervalu 200 ks až 300 ks pre dopyt bežný deň. [Define assumption/discrete uniform](#). V okne, ktoré sa nám otvorilo dáme do políčka pre minimum odkaz na bunku B8 a pre maximum B9. To isté urobíme aj

pre dopyt pre „špeciálny deň“ v bunke H3, ale s hodnotami pre minimum B13 a maximum B14.

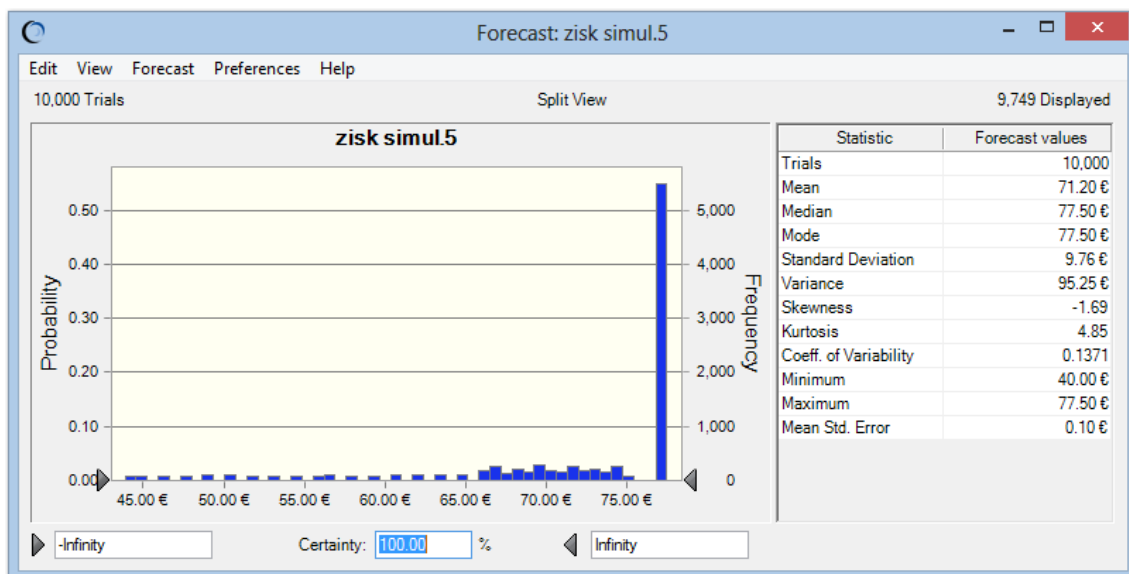
4. Do bunky I3 = IF(F3<spec_den;H3;G3) – určíme dopyt to tak, že ak je náhodné číslo z bunky F3 menšie ako percento nastátia „špeciálneho dňa“ tak sa berie dopyt generovaný v bunke H3 inak dopyt z bunky G3.
5. V bunke J3 = MIN(E3;I3)*predaj – vypočítavame tržbu z predaja za daný deň. Čo je vlastne menšia z hodnôt dopytu v daný deň I3, alebo počtu objednaných kusov E3 ak bol dopyt vyšší ako počet novín, ktoré predajca objednal. Toto množstvo násobíme predajnou cenou.
6. V bunke K3 = IF(I3>E3;E3*nakup;MAX(E3-moze_vratit;I3)) – vypočítame náklady na zakúpenie novín na predaj. Ak bol dopyt väčší ako počet objednaných novín, jednoducho ich vynásobíme nákupnou cenou E3*nakup. Ale ak bol dopyt nižší tak musíme odpočítať počet novín, ktoré môžeme vrátiť bez zaplatenia a tak stanovíme nákupnú cenu za daný deň MAX(E3-moze_vratit;I3).
7. V bunke L3 = J3-K3 – vypočítame zisk z predaja, čo je rozdiel medzi tržbou a nákladmi.
8. Vzorce z buniek E3:L3 nakopírujeme aj do ďalších riadkov. Pozor treba dať pri kopírovaní buniek F3:H3. Tie treba kopírovať pomocou tlačidla Copy a Paste v nástrojovej lište Crystal Ballu. Ináč sa do nich neprenesie generovanie náhodných premenných.
9. Ako výsledky chceme sledovať priemerné hodnoty zisku v bunkách L3:L10. Takže tieto si musíme označiť cez nástrojovú lištu príkazom Define Forecast. A nastavíme zobrazenie výsledkov do tabuľky (v záložke AUTO EXTRACT).
10. Nastavíme si parametre simulácia kliknutím na ikonu RUN PREFERENCES. V okne, ktoré sa nám zobrazí na záložke TRIALS nastavíme počet simulačných cyklov. Mi sme nastavili hodnotu na 10000, čo je dostatočný počet dní na simuláciu. Ostatné hodnoty necháme tak ako sú prednastavené a potvrdíme stlačením OK.

11. Teraz spustíme samotnú simuláciu kliknutím na ikonu **START**. Priebeh simulácie môžeme sledovať v okne, ktoré sa spustí so štartom simulácie.

Tabuľka 8 – výsledky simulácie, zdroj: vlastné spracovanie

Forecast Name	zisk simul.1	zisk simul.2	zisk simul.3	zisk simul.4	zisk simul.5	zisk simul.6	zisk simul.7	zisk simul.8
Trials	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Mean	69,42 €	70,25 €	70,82 €	71,07 €	71,20 €	70,53 €	70,30 €	69,39 €
Median	71,30 €	72,85 €	74,40 €	75,95 €	77,50 €	76,50 €	76,80 €	76,50 €
Mode	71,30 €	72,85 €	74,40 €	75,95 €	77,50 €	79,05 €	80,60 €	82,15 €
Minimum	60,00 €	55,00 €	50,00 €	45,00 €	40,00 €	35,00 €	30,00 €	25,00 €
Maximum	71,30 €	72,85 €	74,40 €	75,95 €	77,50 €	79,05 €	80,60 €	82,15 €

Ako môžeme vidieť v tabuľke 8 najlepší priemerný zisk z 10 000 simulácií denného predaja je sme dosiahli v simulácii 5, kde sme objednávali 250 novín denne a dosiahli sme zisk 71,20 €. Crystal ball nám ponúka mnoho štatistických prehľadov a grafov.



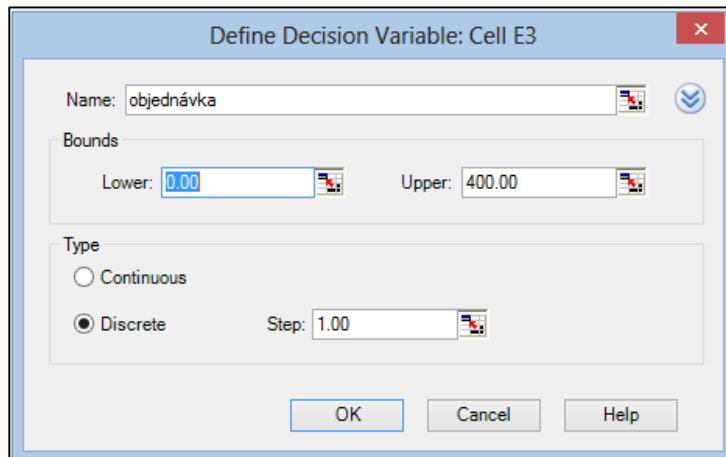
Obrázok 23 – štatistický výstup z najlepšej simulácie, zdroj: vlastné spracovanie

Ako vidno z grafu pravdepodobnostného rozdelenia zisku približne 55 % simulácií dosiahlo zisk 77,50 €. Táto hodnota tvorí modus aj medián tohto štatistického súboru.

Crystal ball obsahuje aj funkciu na hľadanie optimálnej objednávky OptQuest. Táto funkcia prechádza hodnoty objednávky v určitom intervale, ktorý môžeme nastaviť

a hľadá najlepší výsledok. Pri týchto simuláciách sa používa tá istá sada náhodných čísel, aby sme dosiahli čo najpresnejšie výsledky. Postup a nastavenie OptQuest-u:

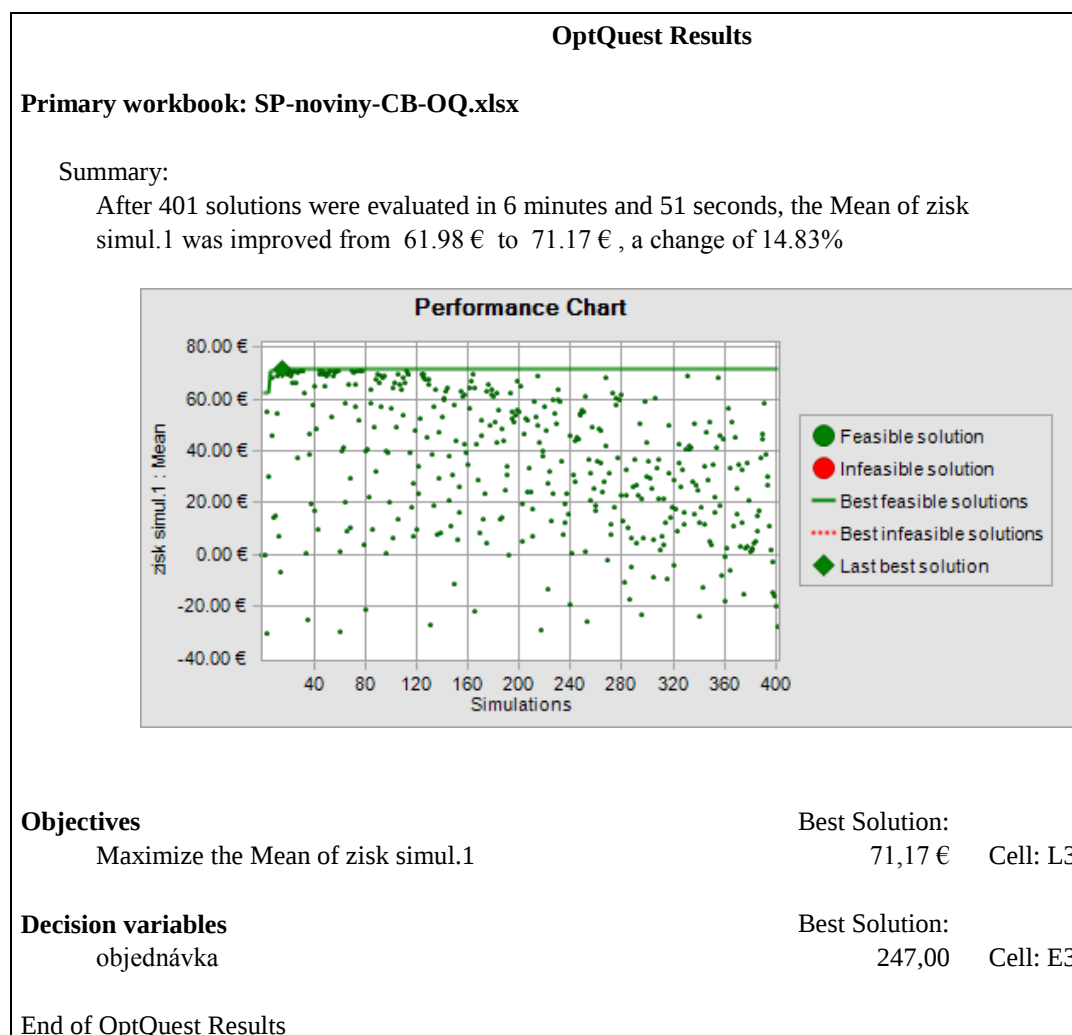
1. Najprv si musíme zadať bunku, podľa ktorej bude prebiehať rozhodovanie. V našom prípade to je počet objednaných novín. Klikneme na bunku **E3** a stlačíme ikonu **DEFINE DECISION**.



Obrázok 24 – nastavenie bunky pomocou Define Decision, zdroj: vlastné spracovanie

2. V okne, ktoré sa nám otvorí nastavíme názov sledovanej bunky. My sme zvolili objednávka. Ďalej nastavíme rozsah hodnôt v ktorých budeme hľadať. My sme zvolili hodnoty v rozpätí spodná hodnota (lower) = 0 a horná hodnota (upper) = 400. Ako typ nastavíme diskkrétne hodnoty s krokom (step) = 1 (viď obrázok 24).
3. Ďalej klikneme na ikonu **OptQuest** a spustí sa nám sprievodca optimalizáciou. V prvom kroku vyplníme **Objectives** čiže ciele. Nastavíme maximalizáciu priemernej hodnoty zisku v bunke **L3**. Ostatné nastavenie preskočíme a prejdeme priamo na Options. Tam sme nastavili časový limit na simuláciu na 20 minút a následne ju môžeme spustiť klikom na tlačidlo Run.
4. Zhruba po 8 minútach simulácie dostávame výsledok.

Tabuľka 9 – výsledky a priebeh optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie



Ako vidíme maximálny priemerný zisk bol 71,17 € pri objednávke 247 ks. Keď sa pozrieme na podrobný rozpis (tabuľka 10), vidíme, že rovnaký výsledok sme dosiahli aj pri objednávke o veľkosti 248 ks.

Tabuľka 10 – TOP 5 veľkostí objednávok podľa priemerného zisku, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk simul.1	objednávka
1	16	71,17 €	247,00
2	15	71,17 €	248,00
3	29	71,16 €	246,00
4	57	71,16 €	249,00
5	30	71,14 €	245,00

4.2. (r, S) systém riadenia zásob

Ďalším systémom riadenia zásob je (r, S) systém. Ako píšeme v kapitole 1.1.4. zakladá sa na vopred plánovanej konštantnej dĺžke dodávkového cyklu, pevné objednávacie termíny, ktoré sa pravidelne opakujú po uplynutí časového intervalu r , kde sa ihneď objednáva doplnenie zásoby podľa faktického stavu a veľkosti hladiny zásoby s . Veľkosť objednávky je daná rozdielom $S-s$. Pričom S je množstvo zásob, na ktoré dopĺňame sklad. V našom príklade budeme riešiť príklad spoločnosti, ktorá sa zaoberá dovozom a predajom tovaru. Pričom fixné náklady na vystavenie objednávky sú v sume 900 €, bez ohľadu na veľkosť objednávky. Variabilné náklady na jeden kus tovaru sú 20 €. Náklady na skladovanie jedného výrobku sú 15 € za týždeň. Cena za predaj jedného kusu je 50 €. Táto cena je daná cenou podobných výrobkov na trhu. Ďalšou hodnotou sú náklady na nedostatok tovaru. Túto hodnotu určil manažment na 10€ za nedodaný kus. Z predajov za predchádzajúce obdobia vieme, že dopyt po výrobkoch má normálne rozdelenie so strednou hodnotou 100 ks a odchýlkou 20 ks za týždeň. Cieľom spoločnosti je dosiahnuť čo najvyšší zisk za predpokladu, že úroveň obsluhy bude minimálne 98 %. Táto hranica je pre vedenie podniku veľmi dôležitá aj za cenu nižšieho zisku. Na dosiahnutie tohto cieľa sa rozhodli použiť (r, S) systém riadenia zásob. Pričom objednávka sa vystavuje vždy na konci týždňa s tým, že ďalší týždeň je už k dispozícii na sklade.

4.2.1. Riešenie v Exceli

Tak ako v predchádzajúcom príklade si najprv pripravíme tabuľku so vstupnými údajmi.

1. Do bunky D3 vložíme predajnú cenu za 1 ks výrobku, do D4 fixné náklady na vystavenie objednávky, D5 – variabilné náklady na objednanie výrobku, D6 – náklady na skladovanie jedného výrobku, D7 – náklady na nedostatok jedného výrobku, D10 – hodnota S skladových zásob na ktorú dopĺňame sklad pri objednávke tovaru, D13 – stredná hodnota normálneho rozdelenia dopytu, D14 – odchýlka dopytu od strednej hodnoty pre normálne rozdelenie (tabuľka 11).

Tabuľka 11 – vstupné dáta, zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D
2	Náklady		
3	Predajná cena za 1ks		50,00 €
4	Náklady objednávky fixné		900,00 €
5	Náklady obj. variabilné		20,00 €
6	Náklady skladovania		15,00 €
7	Náklady nedostatku		10,00 €
8			
9	Hladina zásob		
10	S		100
11			
12	Dopyt (normálne rozdelenie)		
13	Stredná hodnota		100
14	Odchýlka		20

2. Tieto bunky sme si pomenovali, kvoli lepšej prehľadnosti vo vzorcoch (viď obrázok 25).

New...	Edit...	Delete
Name	Value	Refers To
hladina_S	100	=Sheet1!\$D\$10
nakl_nedos	10,00 €	=Sheet1!\$D\$7
nakl_obj_fix	900,00 €	=Sheet1!\$D\$4
nakl_obj_var	20,00 €	=Sheet1!\$D\$5
nakl_sklad	15,00 €	=Sheet1!\$D\$6
odchylka	20	=Sheet1!\$D\$14
pred_cena	50,00 €	=Sheet1!\$D\$3
stred_hod	100	=Sheet1!\$D\$13

Obrázok 25 – pomenovanie buniek, zdroj: vlastné spracovanie

3. Pripravíme sa tabuľku, kde budeme simulovať predaj tovaru za 1 000 týždňov.
4. Do bunky C18 vložíme vzorec na generovanie dopytu v daný týždeň.
 $C18 = \text{ROUND}(\text{NORM.INV}(\text{RAND}(); \text{stred_hod}; \text{odchylka}); 0)$ - funkciou **RAND** generujeme náhodné číslo s rovnomerným rozdelením z intervalu $(0, 1)$ a túto hodnotu následne pomocou funkcie inverznej transformácie k normálnemu rozdeleniu **NORM.INV** transformujeme na dopyt za daný týždeň. Keďže nám ako výsledok môžu vychádzať aj desatinné čísla, výsledok zaokrúhľujeme funkciou **ROUND**.

5. V bunke $D18 = IF(C18 > hladina_S; hladina_S; C18)$ – vypočítame počet predajov za týždeň. Pričom ak je dopyt väčší ako skladové zásoby ($hladina_S$), tak môžeme predat maximálne $hladina_S$ tovarov, a ak je dopyt menší tak predáme dopytované množstvo v bunke $C18$.
6. V bunke $E18 = hladina_S - D18$ – vypočítame počet kusov výrobkov v sklade na konci týždňa.
7. V bunke $F18 = D18 * pred_cena$ – vypočítame tržbu za týždeň ako súčin predaných kusov z bunky $D18$ a predajnej ceny.
8. V bunke $G18 = (hladina_S + E18) / 2 * nakl_sklad$ – vypočítame náklady na skladovanie tovaru za týždeň. Je to súčin priemerného stavu tovaru na sklade za týždeň $(hladina_S + E18) / 2$ a nákladov na skladovanie.
9. V bunke $H18 = IF(C18 > hladina_S; (C18 - hladina_S) * nakl_nedos; 0)$ – vypočítame náklady nedostatku tovaru. Ak bol dopyt vyšší ako množstvo tovaru na sklade ($C18 > hladina_S$), tak sa vypočíta ako súčin nákladov nedostatku a počtu neuspokojených dopytov $((C18 - hladina_S) * nakl_nedos)$. Ináč sú rovné 0.
10. V bunke $I18 = nakl_obj_fix + (D18) * nakl_obj_var$ – vypočítame náklady objednávky. Ako súčet fixných nákladov na objednávku a variabilných nákladov na obstaranie predaných kusov $((D18) * nakl_obj_var)$.
11. V bunke $J18 = F18 - G18 - H18 - nakl_obj_fix$ – vypočítame zisk za daný týždeň ako rozdiel tržby a súčtu nákladov (na skladovanie, nedostatku a objednávky).
12. Tieto vzorce skopírujeme aj do ďalších 1 000 riadkov, aby sme mohli simulovať predaje za 1 000 týždňov. Pod tabuľku ešte vložíme vzorce na výpočet priemerných hodnôt sledovaných veličín (riadok 1018) a tabuľku s hodnotami minimálneho, maximálneho, mediánu a modula zisku a s percentom uspokojených dopytov (úroveň obsluhy).

Tabuľka 12 – kompletná tabuľka, zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
17	týžden	dopyt	predaj	zostatok na sklade	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	náklady objednávky	zisk
18	1	61	61	39	3 050,00 €	1 042,50 €	- €	2 120,00 €	- 112,50 €
19	2	100	100	0	5 000,00 €	750,00 €	- €	2 900,00 €	1 350,00 €
20	3	95	95	5	4 750,00 €	787,50 €	- €	2 800,00 €	1 162,50 €
21	4	57	57	43	2 850,00 €	1 072,50 €	- €	2 040,00 €	- 262,50 €
22	5	106	100	0	5 000,00 €	750,00 €	60,00 €	2 900,00 €	1 290,00 €
23	6	113	100	0	5 000,00 €	750,00 €	130,00 €	2 900,00 €	1 220,00 €
1016	999	133	100	0	5 000,00 €	750,00 €	330,00 €	2 900,00 €	1 020,00 €
1017	1000	89	89	11	4 450,00 €	832,50 €	- €	2 680,00 €	937,50 €
1018	priemery	99,80	91,89	8,11	4 594,35 €	810,85 €	79,12 €	2 737,74 €	966,64 €
1019									
1020	štatistiky								
1021	minimálny zisk								- 900,00 €
1022	maximálny zisk								1 350,00 €
1023	medián								1 110,00 €
1024	modus								1 200,00 €
1025	uspokojené dopyty								92,07%

13. Ďalej si urobíme dátovú tabuľku pre viacero hladín zásob na sklade. Tie si vložíme do stĺpca L. Do riadku 18 si vložíme vzorce na priemerné hodnoty z simulačnej tabuľky pre hladinu $S = 100$, ktorú sme urobili v predchádzajúcich krokoch.

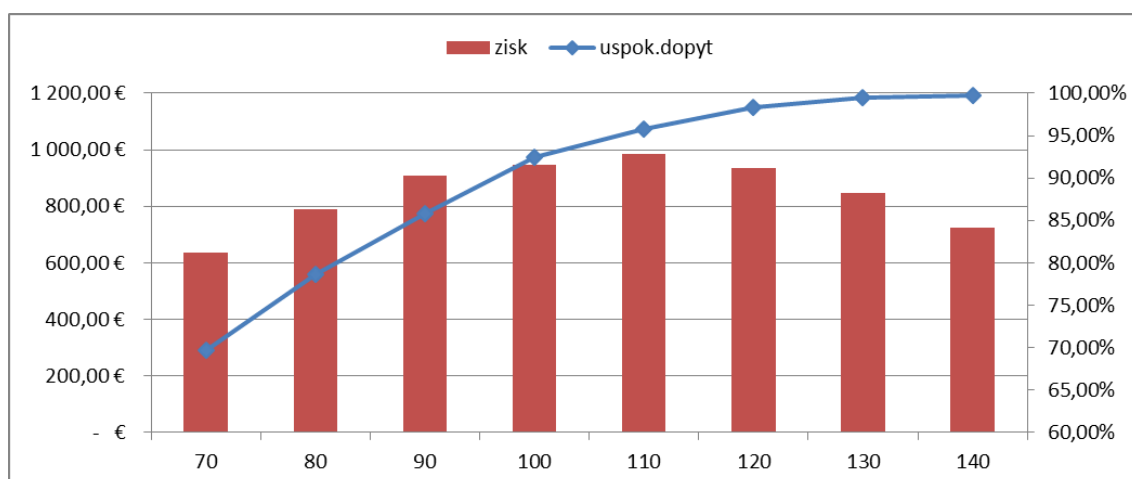
Tabuľka 13 – vzorce pri vytváraní dátovej tabuľky, zdroj: vlastné spracovanie

	L	M	N	O	P	Q	R	S
17	hladina zásob	dopyt	predaj	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	uspokojený dopyt
18		=C1018	=D1018	=F1018	=G1018	=H1018	=J1018	=J1025

14. Označíme pole L18:S27 a zvolíme príkaz zo záložky Data/What-if Analysis/Data Table. Otvorí sa nám dialógové okno. Do poľa Column input cell vložíme odkaz na bunku, v ktorej je parameter, ktorý chceme meniť, v našom prípade je to \$D\$10. Poľa Column input cell necháme prázdne.

Tabuľka 14 – kompletná dátová tabuľka, zdroj: vlastné spracovanie

hladina zásob	dopyt	predaj	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	úroveň obsluhy
	99,74	92,08	4 603,90 €	809,42 €	76,57 €	976,36 €	92,32%
70	99,84	69,59	3 479,30 €	528,11 €	22,07 €	637,41 €	69,70%
80	99,52	78,31	3 915,50 €	612,68 €	45,85 €	790,78 €	78,69%
90	100,51	86,20	4 309,90 €	703,52 €	74,74 €	907,69 €	85,76%
100	98,70	91,28	4 563,85 €	815,42 €	74,21 €	948,68 €	92,48%
110	100,43	96,23	4 811,50 €	928,28 €	72,49 €	986,14 €	95,82%
120	99,95	98,26	4 913,00 €	1 063,05 €	47,87 €	936,88 €	98,31%
130	99,74	99,24	4 962,15 €	1 205,68 €	26,25 €	845,36 €	99,50%
140	99,75	99,55	4 977,60 €	1 353,36 €	10,37 €	722,83 €	99,80%
150	100,19	100,14	5 007,05 €	1 498,94 €	4,46 €	600,83 €	99,95%



Obrázok 26 – graf zisku a uspokojených dopytov z dátovej tabuľky, zdroj: vlastné spracovanie

Na základe výsledkov z dátovej tabuľky č.14 vieme vedeniu spoločnosti odporučiť optimálnu hladinu dopĺňania zásob S . Ako vidíme v tabuľke najväčší zisk by sme podľa simulácie dosiahli v prípade $S = 110$ a to 986,14 €. Ale percento úrovne obsluhy je tomto prípade len 95,82 %, takže táto možnosť nespĺňa požiadavku na 98 % uspokojených dopytov. Takže ako najvýhodnejší variant nám vyšla hladina zásob $S = 120$ ks pri ktorej spoločnosť dosiahne priemerný zisk za týždeň 936,88 € a percento úrovne obsluhy 98,31 %.

Ako však vidíme v tabuľke č. 14, hodnoty dopytov pre jednotlivé simulácie nie sú rovnaké. A to by nám mohlo skresliť výsledky pri porovnávaní jednotlivých hladín S. Preto si môžeme v základnej tabuľke urobiť jednoduchú zmenu, ktorá nám tento nedostatok odstráni. A to takú, že nebudeme generovať náhodné hodnoty dopytu cez funkciu RAND, ktorá pri každej simulácii generuje odlišné hodnoty, ale použijeme funkciu [Random Number Generation](#), ktorá sa nachádza z záložke [DATA](#) po kliku na ikonu [Data Analysis](#). Po jej výbere sa nám zobrazí okno, ktoré nasledovne vyplníme.

- Number of Variables (počet premenných) dáme hodnotu 1, keďže potrebujeme generovať jednu premennú.
- Number of Random Numbers (počet náhodných čísel) vyplníme hodnotou 1000, lebo potrebujeme hodnoty pre 1 000 týždňov.
- Distribution – tu vyberieme Normal, pretože chceme generovať hodnoty pre normálne rozdelenie.
- Parameters – tu vyplníme parametre pre normálne rozdelenie a to hodnotu 100 pre políčko Mean (stredná hodnota) a hodnotu 20 pre Standard deviation (odchýlka).
- Random seed – (sada náhodných čísel) nevypĺňame
- Output Range – dáme odkaz na bunku [\\$C\\$18](#), kde bude umiestnená prvá hodnota

Ešte zmeníme vzorec v bunkách v stĺpci [D](#) (pôvodne to bol stĺpec [C](#), ale kvôli vloženiu náhodných čísel sme ho museli posunúť) z pôvodného [D18 = ROUND\(NORM.INV\(RAND\(\);stred_hod;odchylka\);0\)](#) s generovaním hodnôt dopytu na nový, ktorý iba zaokrúhli generovanú hodnotu dopytu na celé číslo [D18 = ROUND\(C18;0\)](#).

Tabuľka 15 – doplnenie stĺpca s náhodnými číslami, zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D	E	F	G
	týžden	náhodné číslo	dopyt	predaj	zostatok na sklade	tržba
17						
18	1	39,53970261	40	40	60	2 000
19	2	103,2013077	103	100	0	5 000
20	3	82,68431227	83	83	17	4 150

Tento spôsob generovania dopytu budeme používať aj v ďalších príkladoch. Ako môžeme teraz vidieť priemerné hodnoty dopytu sú rovnaké pre všetky simulácie v dátovej tabuľke. Pričom nám stúpla hodnota zisku pre $S = 120$ na 940,49 € z pôvodných 936,88 €. Aj tu môžeme vidieť, že simulácia nám nikdy nedá presné výsledky ako analytické riešenie, ale pre rozhodnutie v reálnom systéme sú jej výsledky postačujúce. Keďže analyticky riešiť takúto úlohu je nemožné.

Tabuľka 16 – dátová tabuľka po doplnení stĺpca s náhodnými číslami, zdroj: vlastné spracovanie

hladina zásob	dopyt	predaj	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	úroveň obsluhy
	99,79	91,90	4 595,05 €	810,74 €	78,91 €	967,38 €	92,09%
70	99,79	69,33	3 466,65 €	530,00 €	27,39 €	622,60 €	69,48%
80	99,79	78,18	3 909,00 €	613,65 €	50,72 €	781,03 €	78,34%
90	99,79	85,81	4 290,70 €	706,40 €	71,48 €	896,55 €	85,99%
100	99,79	91,90	4 595,05 €	810,74 €	78,91 €	967,38 €	92,09%
110	99,79	96,06	4 802,95 €	929,56 €	66,83 €	985,38 €	96,26%
120	99,79	98,26	4 912,85 €	1 063,07 €	44,15 €	940,49 €	98,46%
130	99,79	99,23	4 961,45 €	1 205,78 €	22,73 €	848,36 €	99,44%
140	99,79	99,58	4 979,15 €	1 353,13 €	10,49 €	723,87 €	99,79%
150	99,79	99,73	4 986,50 €	1 502,03 €	5,62 €	584,26 €	99,94%

Aby sme však túto simuláciu priblížili ešte viac k skutočnosti upravíme si model a tak, že pridáme ďalšiu náhodnú veličinu a tou je dĺžka príchodu tovaru na sklad odo dňa vystavenia objednávky. V našom prípade to bude pravdepodobnostné rozdelenie s pravdepodobnosťou 30 %, že objednávka dorazí za 2 dni, 60 % za 3 dni a 10 % za 4 dni. Takže opäť pristúpime k úprave tabuľky. Celá simulácia sa teraz bude odohrávať po dňoch a nie týždňoch ako predtým, aby sme mohli zachytiť obdobie medzi vystavením objednávky a prijatím tovaru na sklad.

1. Upravíme si tabuľku vstupných údajov a to tak, že pridáme novú premennú do modelu a tou je v bunke D11 hodnota v akých časových intervaloch sa vystavuje nová objednávka. Zadali sme hodnotu 5 (dní), čiže pokračujeme v predpoklade, že objednávame raz za týždeň. Plus upravíme hodnoty z týždňových na denné (delíme hodnotou 5, keďže počítame s pracovným týždňom o dĺžke 5 dní) pre

nasledujúce premenné: náklady skladovania = 3 €, náklady nedostatku = 2 €, stredná hodnota dopytu = 20 ks a odchýlka = 4 ks. Tak ako je to v tabuľke 17.

Tabuľka 17 – vstupné dáta, zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D
2	Náklady		
3	Predajná cena za 1ks		50,00 €
4	Náklady objednávky		900,00 €
5	Náklady obj. variabilné		20,00 €
6	Náklady skladovania		3,00 €
7	Náklady nedostatku		2,00 €
8			
9	Premenné modelu		
10	S		140
11	r		5
12			
13	Dopyt (normálne rozdelenie)		
14	Stredná hodnota		20
15	Odchýlka		4

2. Pridáme tabuľku rozdelenia príchodu objednávky na sklad. Jednoducho vyplníme hodnoty do tabuľky tak ako je to v tabuľke č.18. Ta je rozdelená na dve časti. Časť v stĺpcoch F a G máme hodnoty zo zadania. A v stĺpcoch H a I, dopočítavame tabuľku pre vyhľadávanie cez **VLOOKUP** (pozri bod 10 nižšie). A to nasledovne: $H14 = 0$; $H15 = H14 + G4$; $H16 = H15 + G15$; $I14 = F14$; $I15 = F15$; $I16 = F16$.

Tabuľka 18 – rozdelenie príchodu objednávky na sklad, zdroj: vlastné spracovanie

	F	G	H	I
12	Príchod objednávky			
13	dni	pravdepod.	VLOOKUP tabuľka	
14	2	30%	0	2
15	3	60%	0,3	3
16	4	10%	0,9	4

3. Pripravíme si tabuľku kde budeme simulovať predaj za 1 000dní.
4. Do stĺpca C si vygenerujeme náhodné čísla pomocou **Random Number Generation**, tak ako popísane v návode vyššie.
5. Do stĺpca D vložíme stav skladu na začiatku dňa a to nasledovne:

D20 = hladina_S

D21 = SUMIF(\$J\$20:J20;B21;\$H\$20:H20)+G20

D22 = SUMIF(\$J\$20:J21;B22;\$H\$20:H21)+G21

a tento nakopírujeme až po bunku D1019. Je to vzorec pre podmienený súčet. Ak sa aktuálny deň v bunke B22 rovná dňu dodania zo stĺpca \$J\$20:J21 potom ku počtu tovaru na sklade na konci predchádzajúceho dňa v bunke G21 pripočíta príslušnú veľkosť objednávky zo stĺpca \$H\$20:H21.

6. Do stĺpca E dáme veľkosť dopytu $E20 = \text{ROUND}(C20;0)$.
7. Do stĺpca F dáme veľkosť predaja $F20 = \text{IF}(E20 > D20; D20; E20)$. Ak je dopyt v E20 väčší ako stav na sklade na začiatku dňa v bunke D20, tak je veľkosť predaja rovná stavu skladu v D20, ináč je predaj rovný dopytu.
8. Do stĺpca G dáme stav skladu na konci dňa $G20 = D20 - F20$, čo rozdiel medzi stavom skladu na začiatku dňa a predajom za daný deň.
9. Do stĺpca H dáme objednávku v kusoch vystavenú v daný deň $H20 = \text{IF}(\text{MOD}(B20; \text{hladina_t}) = 0; \text{hladina_S} - G20; "-")$. Ak je poradové číslo dňa deliteľné premennou t bezo zvyšku ($\text{MOD}(B20; \text{hladina_t}) = 0$), to znamená, že v tento deň bude vystavená objednávka, ktorej veľkosti je rovná rozdielu hladiny doplnenia zásob S a stavu skladu na konci daného dňa ($\text{hladina_S} - G20$). Ináč sa nič neobjednáva a zapisujeme "-".
10. Do stĺpca I dáme počet dni objednávky. $I20 = \text{IF}(H20 = "-"; "-"; \text{VLOOKUP}(\text{RAND}(); \$H\$14:\$I\$16; 2))$. Ak daný deň nie je vystavená objednávka ($H20 = "-"$) potom počet dni dodávky vyplníme taktiež ako "-". Ak objednáваме tak príkazom $\text{VLOOKUP}(\text{RAND}(); \$H\$14:\$I\$16; 2)$ generujeme dĺžku dodávky v dňoch.
11. Do stĺpca J vypočítame deň dodania objednávky $J20 = \text{IF}(H20 = "-"; "-"; B20 + I20)$. Ak vystavujeme objednávku deň dodania bude súčet aktuálneho dňa a počtu dní dodávky ($B20 + I20$).
12. Do ďalších stĺpcov vložíme výpočty tržby ($K20 = F20 * \text{pred_cena}$), nákladov skladovania ($L20 = (D20 + G20) / 2 * \text{nakl_sklad}$), nákladov nedostatku ($M20 = \text{IF}(E20 > D20; (E20 - D20) * \text{nakl_nedos}; 0)$), nákladov objednávky

(N20 = IF(MOD(B20;hladina_t)=0;nakl_obj_fix+(H20*nakl_obj_var);0)) a zisku (O20 = K20-L20-M20-N20). Vzorce sú tie isté ako v prvom modeli, ale sa poposúvali stĺpce, keďže sme vkladali nové stĺpce.

Tabuľka 19 – kompletná tabuľka pre model aj s náhodnou prepravou, zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D	E	F	G	H	I
19	deň	náhodné čísla	sklad na začiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	objednávka ks	počet dni dodavky
20	1	21,600929	140	22	22	118	-	-
21	2	11,6347588	118	12	12	106	-	-
22	3	20,4462981	106	20	20	86	-	-
23	4	16,7479562	86	17	17	69	-	-
24	5	22,5035524	69	23	23	46	94	2
25	6	18,7042975	46	19	19	27	-	-
26	7	31,5623698	121	32	32	89	-	-
27	8	19,1998766	89	19	19	70	-	-
28	9	30,268559	70	30	30	40	-	-
29	10	12,9301521	40	13	13	27	113	3
30	11	17,0657154	27	17	17	10	-	-
31	12	18,0425855	10	18	10	0	-	-
1019	1000	19,9704687	62	20	20	42	98	2
1020	priemery		67,55	20,01	19,26	48,30	96,29	2,77

J	K	L	M	N	O
deň dodania	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	náklady objednávky	zisk
-	1 100,00 €	387,00 €	- €	- €	713,00 €
-	600,00 €	336,00 €	- €	- €	264,00 €
-	1 000,00 €	288,00 €	- €	- €	712,00 €
-	850,00 €	232,50 €	- €	- €	617,50 €
7	1 150,00 €	172,50 €	- €	2 780,00 €	- 1 802,50 €
-	950,00 €	109,50 €	- €	- €	840,50 €
-	1 600,00 €	315,00 €	- €	- €	1 285,00 €
-	950,00 €	238,50 €	- €	- €	711,50 €
-	1 500,00 €	165,00 €	- €	- €	1 335,00 €
13	650,00 €	100,50 €	- €	3 160,00 €	- 2 610,50 €
-	850,00 €	55,50 €	- €	- €	794,50 €
-	500,00 €	15,00 €	16,00 €	- €	469,00 €
1002	1 000,00 €	156,00 €	- €	2 860,00 €	- 2 016,00 €
505,27	962,85 €	173,77 €	1,51 €		222,43 €
štatistiky					
minimálny zisk					- 2 610,50 €
maximálny zisk					1 488,50 €
medián					715,50 €
modus					- 2 142,00 €
uspokojené dopyty					96,23%

13. Podľa postupu z bodu 14. si urobíme aj dátovú tabuľku pre túto simuláciu.

Tabuľka 20 – dátová tabuľka pre model aj s náhodnou prepravou, zdroj: vlastné spracovanie

S	sklad na začiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	objednávka ks	počet dni dodávky	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	uspokojený dopyt
	67,55	20,01	19,26	48,30	96,29	2,77	962,85 €	173,77 €	1,51 €	222,43 €	96,23%
115	52,53	20,01	17,40	35,12	87,02	2,74	870,15 €	131,47 €	5,22 €	205,40 €	86,96%
120	54,69	20,01	17,92	36,78	89,58	2,76	895,80 €	137,21 €	4,19 €	216,08 €	89,53%
125	56,66	20,01	18,18	38,48	90,91	2,85	909,05 €	142,71 €	3,66 €	219,05 €	90,85%
130	59,94	20,01	18,71	41,23	93,55	2,80	935,45 €	151,75 €	2,61 €	226,91 €	93,49%
135	62,63	20,01	19,04	43,59	95,18	2,84	951,80 €	159,33 €	1,95 €	229,80 €	95,12%
140	67,79	20,01	19,29	48,50	96,45	2,76	964,50 €	174,43 €	1,44 €	222,83 €	96,39%
145	71,34	20,01	19,57	51,77	97,85	2,78	978,50 €	184,66 €	0,88 €	221,55 €	97,79%
150	75,71	20,01	19,73	55,98	98,64	2,77	986,35 €	197,54 €	0,57 €	213,70 €	98,58%
155	79,67	20,01	19,92	59,75	99,60	2,78	996,00 €	209,12 €	0,18 €	208,30 €	99,54%
160	83,68	20,01	19,94	63,73	99,71	2,82	997,10 €	221,11 €	0,14 €	197,01 €	99,65%
165	89,83	20,01	19,98	69,85	99,88	2,76	998,80 €	239,52 €	0,07 €	179,69 €	99,82%

Ako vidíme predĺženie dodania tovaru na sklad nám spôsobilo aj nutnosť zvýšenia hladiny *S* na ktorú dopĺňujeme zásoby, aby sme dosiahli úroveň obsluhy na hranici 98 %. Musíme zvýšiť túto hranicu na množstvo 150 ks. Pričom pri tejto hladine dosiahne spoločnosť zisk 213,70 € za deň. Za týždeň nám to dáva priemerný zisk $213,70 \cdot 5 = 1068,5$ €.

4.2.2. Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball

Na riešenie tohto príkladu v Crystal Balle použijeme tabuľku č.20, ktorú doplníme prostriedkami, ktoré nám ponúka tento doplnok.

1. Upravíme bunky, ktoré slúžia na generovanie náhodných hodnôt. Do bunky **C20** vložíme hodnotu 0 a definujeme generovanie náhodných čísel pomocou funkcie **Define Assumption**. Z ponuky vyberieme normálne rozdelenie. V okne, ktoré sa nám zobrazí vyplníme polia pre strednú hodnotu a odchýlku. Ako strednú hodnotu vložíme odkaz na bunku **\$D\$14** a do odchýlky na bunku **\$D\$15**. Túto bunku nakopírujeme pomocou tlačidla **Copy** do celého stĺpca **C**, pre všetkých 1 000 simulovaných dní.
2. Podobne vyplníme aj generovanie počtu dní dodávky v stĺpci **I**. Vyberieme bunku **I20** a vložíme do nej hodnotu 0. Z ponuky **Define Assumption** vyberieme Možnosť **Custom**. Do polí **Value** (hodnota ktorú chceme generovať) a **Probability**

(pravdepodobnosť s ktorou nastane) postupne vyplníme hodnoty rozdelenia príjchu objednávky ([2;0.3];[3;0.6];[4;0.1]). Túto bunku potom nakopírujeme do celého stĺpca.

3. Ako výsledky chceme sledovať priemerné hodnoty zisku v bunke **O1020** a percento úrovne obsluhy v bunke **O1027**. Takže tieto si musíme označiť cez nástrojovú lištu príkazom **Define Forecast**. A nastavíme zobrazenie výsledkov do tabuľky (v záložke **AUTO EXTRACT**).
4. Nastavíme si parametre simulácia kliknutím na ikonu **RUN PREFERENCES**. V okne, ktoré sa nám zobrazí na záložke **TRIALS** nastavíme počet simulačných cyklov. My sme nastavili hodnotu na 100. Táto simulácia nám týmto pádom 100 krát simuluje celú tabuľku s 1 000 dňami, čo nám dáva spolu 100 000 simulačných dní. Ostatné hodnoty necháme tak ako sú prednastavené a potvrdíme stlačením **OK**.
5. Teraz spustíme samotnú simuláciu kliknutím na ikonu **START**. Priebeh simulácie môžeme sledovať v okne, ktoré sa spustí so štartom simulácie.

Tabuľka 21 – výsledky pre sledované premenné, zdroj: vlastné spracovanie

<i>Forecast Name</i>	<i>zisk</i>	<i>Forecast Name</i>	<i>úroveň obsluhy</i>
Trials	100	Trials	100
Mean	224,37 €	Mean	96,47%
Median	224,38 €	Median	96,46%
Standard Deviation	3,74 €	Standard Deviation	0,41%
Variance	13,99 €	Variance	0,00%
Skewness	0,0609	Skewness	-0,0649
Kurtosis	2,54	Kurtosis	2,91
Coeff. of Variability	0,0167	Coeff. of Variability	0,0043
Minimum	216,22 €	Minimum	95,39%
Maximum	232,56 €	Maximum	97,57%
Mean Std. Error	0,37 €	Mean Std. Error	0,04%

Ako môžeme vidieť v tabuľke s výsledkami č.21, priemerná hodnota zisku pre $S = 140$ a $r = 5$ vyšla pre zisk 224,37 € a pre úroveň obsluhy 96,47 %.

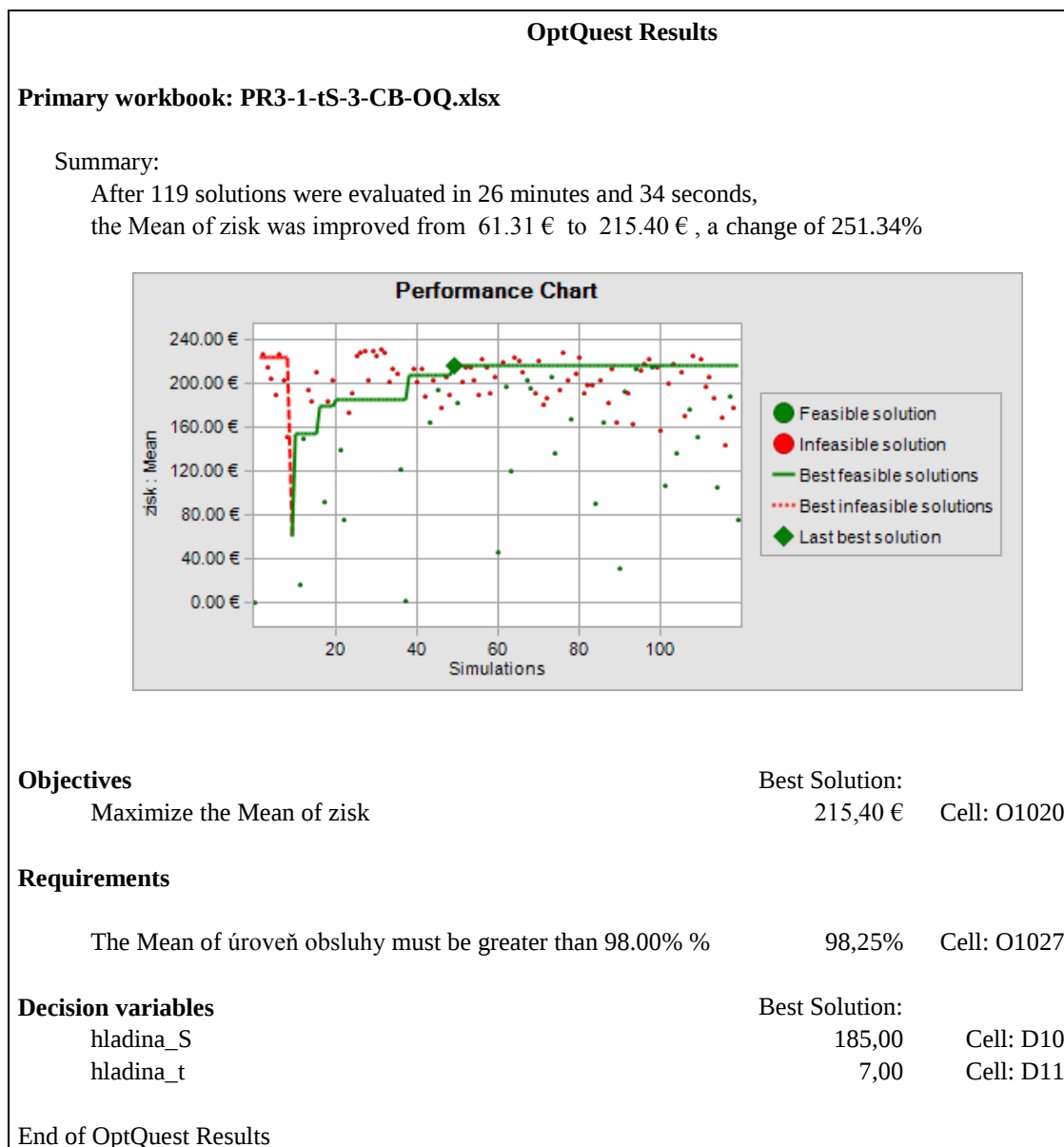
4.2.3. Optimálne riešenie použitím OptQuestu

1. Aby sme našli optimálnu veľkosť hladinu dopĺňania zásob a časového intervalu r použije funkciu **OptQuest**. Nastavíme si parametre pre rozhodovacie premenné

v bunkách [D10](#) a [D11](#). Pre premennú S nastavíme hodnoty z rozsahu dolná hranica = 120, horná hranica = 200 s diskretným rozdelením s krokom (step) = 5. Pre premennú r nastavíme hodnoty rozsahu dolná hranica = 4, horná hranica = 10 s diskretným rozdelením s krokom (step) = 1.

2. Klikneme na ikonu [OptQuest](#), ktorá spustí sprievodcu optimalizáciou. V záložke [Objectives](#) nastavíme podmienky rozhodovania na maximalizáciu zisku, pričom nastavíme aj splnenie požiadavky minimálnej hodnoty uspokojených dopytov na 98 %. V záložke [Options](#) nastavíme parametre simulácie na 50 000 simulácii, čo nám pokryje všetky možné kombinácie rozhodovacích premenných ($7 \cdot 16 = 112$) a znížime počet simulácii pre každú kombináciu z hodnoty 100 na 20. Ináč by nám simulácia trvala veľmi dlho. A spustíme tlačidlo [RUN](#).

Tabuľka 22 – výsledok optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie



Ako najlepšie riešenie nám po simulácii vyšlo objednávať tovar každých 7 dní a dopĺňať na množstvo 185 ks. V nasledujúcej tabuľke vidíme top 5 kombinácií.

Tabuľka 23 – TOP 5 kombinácií, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk	úroveň obsluhy	hladina_S	hladina_t
1	49	215,40 €	98,25%	185,00	7,00
2	98	214,86 €	98,55%	170,00	6,00
3	94	212,70 €	98,59%	150,00	5,00
4	38	207,16 €	98,88%	190,00	7,00
5	73	205,32 €	99,10%	175,00	6,00

4.3. (s, S) systém riadenia zásob

Ďalším systémom riadenia zásob je (s, S) systém. Pri tomto systéme pravidelne kontrolujeme hladinu zásob v sklade a pri poklese pod hodnotu s je vystavená objednávka o veľkosti $S-s$. Aj pri tomto systéme budeme riešiť príklad z predchádzajúcej kapitoly s premenlivým časom dodania tovaru.

4.3.1. Riešenie v Exceli

Na tvorbu modelu použijeme tabuľky z predchádzajúceho príkladu, ktoré si upravíme pre potreby (s, S) modelu.

1. Upravíme si tabuľku vstupných údajov. V riadku 11 zmeníme premennú r na s a pomenujeme bunku $\$D\11 ako *hladina_ss*.

Tabuľka 24 – vstupné dáta, zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D
2	Náklady		
3	Zisk z jednotky		50,00 €
4	Náklady objednávky		900,00 €
5	Náklady obj. variabilné		20,00 €
6	Náklady skladovania		3,00 €
7	Náklady nedostatku		2,00 €
8			
9	Hladina zásob		
10	S		140
11	s		50
12			
13	Dopyt (normálne rozdelenie)		
14	Stredná hodnota		20
15	Odchýlka		4

2. Tabuľku na simuláciu si vytvoríme novú, pretože pridáme nejaké stĺpce a použijeme iné vzorce.
3. Stĺpce B až G môžeme nakopírovať z predchádzajúceho príkladu, lebo vzorce na výpočet stavu skladu za nezmenili. Taktiež použijeme tie isté náhodné čísla, aby sme vedeli porovnať výsledky z jednotlivých modelov.

4. Do stĺpca **H** vložíme stav skladu spolu s objednanými kusmi. Pre prvý riadok je to rovné stavu skladu na konci dňa $H20 = G20$. Pre ďalšie dni použijeme vzorec $H21 = H20 - F21 + IF(ISNUMBER(I20); I20; 0)$. Ten nám od stavu z predchádzajúceho dňa odpočíta počet predaných kusov daný deň a ak bola predchádzajúci deň vystavená objednávka, tak pripočíta počet objednaných kusov ($IF(ISNUMBER(I20); I20; 0)$).
5. Do stĺpca **I** vložíme vzorec $I20 = IF(H20 \leq hladina_ss; hladina_S - G20; "-")$ pre výpočet veľkosti objednávky. Ak stav skladu spolu s objednanými klesne pod úroveň *s*, tak je vystavená objednávka o veľkosti rozdielu hladiny *S* a aktuálneho stavu skladu ($hladina_S - G20$).
6. Do stĺpca **J** vložíme vzorec pre generovanie dĺžku dodávky tovaru v dňoch. $J20 = IF(H20 \leq hladina_ss; VLOOKUP(RAND(); \$H\$14:\$I\$16; 2; "-"))$. Ak stav skladu spolu s objednanými klesne pod úroveň *s*, tak generujeme dĺžku dodávky.
7. Do stĺpca **K** vložíme $K20 = IF(H20 \leq hladina_ss; B20 + J20; "-")$. Ak stav skladu spolu s objednanými klesne pod úroveň *s*, tak vypočítame deň príchodu tovaru na sklad.
8. Do ďalších stĺpcov vložíme výpočty tržby ($L20 = F20 * pred_cena$), nákladov skladovania ($M20 = (D20 + G20) / 2 * nakl_sklad$), nákladov nedostatku ($N20 = IF(E20 > D20; (E20 - D20) * nakl_nedos; 0)$), nákladov objednávky ($O20 = IF(H20 \leq hladina_ss; nakl_obj_fix + (nakl_obj_var * I20); 0)$) a zisku ($P20 = L20 - M20 - N20 - O20$).

Tabuľka 25 – kompletná tabuľka pre model (s, S), zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D	E	F	G	H	I
	deň	náhodné čísla	sklad na zачiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	sklad s objednanými	objednávka ks
19								
20	1	21,600929	140	22	22	118	118	-
21	2	11,6347588	118	12	12	106	106	-
22	3	20,4462981	106	20	20	86	86	-
23	4	16,7479562	86	17	17	69	69	-
24	5	22,5035524	69	23	23	46	46	94
25	6	18,7042975	46	19	19	27	121	-
26	7	31,5623698	27	32	27	0	94	-
27	8	19,1998766	94	19	19	75	75	-
28	9	30,268559	75	30	30	45	45	95
29	10	12,9301521	45	13	13	32	127	-
30	11	17,0657154	32	17	17	15	110	-
31	12	18,0425855	110	18	18	92	92	-
1019	1000	19,9704687	62	20	20	42	42	98
1020	priemery		65,91	20,01	19,25	46,66		192,00
1021								

J	K	L	M	N	O	P
pocet dni dodavky	deň dodania	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	náklady objednávky	zisk
-	-	1 100,00 €	387,00 €	- €	- €	713,00 €
-	-	600,00 €	336,00 €	- €	- €	264,00 €
-	-	1 000,00 €	288,00 €	- €	- €	712,00 €
-	-	850,00 €	232,50 €	- €	- €	617,50 €
3	8	1 150,00 €	172,50 €	- €	2 780,00 €	- 1 802,50 €
-	-	950,00 €	109,50 €	- €	- €	840,50 €
-	-	1 350,00 €	40,50 €	10,00 €	- €	1 299,50 €
-	-	950,00 €	253,50 €	- €	- €	696,50 €
3	12	1 500,00 €	180,00 €	- €	2 800,00 €	- 1 480,00 €
-	-	650,00 €	115,50 €	- €	- €	534,50 €
-	-	850,00 €	70,50 €	- €	- €	779,50 €
-	-	900,00 €	303,00 €	- €	- €	597,00 €
2	1002	1 000,00 €	156,00 €	- €	2 860,00 €	- 2 016,00 €
2,80		962,45 €	168,86 €	1,53 €		234,28 €

9. Vytvoríme si dve dátové tabuľky podľa postupu z predchádzajúcej kapitoly. Ako meniacu sa premennú použijeme pre prvú tabuľku s. S tým, že $S = 140$ ako je v tabuľke zadania. Druhú tabuľku si zostrojíme pre zmenu S , pričom malé s zostane rovné 50.

Tabuľka 26 – dátová tabuľka pre S = 140 ks, zdroj: vlastné spracovanie

s	sklad na začiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	objednávka ks	počet dni dodavky	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	úroveň obsluhy
	65,91	20,01	19,25	46,66	192,00	2,80	962,45 €	168,86 €	1,53 €	234,28 €	96,19%
20	63,27	20,01	16,63	46,63	127,00	2,78	831,55 €	164,85 €	6,76 €	213,58 €	83,11%
25	62,22	20,01	16,85	45,38	135,00	2,90	842,35 €	161,40 €	6,33 €	216,18 €	84,18%
30	63,14	20,01	17,64	45,50	148,00	2,79	881,85 €	162,96 €	4,75 €	228,20 €	88,13%
35	63,42	20,01	18,12	45,30	158,00	2,78	905,85 €	163,09 €	3,79 €	235,03 €	90,53%
40	63,15	20,01	18,33	44,82	165,00	2,82	916,30 €	161,96 €	3,37 €	236,51 €	91,58%
45	64,07	20,01	18,93	45,14	181,00	2,85	946,55 €	163,81 €	2,16 €	239,05 €	94,60%
50	66,13	20,01	19,16	46,96	190,00	2,78	958,05 €	169,63 €	1,70 €	232,49 €	95,75%
55	67,22	20,01	19,45	47,77	204,00	2,82	972,60 €	172,49 €	1,12 €	227,61 €	97,20%
60	69,10	20,01	19,65	49,45	218,00	2,85	982,60 €	177,83 €	0,72 €	214,81 €	98,20%
65	71,92	20,01	19,79	52,13	232,00	2,81	989,35 €	186,07 €	0,45 €	199,09 €	98,88%
70	74,55	20,01	19,93	54,62	249,00	2,78	996,30 €	193,76 €	0,17 €	180,55 €	99,57%

Tabuľka 27 – dátová tabuľka pre s = 50 ks, zdroj: vlastné spracovanie

S	sklad na začiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	objednávka ks	počet dni dodavky	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	úroveň obsluhy
	66,19	20,01	19,18	47,00	192,00	2,79	959,05 €	169,78 €	1,66 €	231,18 €	95,85%
100	45,56	20,01	18,67	26,89	310,00	2,84	933,55 €	108,68 €	2,68 €	170,17 €	93,30%
110	50,18	20,01	18,67	31,51	265,00	2,85	933,45 €	122,53 €	2,69 €	196,75 €	93,29%
120	56,58	20,01	19,17	37,41	239,00	2,75	958,50 €	140,99 €	1,68 €	217,73 €	95,79%
130	61,71	20,01	19,10	42,61	214,00	2,78	954,95 €	156,48 €	1,83 €	222,07 €	95,44%
140	67,10	20,01	19,32	47,78	192,00	2,74	966,05 €	172,31 €	1,38 €	234,40 €	96,55%
150	71,39	20,01	19,32	52,07	175,00	2,79	966,20 €	185,20 €	1,38 €	236,91 €	96,56%
160	74,98	20,01	19,44	55,55	162,00	2,85	971,90 €	195,79 €	1,15 €	241,20 €	97,13%
170	80,18	20,01	19,41	60,77	149,00	2,84	970,65 €	211,42 €	1,20 €	235,67 €	97,01%
180	84,98	20,01	19,42	65,57	139,00	2,88	970,75 €	225,82 €	1,19 €	230,73 €	97,02%
190	90,89	20,01	19,36	71,53	127,00	2,82	967,90 €	243,63 €	1,31 €	224,20 €	96,73%
200	95,84	20,01	19,59	76,25	122,00	2,80	979,45 €	258,12 €	0,85 €	221,64 €	97,89%

Ako môžeme vidieť z tabuliek, v prvej simulácii vyšiel ako najlepší model s hodnotami $S = 140$ $s = 60$ pri ktorom sme dosiahli zisk 214,81 € a percento úrovne obsluhy 98,20 %. V druhej simulácii ani jeden výsledok nesplnil požiadavku úrovne obsluhy minimálne 98 %.

4.3.2. Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball

Pokračujeme s úpravou tabuľky pre simuláciu v Crystal Balle. Postup úpravy je rovnaký ako v predchádzajúcom modeli a preto ho nebudeme celý opakovať.

Tabuľka 28 – výsledky pre sledované premenné, zdroj: vlastné spracovanie

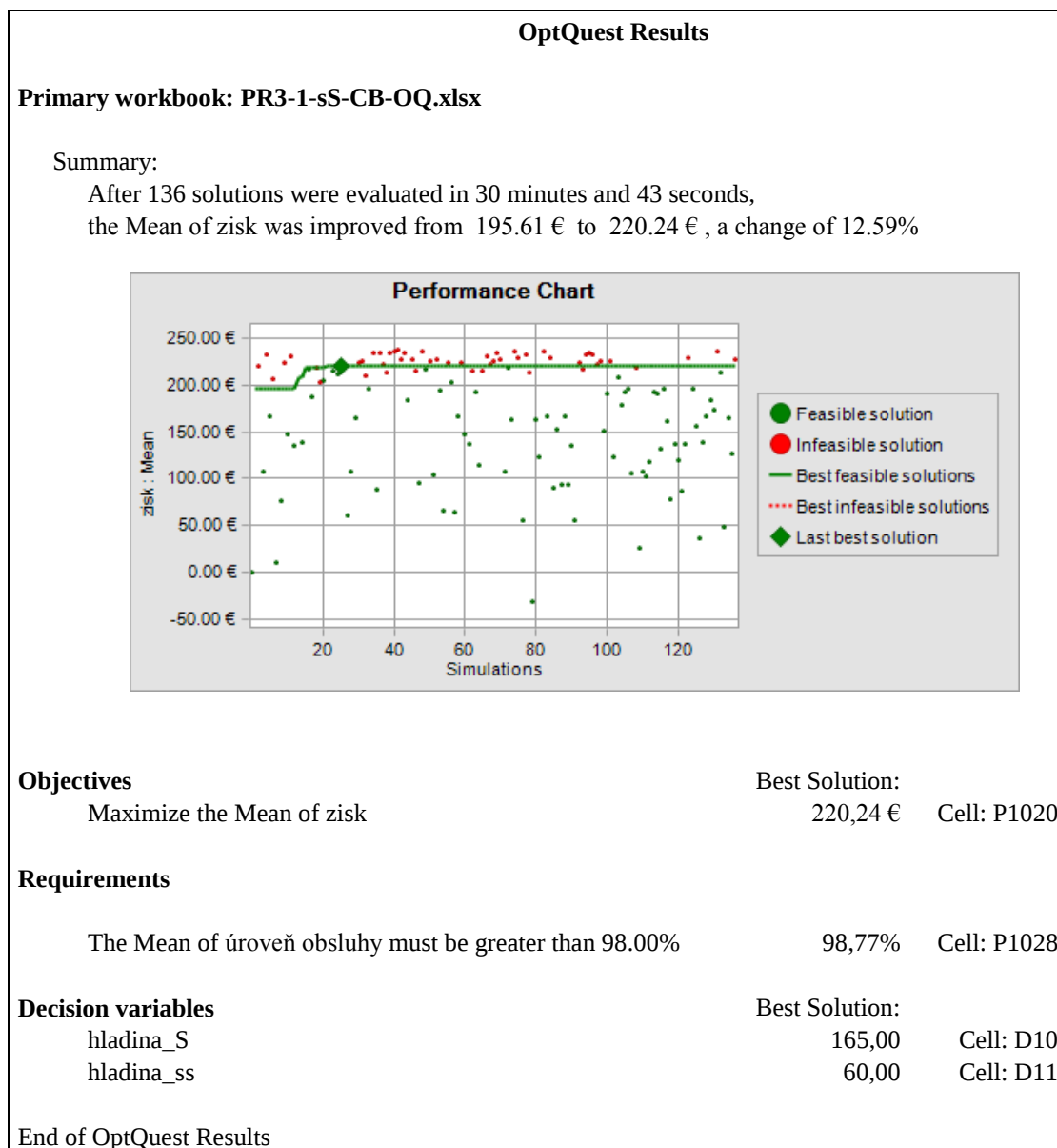
<i>Forecast Name</i>	<i>zisk</i>		<i>Forecast Name</i>	<i>úroveň obsluhy</i>
Trials	100		Trials	100
Mean	234,16 €		Mean	96,17%
Median	234,54 €		Median	96,09%
Mode	---		Mode	---
Standard Deviation	3,67 €		Standard Deviation	0,54%
Variance	13,44 €		Variance	0,00%
Skewness	-0,1579		Skewness	0,2028
Kurtosis	3,56		Kurtosis	2,39
Coeff. of Variability	0,0157		Coeff. of Variability	0,0056
Minimum	223,84 €		Minimum	94,91%
Maximum	244,34 €		Maximum	97,37%
Mean Std. Error	0,37 €		Mean Std. Error	0,05%

V tabuľke č.27 sú výsledky simulácie pre hodnoty $s = 50$ a $S = 140$. Priemerná hodnota zisku je 234,16 € a percento úrovne obsluhy je 96,17 %. Pri týchto istých hodnotách bol výsledok simulácie v Exceli zisk 232,49 € a úroveň obsluhy je 95,75 %. Rozdielnosť výsledkov je spôsobená použitím rôznych náhodných čísel pri generovaní dopytu.

4.3.3. Optimálne riešenie použitím OptQuestu

Zaujímavejšie ale bude hľadanie optimálneho riešenia v OptQueste. Nastavíme si parametre pre rozhodovacie premenné v bunkách D10 a D11. Pre premennú S nastavíme hodnoty z rozsahu spodná hodnota = 120, horná hodnota = 200 s diskretným rozdelením s krokom (step) = 5. Pre premennú s nastavíme hodnoty z intervalu 30 až 100 s diskretným rozdelením s krokom (step) = 10.

Tabuľka 29 – výsledok optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie



Ako najlepšie riešenie po optimalizácii vyšlo objednávať tovar na sklad pri jeho poklese pod 60 ks a dopĺňanie na úroveň 165 ks. V nasledujúcej tabuľke č.29 je top 5 kombinácií. Rozdiel medzi prvými troma riešeniami je v priemernom zisku iba 0,04 € a v uspokojení dopytu 0,04 %. To môže ako najlepšie riešenie pre vedenie spoločnosti použiť až 3. hodnotu, keďže sa dopĺňa na úroveň 155 ks, čo je o 10 ks menej a to znamená o približne 200 € menej v skladových zásobách.

Tabuľka 30 – TOP 5 kombinácií, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk	úroveň obsluhy	hladina_S	hladina_ss
1	25	220,24 €	98,77%	165,00	60,00
2	22	220,22 €	98,73%	160,00	60,00
3	21	220,20 €	98,76%	155,00	60,00
4	26	219,76 €	98,81%	170,00	60,00
5	15	218,92 €	98,64%	150,00	60,00

4.4. (s, Q) systém riadenia zásob

Posledným systémom riadenia zásob je (s, Q) systém. Pri tomto systéme sa pravidelne kontroluje stav skladových zásob. Pri poklese aktuálneho stavu pod hodnotu s je vystavená objednávka na Q kusov tovaru.

4.4.1. Riešenie v Exceli

Na riešenie tohto modelu použijeme tabuľku z modelu (s, S) a trochu si ju upravíme.

1. Upravíme si tabuľku vstupných údajov. V riadku 10 zmeníme premennú S na Q a pomenujeme bunku \$D\$10 ako **hladina_Q**.
2. Jediná zmena v simulačnej tabuľke oproti predchádzajúcemu modelu je v stĺpci **I** objednávka ks, kde dáme vzorec **I20 = IF(H20<=hladina_ss;hladina_Q;"-")**. Ten v prípade ak hladina zásob klesne alebo sa rovná s , tak vystaví objednávku na Q kusov.

Tabuľka 31 – kompletná tabuľka pre model (s, Q) , zdroj: vlastné spracovanie

	B	C	D	E	F	G	H	I
	deň	náhodné čísla	sklad na začiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	sklad s objednanými	objednávk ks
19								
20	1	21,600929	130	22	22	108	108	-
21	2	11,6347588	108	12	12	96	96	-
22	3	20,4462981	96	20	20	76	76	-
23	4	16,7479562	76	17	17	59	59	130
24	5	22,5035524	59	23	23	36	166	-
25	6	18,7042975	36	19	19	17	147	-
26	7	31,5623698	147	32	32	115	115	-
27	8	19,1998766	115	19	19	96	96	-
28	9	30,268559	96	30	30	66	66	-
29	10	12,9301521	66	13	13	53	53	130
30	11	17,0657154	53	17	17	36	166	-
31	12	18,0425855	36	18	18	18	148	-
1019	1000	19,9704687	89	20	20	69	69	-
1020	priemery		88,75	20,01	19,82	68,93		130,00

J	K	L	M	N	O	P
počet dní dodávky	deň dodania	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	náklady objednávky	zisk
-	-	1 100,00 €	357,00 €	- €	- €	743,00 €
-	-	600,00 €	306,00 €	- €	- €	294,00 €
-	-	1 000,00 €	258,00 €	- €	- €	742,00 €
3	7	850,00 €	202,50 €	- €	3 500,00 €	- 2 852,50 €
-	-	1 150,00 €	142,50 €	- €	- €	1 007,50 €
-	-	950,00 €	79,50 €	- €	- €	870,50 €
-	-	1 600,00 €	393,00 €	- €	- €	1 207,00 €
-	-	950,00 €	316,50 €	- €	- €	633,50 €
-	-	1 500,00 €	243,00 €	- €	- €	1 257,00 €
3	13	650,00 €	178,50 €	- €	3 500,00 €	- 3 028,50 €
-	-	850,00 €	133,50 €	- €	- €	716,50 €
-	-	900,00 €	81,00 €	- €	- €	819,00 €
-	-	1 000,00 €	237,00 €	- €	- €	763,00 €
2,84	502,53	991,05	236,51	1,15 €	532,00 €	221,40 €

3. Vytvoríme si dátovú tabuľku. Ako sledovanú premennú dáme s , pričom $Q = 130$.

Tabuľka 32 – dátová tabuľka pre $Q = 130$, zdroj: vlastné spracovanie

s	sklad na začiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	objednávka ks	počet dní dodávky	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	úroveň obsluhy
	80,26	20,01	19,37	60,89	130,00	2,83	968,50 €	211,73 €	3,85 €	231,41 €	96,79%
20	62,60	20,01	16,42	46,18	130,00	2,92	821,00 €	163,16 €	21,55 €	195,29 €	82,05%
25	65,33	20,01	17,33	48,00	130,00	2,77	866,50 €	169,99 €	16,09 €	214,92 €	86,60%
30	68,66	20,01	17,87	50,79	130,00	2,67	893,65 €	179,16 €	12,83 €	222,15 €	89,31%
35	71,12	20,01	18,17	52,95	130,00	2,79	908,40 €	186,11 €	11,06 €	221,23 €	90,79%
40	73,84	20,01	18,69	55,15	130,00	2,80	934,25 €	193,49 €	7,96 €	228,80 €	93,37%
45	78,42	20,01	19,21	59,21	130,00	2,76	960,40 €	206,45 €	4,82 €	231,13 €	95,98%
50	81,09	20,01	19,34	61,75	130,00	2,81	966,75 €	214,26 €	4,06 €	226,93 €	96,62%
55	86,51	20,01	19,62	66,89	130,00	2,74	981,20 €	230,09 €	2,33 €	220,28 €	98,06%
60	90,71	20,01	19,84	70,87	130,00	2,77	991,85 €	242,36 €	1,05 €	212,94 €	99,13%
65	94,83	20,01	19,86	74,97	130,00	2,77	993,05 €	254,69 €	0,91 €	201,95 €	99,25%
70	98,15	20,01	19,95	78,20	130,00	2,87	997,25 €	264,53 €	0,40 €	196,82 €	99,67%

4. Vytvoríme si druhú dátovú tabuľku. Ako sledovanú premennú dáme Q , pričom $s = 130$.

Tabuľka 33 – dátová tabuľka pre $s = 60$, zdroj: vlastné spracovanie

Q	sklad na začiatku	dopyt	predaj	sklad na konci	objednávka ks	počet dní dodávky	tržba	náklady skladovania	náklady nedostatku	zisk	úroveň obsluhy
	88,75	20,01	19,82	68,93	130,00	2,84	991,05 €	236,51 €	1,15 €	221,40 €	99,05%
100	75,49	20,01	19,80	55,70	100,00	2,80	989,85 €	196,78 €	1,29 €	217,58 €	98,93%
105	78,64	20,01	19,78	58,86	105,00	2,70	989,20 €	206,24 €	1,37 €	217,59 €	98,86%
110	79,07	20,01	19,71	59,36	110,00	2,87	985,50 €	207,65 €	1,81 €	221,13 €	98,49%
115	83,89	20,01	19,77	64,12	115,00	2,74	988,40 €	222,01 €	1,46 €	214,53 €	98,78%
120	85,70	20,01	19,81	65,90	120,00	2,78	990,30 €	227,40 €	1,24 €	217,16 €	98,97%
125	87,92	20,01	19,87	68,06	125,00	2,77	993,25 €	233,96 €	0,88 €	217,81 €	99,27%
130	88,99	20,01	19,76	69,23	130,00	2,82	988,10 €	237,34 €	1,50 €	217,26 €	98,75%
135	93,58	20,01	19,79	73,79	135,00	2,74	989,70 €	251,05 €	1,31 €	208,14 €	98,91%
140	95,61	20,01	19,84	75,78	140,00	2,74	991,90 €	257,09 €	1,04 €	208,37 €	99,13%
145	98,92	20,01	19,82	79,10	145,00	2,80	991,00 €	267,04 €	1,15 €	202,21 €	99,04%
150	99,32	20,01	19,81	79,50	150,00	2,85	990,65 €	268,23 €	1,19 €	206,42 €	99,01%

Ako môžeme vidieť v tabuľkách v prvej simulácii pri konštantnej veľkosti objednávky $Q = 130$ vyšlo ako najlepšie riešenie objednávať tovar pri hladine $s = 55$. Pri tejto sme dosiahli simulovaný priemerný zisk 220,28 € a percento úrovne obsluhy 98,06 %. V druhej simulácii pri konštantnej hladine objednania $s = 60$ sme najlepší výsledok dosiahli s pri veľkosti objednávky $Q = 110$ ks. Kde bol priemerný zisk 221,13 € a úroveň obsluhy 98,49 %.

4.4.2. Riešenie v Exceli s doplnkom Crystal Ball

Úprava pre riešenie v prostredí Crystal Ball je taká istá ako v predchádzajúcich príkladoch, tak si pozrieme rovno výsledok simulácie pre $s = 60$ a $Q = 110$ ks. Simulovali sme 100 krát po 1 000dní.

Tabuľka 34 - výsledky pre sledované premenné, zdroj: vlastné spracovanie

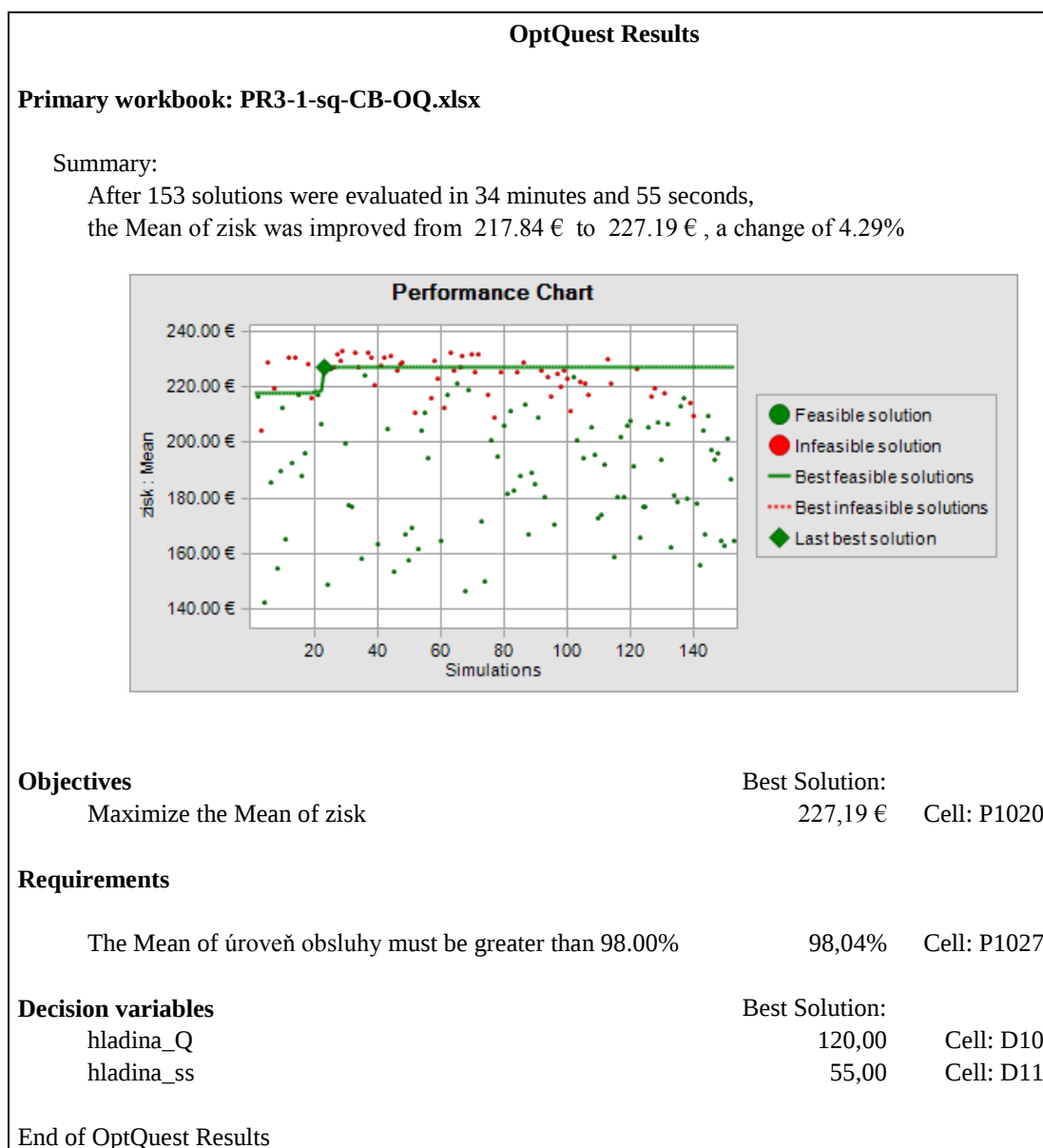
<i>Forecast Name</i>	<i>zisk</i>		<i>Forecast Name</i>	<i>úroveň obsluhy</i>
Trials	100		Trials	100
Mean	218,88 €		Mean	98,75%
Median	218,77 €		Median	98,80%
Mode	218,11 €		Mode	---
Standard Deviation	3,99 €		Standard Deviation	0,31%
Variance	15,94 €		Variance	0,00%
Skewness	-0,2156		Skewness	-0,1896
Kurtosis	3,05		Kurtosis	2,19
Coeff. of Variability	0,0182		Coeff. of Variability	0,0031
Minimum	207,76 €		Minimum	98,04%
Maximum	227,66 €		Maximum	99,34%
Mean Std. Error	0,40 €		Mean Std. Error	0,03%

V porovnaní so simuláciou v Exceli nám pri simulácii s doplnkom Crystal Ball pri väčšom počte opakovaní klesol priemerný zisk z 221,13€ na 218,88€, pričom ako môžeme vidieť v tabuľke rozsah hodnôt bol v rozmedzí 207,76€ až 227,66€. Priemerná hodnota uspokojenia dopytu bola 98,75%, čo je naopak vyššia hodnota ako v excelovskej simulácii.

4.4.3. Optimálne riešenie použitím OptQuestu

Samozrejme použijeme aj OptQuest na nájdenie optimálneho riešenia tohto modelu. Nastavíme parametre pre rozhodovacie premenné v bunkách **D10** a **D11**. Pre premennú *Q* nastavíme hodnoty z intervalu 80 až 160 s diskretným rozdelením s krokom $\text{step} = 5$. Pre premennú *t* nastavíme hodnoty z intervalu 40 až 80 s diskretným rozdelením s krokom $\text{step} = 5$. V záložke **Objectives** nastavíme podmienky rozhodovania na maximalizáciu zisku, pričom nastavíme aj splnenie požiadavky minimálnej hodnoty uspokojených dopytov na 98 %. V záložke **Options** nastavíme parametre simulácie na 50 000 simulácii, čo nám pokryje všetky možné kombinácie rozhodovacích premenných a znížime počet simulácii pre každú kombináciu z hodnoty 100 na 20. Spustíme tlačidlom **RUN**.

Tabuľka 35 - výsledok optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie



Ako najlepšie riešenie nám po optimalizácii vyšlo objednávať tovar pro poklese na hladinu 55 ks a veľkosť objednávky stanoviť na 120 ks. Pri tomto nastavení dosahujeme zisk za deň v priemere 227,19 € a percento úrovne obsluhy 98,04 %. Pripájame aj tabuľku TOP5 riešení.

Tabuľka 36 – TOP 5 kombinácií, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk	úroveň obsluhy	hladina_Q	hladina_ss
1	23	227,19 €	98,04%	120,00	55,00
2	25	226,59 €	98,03%	110,00	55,00
3	36	224,20 €	98,03%	125,00	55,00
4	102	223,55 €	98,18%	130,00	55,00
5	65	220,90 €	98,32%	135,00	55,00

4.5. Porovnanie modelov

Na porovnanie modelov si vezmeme výsledky po optimalizácii OptQuestom. V tabuľke máme výsledky:

Tabuľka 37 – porovnanie výsledkov po optimalizácii, zdroj: vlastné spracovanie

model	zisk	úroveň obsluhy	koef.1	hodnota	koef.2	hodnota
(Q, s)	227,19 €	98,04%	Q	120	s	55
(S, s)	220,24 €	98,77%	S	165	s	60
(S, t)	215,40 €	98,25%	S	185	t	7

Ako môžeme vidieť, ako najlepšie riešenie po porovnaní všetkých modelov vychádza model (Q, s) pri ktorom sme dosiahli najvyšší priemerný zisk 227,19 € za deň. Podmienka uspokojených dopytom minimálne na úrovni 98 % bola splnená hodnotou 98,04 %.

Pri vytváraní simulačných tabuliek pre jednotlivé modely sme si názorne ukázali rozdiely medzi Excelom, Crystal Ballom a optimalizáciou v OptQueste. Najhoršia situácia je v Exceli. Tam sme limitovaní jeho funkciami a preto je napríklad veľmi ťažké generovať náhodné premenné pre niektoré rozdelenia. Taktiež hľadanie optimálneho riešenia je zložitejšie, keďže pomocou dátových tabuliek vieme simulovať zmenu len jednej premennej. Takže hľadanie optimálnych hodnôt dvoch premenných je časovo veľmi náročné a vyžaduje si mnoho experimentov. Doplnok Crystal Ball, naopak obsahuje mnohé funkcie, ktoré zjednodušujú a sprehladňujú simuláciu. Obsahuje preddefinované takmer všetky používané rozdelenia a tak je ich použitie veľmi jednoduché. Silným nástrojom je možnosť nájsť na základe dát z reálneho systému zodpovedajúce pravdepodobnostné rozdelenie. To v Exceli chýba. A najväčšou výhodou je nástroj OptQuest na hľadanie optimálnych hodnôt premenných v simulácii, ktorý umožňuje hľadanie optimálnych hodnôt pre viaceré premenné.

4.6. Príklad simulačného projektu

4.6.1. Fáza 1 - Analýza problému a formulácia cieľov

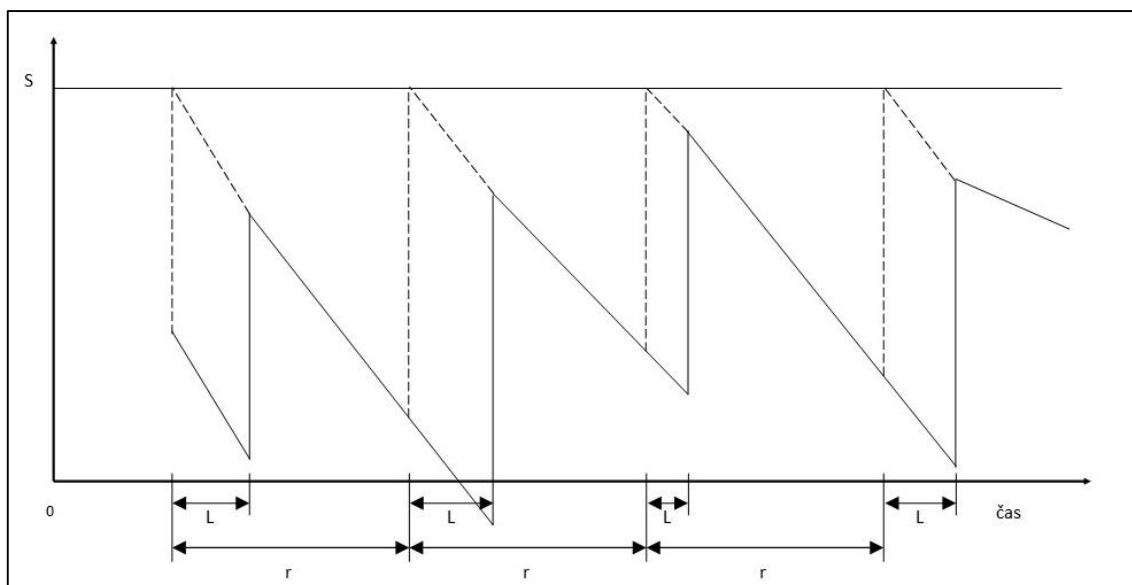
V projekte riešime problém spoločnosti predávajúcej audio-video a počítačové káble. Firma ma k dispozícii sklad v ktorom skladuje rôzne káble, ktoré predáva svojim zákazníkom. Káble sa objednávajú v týždňových intervaloch (t.j. každých 5 dní, pretože rátame s pracovným týždňom), pričom vybavenie objednávky a jej príchod na sklad trvá 2 až 4 dni od objednania u dodávateľa. Množstvo objednaných káblov je čisto intuitívne a záleží na obchodníkovi.

Problémom vo firme je určiť množstvo tovaru, ktoré má byť na sklade, aby bol uspokojený dopyt po tovare od zákazníkov, a zároveň, aby nebolo na sklade príliš veľké množstvo tovaru, v ktorom by „ležalo“ na sklade zbytočne veľa peňazí. Pričom chcú uspokojiť dopyt zákazníkov na 95 %. Pretože zo skúsenosti vedia, že cca 5 % tvoria špeciálne zákazky, ktoré nie je potrebné riešiť priamo zo skladu. Čo sa týka periodicity objednávok, tam sú schopní ju zmeniť a prispôbiť sa výsledku simulácie. Ale na žiadosť dodávateľa požadujú, aby kvôli plánovaniu počtu zamestnancov v expedičnom sklade boli objednávky vystavované periodicky.

Takéto zadanie je ideálny prípad na riešenie pomocou simulácie. V tomto prípade použijeme statickú simuláciu metódou Monte Carlo v prostredí MS EXCEL 2013 s doplnkom Crystal Ball.

4.6.2. Fáza 2: Vytvorenie konceptuálneho modelu

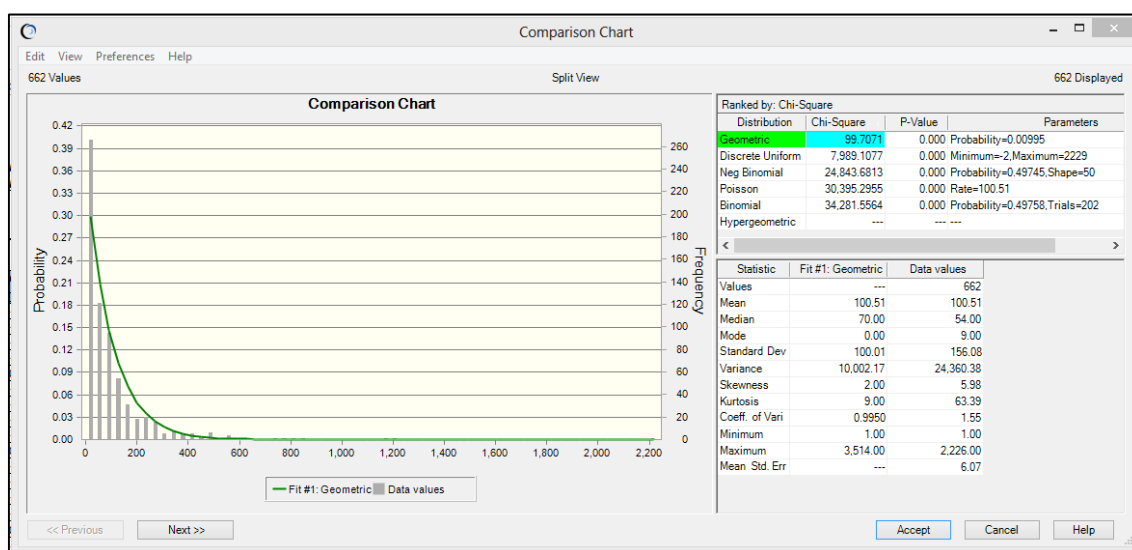
Pri špecifikácii požiadaviek bolo požadované vystavovanie objednávky v periodických intervaloch, takže ako najvhodnejšie riešenie je použitie (r, S) stratégie dopĺňovania zásob. To znamená, že tovar je sklade objednávaný v periodických intervaloch dĺžky r . Pričom množstvo tovaru sa na sklad dopĺňa na hladinu S . Vybavenie objednávky a jej príchod na sklad trvá 2 až 4 dni (na obrázku ako L)



Obrázok 27 – (r, S) systém riadenia zásob, zdroj: vlastné spracovanie

4.6.3. Fáza 3: Zber dát

Dáta týkajúce sa predaja sme získali z informačného systému firmy. V ňom sú zaznamenané všetky predaje tovaru. Tieto údaje máme za 662 predajných dní. Na spracovanie dát a určenie rozdelenia, podľa ktorého budú generovať dopyty sme použili funkciu z doplnku Crystal Ball. Kliknutím na ikonu [Define Assumption](#) sa nám otvorí okno, v ktorom zvolíme tlačidlo [Fit...](#). V ďalšom okne vyberieme bunky, v ktorých máme analyzované dáta z predajov. Ako výsledok sme dostali geometrické rozdelenie s parametrom $p=0,00995$.



Obrázok 28 – výsledok analýzy predajov, zdroj: vlastné spracovanie

Dáta týkajúce sa dĺžky dodávky tovaru na sklad vo firme nemali zachytené v informačnom systéme, takže boli odhadnuté pracovníkmi firmy v týchto pravdepodobnostiach. Dodávka za 2 dni približne v 20 % prípadov, 3 dni 50 % a 4 dni 30 %.

Údaje týkajúce sa nákladov boli taktiež dodané pracovníkmi firmy, a to na základe ich výpočtov a dodávateľských cenníkov od dodávateľa tovaru a poskytovateľa prepravy.

Tabuľka 38 - náklady, zdroj: vlastné spracovanie

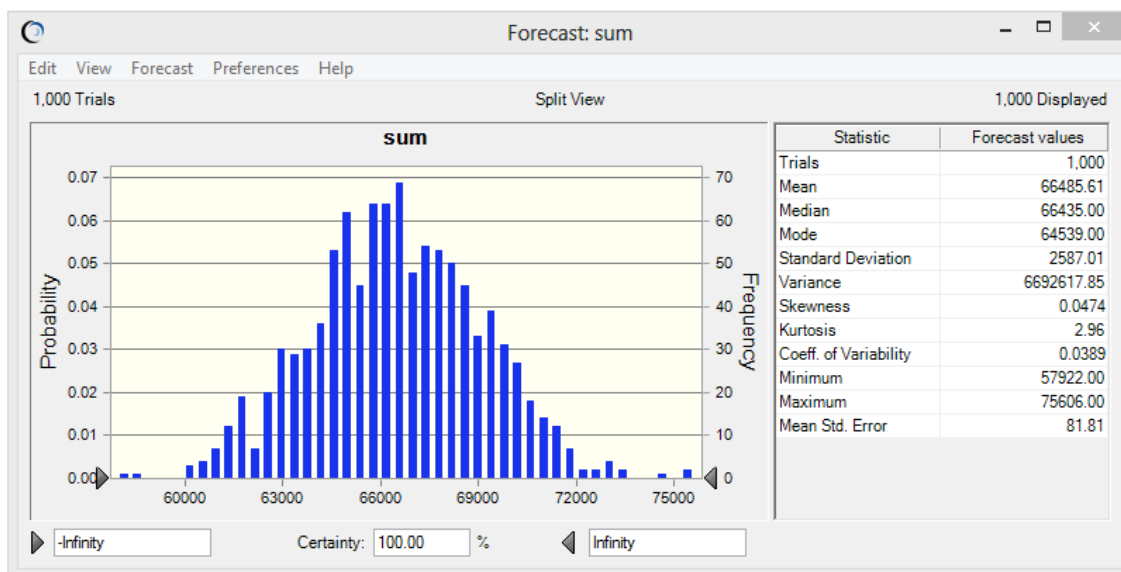
Náklady	
Zisk z jednotky	8,00 €
Náklady objednávky	50,00 €
Náklady obj. variabilné	1,00 €
Náklady skladovania	0,50 €
Náklady nedostatku	5,00 €

4.6.4. Fáza 4: Tvorba simulačného modelu

Simulačný model si vytvoríme na základe popisu v kapitole 4.2.

4.6.5. Fáza 5: Verifikácia a validácia modelu

Najprv sme si pripravili validačný model s počtom dni simulácie 662, tak ako máme k dispozícii dáta zo systému. A na tomto modeli spravíme verifikáciu generovania náhodných premenných. Po 1 000 generovaniach sme dostali priemernú hodnotu celkového dopytu za 662 dní 66 485,61 ks. V skutočnosti bol v tom istom období predaj 66 539 ks. Rozdiel medzi simuláciou a skutočnosťou je 0,08 %.



Obrázok 29 – výsledok testu, zdroj: vlastné spracovanie

4.6.6. Fáza 6: Uskutočnenie experimentov a analýza výsledkov

Samotnú simuláciu realizujeme ako optimalizáciu použitím OptQuestu. Pričom budeme simulovať 1 000 dní predaja. V záložke **Objectives** nastavíme podmienky rozhodovania na maximalizáciu zisku, pričom nastavíme aj splnenie požiadavky minimálnej hodnoty uspokojených dopytov na 95 %. Ako prvé nastavíme parametre optimalizácie podľa prvej tabuľky.

Tabuľka 39 – parametre 1. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

	spodná	horná	krok	počet simulácií
S	100	2000	100	1
t	2	10	1	

Tabuľka 40 – výsledky 1. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk	úroveň obsluhy	hladina_S	hladina_t
1	34	371,08 €	96,34%	900,00	4,00
2	41	344,21 €	98,00%	1 000,00	4,00
3	69	339,98 €	95,74%	1 000,00	5,00
4	29	332,56 €	95,08%	800,00	3,00
5	2	326,23 €	96,68%	1 100,00	6,00

Na základe týchto výsledkov upravíme parametre pre ďalšiu optimalizáciu.

Tabuľka 41 – parametre 2. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

	spodná	horná	krok	počet simulácií
S	800	1100	50	10
t	3	6	1	

Tabuľka 42 – výsledky 2. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk	úroveň obsluhy	hladina_S	hladina_t
1	4	359,48 €	95,57%	900,00	4,00
2	25	348,26 €	96,57%	950,00	4,00
3	21	339,19 €	95,86%	1 000,00	5,00
4	2	337,60 €	95,31%	800,00	3,00
5	11	334,31 €	97,36%	1 000,00	4,00

Opäť sme zúžili parametre optimalizácie.

Tabuľka 43 – parametre 3. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

	spodná	horná	krok	počet simulácií
S	900	1000	10	20
t	3	5	1	

Tabuľka 44 – výsledky 3. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk	úroveň obsluhy	hladina_S	hladina_t
1	12	369,28 €	95,35%	900,00	4,00
2	18	367,49 €	95,58%	910,00	4,00
3	5	365,56 €	95,79%	920,00	4,00
4	4	363,56 €	96,01%	930,00	4,00
5	30	361,43 €	96,21%	940,00	4,00

Vo všetkých troch doterajších simuláciách vyšlo ako najlepšie riešenie dvojica $S = 900$, $t = 4$. V poslednej optimalizácii sme mali parameter S nastavený na spodnú hranicu 900. V ďalšom kroku nastavíme S spodnú hodnotu na 880, aby sme pokryli prípadne maximum pod hranicou 900 ks. A premennú r vyradíme z optimalizácie a nastavíme na konštantnú hodnotu 4.

Tabuľka 45 – parametre 4. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

	spodná	horná	krok	počet simulácií
S	880	920	1	20

Tabuľka 46 – výsledky 4. optimalizácie, zdroj: vlastné spracovanie

poradie	riešenie #	zisk	úroveň obsluhy	hladina_S
1	17	371,57 €	95,02%	886,00
2	16	371,41 €	95,04%	887,00
3	15	371,26 €	95,07%	888,00
4	33	371,10 €	95,09%	889,00
5	4	370,94 €	95,11%	890,00

Ako najlepšie riešenie nám po optimalizácii vyšli hodnoty $S = 886$ ks a $r = 4$ dni. Pri týchto parametroch nám pri simulácii vyšla priemerná hodnota zisku 371,57 € a úroveň obsluhy 95,02 %.

4.6.7. Fáza 7: Dokumentácia k modelu

Ako dokumentácia k tomuto projektu by mohla slúžiť aj táto práca. Je tu popísaná základná teória k riadeniu zásob a simuláciám a aj riešenia pre niekoľko modelov riadenia zásob.

4.6.8. Fáza 8: Implementácia

Posledným krokom tohto projektu je implementácia výsledkov. Táto je v tomto prípade relatívne jednoduchá, keďže si vyžaduje iba zmenu v intenzite a spôsobe objednávaní tovaru na strane zadávateľa projektu.

Záver

V našej práci sme sa zaoberali modelovaním riadenia zásob pomocou simulačných modelov. V úvodnej časti sme sa oboznámili so súčasnými teoretickými znalosťami z teórie zásob aj simulácie. Tieto vedomosti nám slúžili ako základ na vypracovanie praktickej časti tejto záverečnej práce. V nej sme si vypracovali vzorové riešenia v tabuľkovom procesore Microsoft Excel 2013. Takéto riešenie sme vypracovali pre všetky 4 typy systémov riadenia zásob, ktoré sme si teoreticky predstavili. Ku každému riešeniu sme pridali aj riešenie pomocou doplnku do programu Excel od spoločnosti Oracle – Crystal Ball. Pri týchto riešeniach sme videli výhody tohto doplnku oproti riešeniu v Exceli. Ktoré sú hlavne v širokej škále poskytovaných pravdepodobnostných rozdelení a ich ľahkej definícii a použití. Ďalšou výhodou je sledovanie množstva štatistických ukazovateľov pre tieto rozdelenia. Hlavnou a najsilnejšou zbraňou Crystal Ballu je však funkcia OptQuest, ktorá nám na základe našich požiadaviek nájde najlepšie riešenie simulačného modelu. Riešenie všetkých troch modeloch sme si ukázali na jednom príklade, takže sme mohli aj porovnať výsledky a efektivitu jednotlivých riešení v našom príklade. Na záver sme vypracovali aj jeden vzorový simulačný projekt s reálnymi údajmi.

Na týchto príkladoch sme ukázali aká je výhoda riešenia problémov riadenia zásob pomocou simulačných modelov. Na prvý pohľad, pomocou matematiky ťažko riešiteľné úlohy, sa nám podarilo implementovať a vyriešiť jednoduchými simulačnými modelmi, ktoré sa dajú použiť v každodennej praxi.

Použitá literatúra

Advanced-Planning. [Online] [Dátum: 10. apríl 2013.] <http://www.advanced-planning.eu/advancedplanninge-237.htm>.

BALÁŽOVÁ, ĽUBICA a kol. 2005. *Slovník cudzích slov*. Bratislava : SPN, 2005. s. 1054. ISBN 80-10-00381-6.

DLOUHÝ, M a kol. 2007. *Simulace podnikových procesů*. Brno : Computer Press a.s., 2007. s. 201. ISBN 978-80-251-1649-4.

HUŠEK, R. a LAUBER, J. 1987. *Simulační modely*. Praha : STNL/ALFA, 1987. ISBN 80-01-01923-3.

JACOBS, ROBERT F. a CHASE, RICHARD B. 2012. *Operations and Supply Management : The Core*. s.l. : McGraw-Hill Education, 2012. s. 552. ISBN:9780073525235.

Jensen, Paul A. a Bard, Jonathan F. *Models - Operations Research Models and Methods*. [Online] [Dátum: 25. február 2013.] <http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/supplements/models/inventory/>.

Law, Averill M. 2006. *Simulation modeling and analysis*. New York : McGraw-Hill, 2006. s. 792. ISBN 978-0073294414.

Operations Research Models and Methods. Models - Operations Research Models and Methods. [Online] [Dátum: 10. apríl 2013.] <http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/supplements/models/inventory/>.

PACÁKOVÁ, VIERA a kol. 2009. *Štatistické metódy pre ekonómov*. Bratislava : Iura Edition, 2009. s. 411. ISBN 978-80-8078-284-9.

POM apps. [Online] [Dátum: 10. apríl 2013.] <http://www.pom-consult.de/POMApps/POMSCMFunctions.html>.

random.org. *Introduction to Randomness and Random Numbers*. [Online] [Dátum: 13. február 2013.] <http://www.random.org/randomness/>.

Silver, E., Pyke, D. a Peterson, and R. 1998. *Decision Systems for Inventory Management*. New York : Wiley, 1998. 978-0471867821.

Single period inventory model. [Online] [Dátum: 10. apríl 2013.] http://karlknapp.com/resources/wikisummaries/supplychain_mgt/single_period_inv_model.html.

TEPLICKÁ, KATARÍNA a VODZINSKÝ, VLADIMÍR. 2004. *Metódy ekonomickej analýzy*. Košice : Technická univerzita, 2004. s. 62. ISBN 9788080732066.

Walter, J. 1970. *Stochastické modely v ekonomii*. Praha : SNTL, 1970.