VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY



BAKALÁRSKA PRÁCA

2012 Martin Fabian

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY



Názov bakalárskej práce:

Vybrané modely zásob a ich riešenie v MS Excel

Autor:	**Martin Fabian**
Katedra:	**Katedra ekonometrie**
Obor:	**Matematické metódy v ekonómii**
Vedúci práce:	**Ing. Václav Kořenář, CSc.**

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému „Vybrané modely zásob a ich riešenie v MS Excel“ spracoval samostatne. Všetku použitú literatúru a ďalšie podkladové materiály uvádzam v zozname použitej literatúry.

V Prahe dňa 7. mája 2012 .....

Martin Fabian

Poďakovanie:
Rád by som na tomto mieste poďakoval Ing. Václavovi Kořenářovi, CSc. za vedenie mojej bakalárskej práce a odborné pripomienky.

Abstrakt

Názov práce: Vybrané modely zásob a ich riešenie v MS Excel
Autor: Martin Fabian
Katedra: Katedra ekonometrie
Vedúci práce: Ing. Václav Kořenář, CSc.

Zásoby sú v ekonómii chápané ako plytvanie. Ekonomické subjekty sa preto snažia vytvoriť podmienky, pri ktorých je ich stav čo najnižší. Oblasť riadenia zásob obsahuje mnoho modelov pre výpočet optimálnych hodnôt objednávaného množstva, minimálnych nákladov atď. Medzi ne patria aj modely množstevných rabatov a model s možnosťou prechodného nedostatku zásob na sklade. Výpočtová náročnosť týchto modelov nie je veľká, pretože na ich výpočet existuje rada jednoduchých vzorcov. Teoretická časť práce bližšie popisuje vybrané modely zásob. Praktická časť, ktorá je vypracovaná v tabuľkovom kalkulátore MS Excel pomocou makier a VBA pre Excel, na ňu nadväzuje a predstavuje možnosti aplikácie daných modelov v praxi.

Kľúčové slová: zásoby, optimalizácia, makro, model

Abstract

Title: Selected models of inventory and their solution in the MS Excel
Author: Martin Fabian
Department: Department of Econometrics
Supervisor: Ing. Václav Kořenář, CSc.

Supplies are in the economy seen as wastage. Economic subject are therefore trying to create conditions in which inventory level is as low as possible. The area of inventory control includes many models for calculation of the optimal values of the ordered quantity, minimum costs etc. For example price discount model or model with the possibility of temporary lack of inventory in store. The computational complexity of these models is not difficult, because there are many simple formulas. The theoretical part describes selected inventory model in more details. The practical part, which is prepared in MS Excel using macros and VBA for Excel, follows up it and shows the application of models in practice.

Keywords: supplies, optimalization, macro, model

Obsah

1. Úvod 1

2. Zásoby 2
2.1 Zásoby všeobecne 2
2.2 Stratégia riadenia zásob 4
2.2.1 Deterministické modely zásob 5
2.2.2 Stochastické modely zásob 8

3. Vybrané modely zásob 10
3.1 Model s možnosťou prechodného nedostatku zásob 10
3.2 Modely množstevných rabatov 13
3.2.1 Zľava typ A 14
3.2.2 Zľava typ B 15

4. Aplikácia 16
4.1 Základné informácie 16
4.2 Zľava typ A 18
4.2.1 Praktické využitie aplikácie na model množstevných rabatov - zľava A 21
4.3 Zľava typ B 22
4.3.1 Praktické využitie aplikácie na model množstevných rabatov - zľava B 24
4.4 Model s možnosťou prechodného nedostatku zásob 25
4.4.1 Praktické využitie aplikácie model s prechodným nedostatkom 27

5. Záver 28

Zoznam použitej literatúry 29

1. Úvod

Hlavným cieľom mojej bakalárskej práce bolo teoreticky popísať vybrané modely zásob a vytvoriť jednoduchý programček pre ich riešenie. Teoretické poznatky som čerpal zo známej a publikovanej literatúry.

Teoretická časť je zameraná na zásoby ako celok, ich delenie a aplikáciu. Ďalej rozoberiem vybrané modely zásob. Konkrétne optimalizáciu veľkosti dodávky s možnosťou prechodného nedostatku zásob a modely množstevných rabatov.

Praktickú časť bude tvoriť aplikácia pre výpočet vybraných modelov v prostredí MS Excel. Pre uľahčenie práce bude vytvorená pomocou makier a Visual Basicu pre Excel. Rozoberiem tiež algoritmus postupu riešenia ako aj detailný popis aplikácie. Vytvorenú aplikáciu následne overím na ilustratívnych príkladoch.

V závere zhodnotím výhody a nevýhody aplikácie a jej využiteľnosť.

2. Zásoby

2.1 Zásoby všeobecne

V reprodukčnom procese sú predmety (výrobné prostriedky, spotrebné predmety), ktoré sa uchovávajú na neskoršiu spotrebu. Nazývame ich zásoby. Napriek ich prevažne pozitívnej funkcii, sú prejavom rezerv v riadiacej práci manažérov. Hľadajú sa preto cesty, ako ich úroveň čo najviac znížiť [1]. Stavy zásob sú ľahko merateľné a pri súčasnej úrovni výpočtovej techniky sa stáva riadenie a optimalizácia zásob pre každého manažéra základom úspechu. V opačnom prípade je veľmi pravdepodobný krach.

V dostupnej literatúre sa dá nájsť mnoho modelov, ktoré sa zameriavajú na určenie optimálnej úrovne zásob. Vyvinula sa dokonca aj vedná disciplína s názvom *„teória zásob“*. Riadením zásob nerozumieme len ich evidenciu a kontrolu, ale taktiež vlastnú reguláciu, plánovanie a financovanie. Regulácia zásob prebieha buď ich vytváraním a doplňovaním, alebo čerpaním. Tvorba zásob prebieha na základe subjektívnych alebo objektívnych príčin. Medzi objektívne príčiny patrí napríklad priestorový nesúlad medzi výrobou a spotrebou. Z týchto príčin vzniká tzv. bežná alebo obratová zásoba. Poistné zásoby vznikajú zo subjektívnych príčin a kryjú zvýšenú spotrebu zásob vo výrobe, ktorá sa vyskytuje s určitou pravdepodobnosťou [2]. Pri výpadku dodávky surovín môže znamenať neexistencia poistnej zásoby pre výrobný podnik zastavenie výroby a s tým spojené straty.

Pre optimálne riadenie zásob je potrebné dopredu stanoviť rozhodovacie kritéria. Nástrojom, ktorý umožňuje nájsť stratégiu zásob, ktorá je podľa zvoleného kritéria najlepšia je optimalizačný model. Povaha modelu závisí od zvoleného rozhodovacieho kritéria [2]. Rozlišujeme 3 základné typy modelov zásob:

- nákladovo orientovaný
- bez nákladovej orientácie
- zmiešaný

Cieľom nákladovo orientovaného modelu zásob je voľba stratégie riadenia, ktorá zaručuje minimalizáciu funkcie celkových (skutočných alebo očakávaných) nákladov za časové obdobie [2]. Problémom pri praktických aplikáciách tohto systému sú ťažko vyčísliteľné zložky jednotlivých nákladov spojené s vytváraním, doplňovaním a udržiavaním zásob. Keďže sa príslušné nákladové položky obvykle nedajú získať priamo vyžaduje tento model podrobnú analýzu jednotlivých nákladov. Ak je spotreba ovplyvnená výškou zásob, môžeme ako rozhodovacie kritérium použiť funkciu zisku (či už skutočného alebo očakávaného). Cieľom je následne maximalizácia zvolenej ziskovej funkcie.

Ak nie je nákladová funkcia predmetom optimalizácie, hovoríme o modeli bez nákladovej orientácie. Cieľom môže byť minimalizácia finančných prostriedkov viazaných v zásobách [2]. Snažíme sa o maximálnu efektívnosť obežných prostriedkov, čím nepriamo znižujeme náklady na zásoby. Za cieľ modelu možno považovať aj minimalizáciu rizika

vyčerpania zásob. Ide o nájdenie optima medzi dvoma extrémnymi situáciami. Prvá situácia je nízka úroveň zásob, s ktorou sú spojené nízke náklady na ich udržiavanie, ale na druhej strane je vysoká pravdepodobnosť neuspokojenia potreby. Opačná situácia značí vysokú, takmer nikdy nevyčerpateľnú zásobu, s ktorou sú však spojené vysoké udržiavacie náklady. Z vyššie uvedeného vyplýva, že aj optimalizačné modely bez nákladovej orientácie k nákladom prihliadajú.

Model zmiešaného typu je charakteristický tým, že je kombináciou prvých dvoch systémov. Príkladom je minimalizácia funkcie celkových očakávaných nákladov zásob, pri čom sa poistná zásoba určí pomocou optimalizačného modelu.

Konštrukciu modelov zásob ovplyvňujú niektoré skutočnosti:

1. naša schopnosť určiť veľkosť dopytu S na sledované obdobie T. Môžu nastať tieto situácie:

- dopyt sme schopní stanoviť ako konštantu – dopyt determinovaný absolútne
- dopyt určujeme nejakým pravdepodobným rozdelením a každému možnému výsledku sme schopní priradiť pravdepodobnosť P(S), s akou bude dosiahnutá v období T - dopyt determinovaný pravdepodobnostne
- keď o budúcom dopyte nič nevieme - nedeterminovaný dopyt. V praxi nereálne, pretože, ak chceme byť úspešní, musíme vedieť odhadnúť aspoň interval jeho výšky [1]

2. ďalším významným faktorom je priebeh spotreby v čase. Môže ísť o:

- spotrebu spojitú v čase, dá sa aproximovať vhodne zvolenou krivkou
- spotrebu spojitú v množstve, môže nadobúdať ľubovoľné hodnoty
- spotrebu nespojitú v množstve, môže nadobúdať len dopredu stanovené hodnoty
- spotrebu nepravidelnú v čase [1]

3. každá zásoba môže mať tri zložky, ktoré sa líšia funkciou a priebehom výšky v čase:

- bežná zásoba – jej množstvo sa v čase mení a závisí od spôsobu jej doplňovania a čerpania
- poistná zásoba – stála rezerva, slúžiaca na krytie nepredvídateľných výkyvov v dopyte
- technologická zásoba – jej výška je determinovaná požiadavkami technológie [1]

2.2 Stratégia riadenia zásob

Modely formulované v teórii zásob sú zamerané na hľadanie spôsobu doplňovania, udržovania a čerpania zásob, ktorý zaistí ich ekonomicky efektívnu funkciu v reprodukčnom procese [1].

Kritériom pre výber optimálnej stratégie riadenia zásob sú pri modeloch s deterministickým dopytom náklady na ich zaobstaranie a udržiavanie. V prípade náhodného dopytu ešte musíme pripočítať náklady spojené s nedostatkom zásob, napr. straty spôsobené prerušením výroby. Jednotlivé náklady si ďalej bližšie špecifikujeme:

1. Náklady na udržovanie zásob N_1

Sú definované ako funkcia priemernej zásoby ($\bar{x}$) a môžu byť ako:

a. náklady $\mathbf{n''_S}$ - na udržiavanie jednotkového množstva skladovej položky za jednotku času T (v Kč)

- $\mathbf{N_1 = \bar{x}\, T n''_S}$ **(2.1)**

b. náklady $\mathbf{n'_S}$ - na udržiavanie jednotkového množstva skladovej položky za celé obdobie dĺžky T (v Kč)

- $\mathbf{N_1 = \bar{x}\, n'_S}$ **(2.2)**

c. percento $\mathbf{n_S}$ - tvoriace náklady na udržovanie zásob z priemernej zásoby v Kč

- $\mathbf{N_1 = \bar{x}\, T n_S\, c^*}$ [1] **(2.3)**

* *c* je cena skladovanej položky (v Kč/ jednotku)

2. Náklady na zaobstaranie zásob N_2

Sú väčšinou vyjadrované ako lineárna funkcia počtu objednávok realizovaných za sledované obdobie. Najjednoduchším príkladom je, ak sú jednorazové náklady na jednu objednávku (n_j) konštantné bez vplyvu jej veľkosti. Ak veľkosť objednávky označíme Q, bude počet objednávok pri spotrebe S za čas T rovný o =S/Q a celkové obstarávacie náklady budú [1] :

- $\mathbf{N_2 = o\, n_j}$ **(2.4)**

3. Náklady spojené s nedostatkom zásob N_3

K nedostatku zásob môže dôjsť v prípadoch náhodného dopytu. Preto treba brať do úvahy aj straty s týmto spojené ako náklady N_3. Ak sú tieto straty lineárne závislé na priemernom chýbajúcom množstve $\bar{x}_z$ platí [1]:

- $\mathbf{N_3 = \bar{x}_z\, n_z^*}$ **(2.5)**

* n_z sú straty spôsobené chýbajúcou položkou (v Kč/ jednotku)

2.2.1 Deterministické modely zásob

Zásoby sú prítomné v celom zásobovacom procese. Deterministické modely sú jednoduché, pretože nevyužívajú stochastické prístupy. Bez nich však často nemožno používať ani stochastické modely [3]. Najprv sa zameriame na jednoduchšie príklady, kde sme schopní určiť požiadavky nakupovanej suroviny, polotovary či dopyt zákazníkov ako konštanty.

Model optimálnej veľkosti objednávky

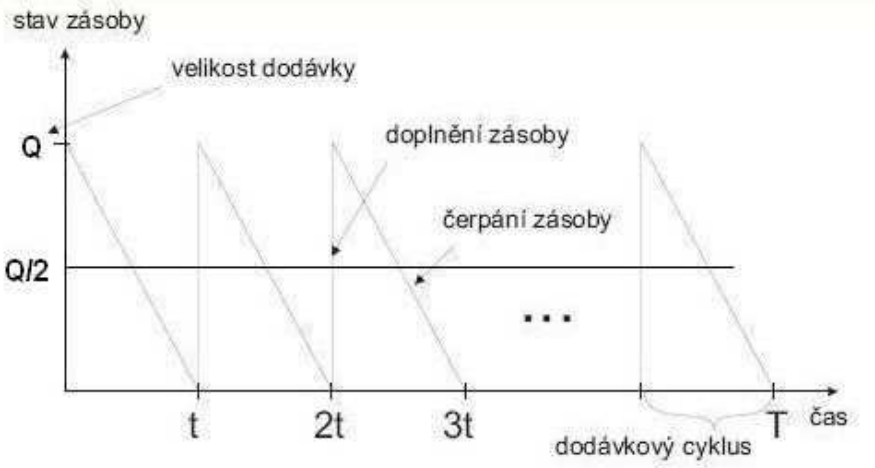
Je historicky prvý formulovaný model riadenia zásob a vychádza z týchto predpokladov:

- spotreba S za obdobie T je dopredu známa
- spotreba v rámci roka je spojitou funkciou času a má rovnomerný priebeh
- poznáme n_j, n_S a c [1]

Cieľom riešenia je nájsť optimálnu výšku dodávky na sklad Q, pri ktorej budú celkové náklady (súčet obstarávacích a skladovacích) minimálny.

- **min N(Q)= N_1+N_2** **(2.6)**

Keďže priemerná zásoba bude $\overline{x}$=Q/2 (obr. 1)



Obr. 1 Priemerná zásoba na sklade [1]

môžeme písať celkové náklady ako:

- $\mathbf{N(Q) = (Q/2)\ Tn_s c + (S/Q)\ n_j}$ **(2.7)**

Optimálna veľkosť objednávky je rovná:

- $\mathbf{Q^{opt} = \sqrt{2Sn_j / Tcn_s}}$ **(2.8)**

Minimálne dosiahnuteľné náklady po dosadení za **$Q=Q^{opt}$:**

- $\mathbf{N(Q^{opt}) = \sqrt{2\ STcn_s\ n_j}}$ **(2.9)**

Dĺžku dodávacieho cyklu vypočítame, ak vydelíme dĺžku obdobia T, optimálnym počtom objednávok:

- $t_c = \sqrt{2Tn_j/Sn_s c}$ **(2.10)**

V predchádzajúcom postupe bola zanedbaná doba vybavenia objednávky. Ak je táto doba nenulová, musíme určiť dolnú objednávaciu medzu - x_d. Je to hodnota, na ktorú keď klesne stav zásob, je potrebné vystaviť objednávku na dodávku stanoveného množstva Q. Signálny stav zásob bude potom rovný:

- $\mathbf{x_d = st_{vo}}$ **(2.11)**

pritom s=S/T – priemerná denná spotreba sledovanej položky

t_{vo} – dĺžka vybavenia objednávky

Úprava modelu pre nespojitý dopyt

Doteraz sme vychádzali z predpokladu, že sa dá objednávať ľubovoľné množstvo položky. V praxi to tak ale nie vždy funguje, a musí sa objednávať násobok určitého minimálneho množstva q. Preto možno objednávať iba Q= q, 2q, 3q... . Pri optimálnej objednávke Q^{opt} platí:

- $\mathbf{N(Q^{opt} + q) \geq N\ (Q^{opt}) \leq N(Q^{opt} - q)}$ **(2.12)**

Dosadením výrazu (2.7) do (2.12) a následnou úpravou dostaneme:

- $\boldsymbol{Q(Q+q) \geq 2Sn_j/Tcn_s \geq Q(Q-q)}$ **(2.13)**

Postup je už potom jasný:

- vypočítame podiel strednej nerovnosti
- zostavíme tabuľku, v ktorej postupne vypočítame pravé a ľavé strany nerovnosti, kým pre Q neplatí nerovnosť [1]

Úprava pre model s možnosťou dočasného prečerpania zásob

Túto úpravu popíšem v tejto časti len veľmi stručne teoreticky, pretože sa jej budeme venovať podrobne v treťom oddiely a v praktickej časti, kde na tento typ vypočítam aj ilustratívny príklad.

Ak zanedbávame predpoklad, že potreba má byť plne a načas uspokojená, riešime otázku, do akej miery je ekonomicky prípustný časový nesúlad medzi potrebou a zásobou a s tým spojený nedostatok zásob.

Do základného modelu pridávame náklady spôsobené chýbajúcou položkou na sklade (2.5).

Optimálna veľkosť objednávky:

- $\boldsymbol{Q^{opt} = \sqrt{(2Sn_j/Tcn_s) * (Tcn_s + n_z)/n_z}}$ **(2.14)**

Minimálne dosiahnuteľné náklady:

- $\boldsymbol{N(Q^{opt}) = \sqrt{2\,STcn_j n_s\ * n_z/(Tcn_s + n_z)}}$ **(2.15)**

Dĺžka objednávkového cyklu:

- $\boldsymbol{t_c = \sqrt{(2Tn_j/Scn_s) * (Tcn_s + n_z)/n_z}}$ **(2.16)**

2.2.2 Stochastické modely zásob

Sú modely, v ktorých uvažujeme rovnaké predpoklady ako u deterministických z predchádzajúcej kapitoly, s tým rozdielom, že dopyt je stochastický. Znamená to, že jeho výška v časovom období je náhodná veličina s istým pravdepodobným rozdelením. Preto rozhodovanie o riadení zásob patrí medzi rozhodovacie situácie za rizika. V praxi sú významné dva zdroje náhodných vplyvov:

- náhodné výkyvy v dopyte
- náhodné výkyvy v službách dodávateľov

Výkyvy v dopyte sú spôsobené turbulentným charakterom tržného prostredia, kým výkyvy v službách kolísaním termínov vybavenia objednávok. Tieto výkyvy môžu zapríčiniť, že zásoba na sklade nebude dostatočná k uspokojeniu požiadaviek zákazníkov, čo vedie krátkodobo k strate tržieb a dlhodobo k strate dôvery a zákazníkov. Preto pri formulácii týchto modeloch treba počítať aj so stratami spôsobenými nedostatkom zásob.

Za predpokladu systému s plynulým sledovaním zásob sa nová objednávka vystavuje v čase, keď zásoba na sklade klesne na stanovenú medzu *r* (bod znovuobjednávky). Lehotu vybavenia objednávky *d* považujeme za konštantnú. Keďže je dopyt nerovnomerne rozdelený v čase, môžu počas tejto doby nastať dve situácie:

- dopyt počas vybavovacej lehoty je menší ako bod znovuobjednania a tým pádom nedochádza k neuspokojeniu požiadaviek
- dopyt je vyšší ako bod znovuobjednania a preto po absolútnom vyčerpaní zásob dochádza k čiastočnému neuspokojeniu požiadaviek [2]

K zabráneniu výskytu druhej situácie potrebujem mať informácie o charaktere dopytu. Dopyt je daný v praxi najčastejšie normálnym rozdelením so strednou hodnotou μ a smerodajnou odchýlkou σ.

Na výpočet základných charakteristík modelu sa používajú rovnaké vzťahy ako u deterministických modelov s možnosťou prečerpania zásob (2.14 – 2.16), ale na miesto konštantného dopytu použijeme strednú hodnotu.

V súvislosti s týmto modelom sa zavádza nový pojem – úroveň obsluhy (γ). Vyjadruje pravdepodobnosť, že v rámci jedného cyklu nedôjde k neuspokojeniu požiadaviek. Ak chceme znížiť túto pravdepodobnosť existuje jediná možnosť - vystaviť objednávku, ak bude zásoba na sklade vyššia ako bod znovuobjednania *r* a to o poistnú zásobu *w*. Treba si uvedomiť, že to vedie nie len k vyššej úrovni obsluhy, ale stojí to aj viac finančných prostriedkov.

Strednú hodnotu týchto nákladov môžeme vyjadriť ako:

- $\boldsymbol{\mu_n = \sqrt{2\mu_Q Tcn_s n_j} + Tcn_s w}$ * **(2.17)**

** μ je stredná hodnota*

Pre výšku poistnej zásoby stačí riešiť:

- **P{ dopyt Qd počas vybavovacej lehoty ≤ r_0+w} ≥ γ** **(2.18)**

Keďže v tabuľkách sú iba hodnoty distribučnej funkcie normovaného normálneho rozdelenia N (0,1), je potrebné ich transformovať náhodnou veličinou Qd na náhodnú veličinu z s rozdelením N(0,1):

- $\boldsymbol{z = (Q_d - r_0)/\sigma_{Qd}}$ **(2.19)**

Poistnú zásobu *w* je treba tvoriť v takej výške, aby platilo:

- $\mathbf{w \geq z\sigma_{Qd}}$ **(2.20)**

z – tabuľková hodnota normovaného normálneho rozdelenia pre danú úroveň obsluhy

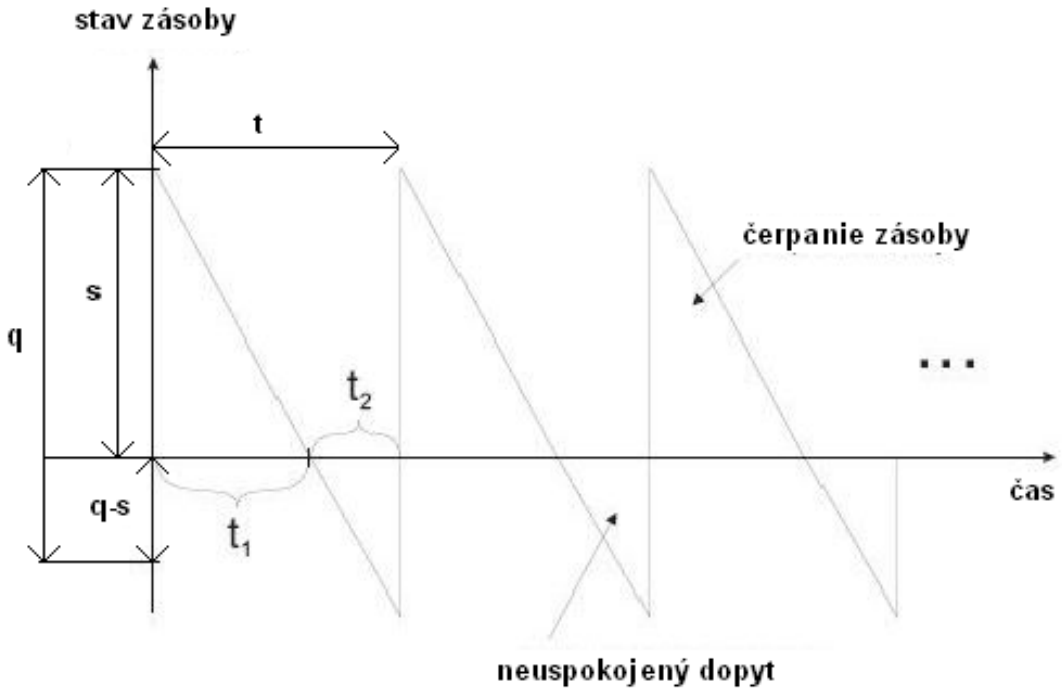
3. Vybrané modely zásob

3.1 Model s možnosťou prechodného nedostatku zásob

Ako už bolo spomenuté tento typ je len odvodeným typom od najzákladnejšieho deterministického modelu zásob.

S každou prechodne neuspokojenou požiadavkou vznikajú náklady (straty) závislé na čase, ktoré sú v praxi veľmi ťažko vyčísliteľné. V tomto modeli sa snažíme zvoliť takú stratégiu riadenia zásob, aby boli skladovacie náklady, ako aj náklady na zaobstaranie zásob a náklady na straty spojené s nedostatkom zásob minimálne [2].

Pri nedostatku zásob a následnom neuspokojení požiadaviek nám ročne vzniká strata, ktorú označíme $\mathbf{c_3}$. Skladovacie náklady jednotky za rok označíme $\mathbf{c_1}$ a náklady na obstaranie jednej objednávky $\mathbf{c_2}$. Ak je maximálna čistá zásoba na sklade **s**, tak počas intervalu $\mathbf{t_1}$ každého dodávkového cyklu **t** je potreba uspokojená, avšak počas intervalu $\mathbf{t_2}$ sú požiadavky neuspokojené a prednostne sa uspokojujú z ďalšej objednávky. (viď obr. 2)



Obr. 2: Zásobovacie cykly s prechodným nedostatkom zásob na sklade [2]

Na základe obrázku môžeme tvrdiť, že platí:

- $\mathbf{t_1 = (s/q)t}$ **(3.1)**
- $\boldsymbol{t_2 = ((q - s)/q)\, t}$ **(3.2)**

Nákladová funkcia tohto modelu sa skladá zo súčtu troch nákladových položiek.

1. **Skladovacie náklady**
   - dajú sa vyjadriť ako súčin priemernej zásoby na sklade (**s/2**), jednotkových skladovacích nákladov $\mathbf{c_1}$ a doby $\mathbf{t_1}$
     - $\mathbf{c_1\ (s/2)\ t_1}$ **(3.3)**

2. **Zaobstarávacie náklady**
   - v každom cykle dôjde k objednaní jednej dodávky a tým pádom k nákladom $\mathbf{c_2}$

3. **Náklady spojené s nedostatkom**
   - v rámci jedného cyklu sa dajú vyjadriť ako súčin priemerného nedostatku zásob (**(q-s)/2**), jednotkových nákladov na neuspokojenú požiadavku $\mathbf{c_3}$ a doby $\mathbf{t_2}$, kedy zásoba chýba
     - $\mathbf{c_3\ ((q-s)/2)\ t_2}$ **(3.4)**

V rámci jedného cyklu sú celkové náklady súčtom uvedených troch položiek. Ak je ročný dopyt Q a veľkosť jednej objednávky q, potom týchto cyklov za rok bude Q/q. Výsledná nákladová funkcia bude mať teda tvar [2]:

- $\mathbf{N = Q/q\ ((s/2)\ t_1 c_1 + c_2 + ((q-s)/2)\ t_2 c_3))}$ **(3.5)**

po dosadení (3.1) a (3.2) do (3.5) dostávame:

- $\mathbf{N = s^2 c_1/2q + (Qc_2/q) + (q-s)^2 c_3/2q}$ **(3.6)**

Optimálne množstvá q_0 a s_0, pre ktoré výraz (3.5) dosahuje svoje minimum určíme riešením sústavy rovníc, ktoré vzniknú ak položíme parciálne derivácie (3.5) podľa q a s rovné nule. Riešením týchto rovníc dostaneme:

- $\mathbf{q_0 = \sqrt{2Qc_2/c_1 * (c_1 + c_3)/c_3}}$ **(3.7)**
- $\boldsymbol{s_0 = \sqrt{2Qc_2/c_1 * c_3/(c_1+c_3)}}$ **(3.8)**

Veličina α - miera obsluhy systému zásob, vyjadruje po akú dobu optimálneho objednávacieho cyklu je potreba uspokojená.

- $\boldsymbol{\alpha = c_3/(c_1+c_3)}$ **(3.9)**

Doplnkovou hodnotou do jednej k miere obsluhy je veličina β – miera rizika prechodného vyčerpania zásob počas objednávkového cyklu.

- $\boldsymbol{\beta = c_1/(c_1 + c_3)}$ **(3.10)**

Ak dopredu poznáme prípustnú mieru rizika prechodného nedostatku zásob, tak pri danom c_1 môžeme určiť veľkosť straty c_3 – tzv. imputovanej straty.

- $\mathbf{c_3 = c_1\,(1 - \beta/\beta)}$ **(3.11)**

Dosadením (3.7) a (3.8) do (3.5) dostaneme minimálne náklady vrátane strát z prechodného neuspokojenia potreby.

- $\mathbf{N_0 = \sqrt{2Qc_1c_2\,(c_3/(c_1 + c_3))}}$ **(3.12)**

Optimálnu dĺžku dodávkového cyklu podľa vzťahov (3.7) a (3.8) môžeme vyjadriť:

- $\mathbf{t_0 = (2c_2/Qc_1) * (c_1 + c_3)/c_3}$ **(3.13)**

Bod objednávky r_0 vypočítame pomocou vzťahu:

- $\mathbf{r_0 = \mu + s_0 - q_0(m + 1)}$ **(3.14)**

kde počet objednávok na ceste m je najväčšie celé číslo menšie alebo rovné podielu τ/t_0 (predstih objednávky/optimálna dĺžka dodávacieho cyklu) a μ je predstih potreby alebo dopytu ($Q\tau$).

Výraz r_0 môže nadobúdať aj záporných hodnôt. Znamená to, že ďalšia objednávka má byť uskutočnená v okamihu, keď je systém prechodne bez zásob a jeho hodnota vyjadruje počet neuspokojených požiadaviek pri ktorom treba podať objednávku [2].

3.2 Modely množstevných rabatov

Medzi deterministické modely patria aj modely množstevných rabatov. V snahe zaujať zákazníka sú tieto modely často využívané. Sú postavené na tom, že s rastúcim množstvom nakúpeného tovaru klesá cena za jednu jeho jednotku. Málokedy je cena vyjadrovaná priamo ako funkcia objednaného množstva. Cenník má väčšinou formu tabuľky [1]:

Tab. 1 – Tabuľka množstevných zliav [1]

Interval pre objednané množstvo	Cena za jednotku
Q_0-Q_1	c_1
Q_1-Q_2	c_2
Q_2-Q_3	c_3
...	...
Q_{k-1}-Q_k	c_k

za predpokladu, že platí $c_1>c_2>c_3>...>c_k$.

Tento spôsob predaja je výhodný pre obidve strany. Na strane zákazníka je nižšia cena za jednu jednotku, čo sa pri veľkom nakúpenom množstve prejaví ako zjavná úspora prostriedkov a na strane predajcu je aj napriek nižším ziskom z jedného predaného kusu možnosť dosiahnuť vysokých celkových ziskov, kvôli veľkému objemu predaného tovaru.

Množstevné zľavy sa ešte líšia spôsobom uplatňovania zľavy podľa jednotlivých intervalov:

- v prvom prípade je pri fakturácii za celú objednávku použitá cena intervalu, v ktorom sa nachádza veľkosť zvolenej dodávky. Takže ak použije prvý typ a dodávku patriacu množstvom do druhého intervalu ($Q_1<Q<Q_2$), vyfakturovaná cena F sa bude rovnať súčinu množstva a ceny za jednotku v danom intervale [1]. $F = Q*c_2$

- v druhom prípade platí každá cena, len na množstvo nachádzajúce sa v danom intervale. Takže v danom prípade sa bude vyfakturovaná cena rovnať súčtu:
  $F = (Q_1-Q_0)c_1 + (Q_2-Q_1)c_2$ [1]

Pre ľahšiu orientáciu pri podrobnejšom zoznámení sa s uvedenými zľavami použijeme pre prvý prípad označenie zľava typ A a pre druhý zľava typ B.

3.2.1 Zľava typ A

Ako už bolo spomenuté, cena vyfakturovaná za objednávku sa podľa tejto zľavy počíta ako súčin celkového množstvo dodávky a ceny za jednotku tovaru v danom intervale. Znamená to, že ak máme intervaly objednaného množstva rozdelené po 200 ks a ceny daných intervalov sú a, b, c, d, e ..., tak pri objednaní 1000 ks tovaru bude vyfakturovaná čiastka rovná súčinu počtu ks a ceny piateho intervalu, resp. 1000e.

Ak zvolíme objednávku v i-tom intervale, bude to hodnota

- $\mathbf{n_j + c_i Q}$ **(3.15)**

Náklady na udržovanie zásoby (N_1) a na jej zaobstaranie (N_2) sú potom:

- $\mathbf{N_1 = 0,5 T n_s (n_j + c_i Q)}$ **(3.16)**
- $\mathbf{N_2 = (S/Q)\ (n_j + c_i Q)}$ **(3.17)**

Celkové náklady sú súčtom N_1 a N_2, takže po úprave dostaneme:

- $\mathbf{N_i(Q) = 0,5 T n_s n_j + 0,5 T n_s c_i Q + (S/Q)\ n_j + S c_i}$ **(3.18)**

Vzorec pre optimálnu veľkosť objednávky v i-tom intervale dostaneme, ak položíme deriváciu výrazu (3.18) podľa Q rovnú nulu.

- $\mathbf{Q_i^{opt} = \sqrt{2 S n_j / T c_1 n_s}}$ **(3.19)**

Nákladová funkcia pre interval (Q_{i-1}, Q_i) má po dosadení Q^{opt} za Q do (3.18) tvar:

- $\mathbf{N_i\left(Q_i^{opt}\right) = 0,5 T n_s n_j + S c_i + \sqrt{2 T S c_i n_s n_j}}$ **(3.20)**

Postup výpočtu optimálnej veľkosti objednávky:

Zvolíme cenu posledného intervalu c_k, ktorá je najnižšia a pomocou (3.19) vypočítame optimálnu veľkosť objednávky Q_k^{opt} . Overíme, či vypočítané množstvo leží v intervale, pre ktorý platí cena c_k. Ak áno výpočet končí a našli sme optimálnu veľkosť objednávky danej položky. Ak nie, pokračujeme ďalej a postupne počítame optimálne množstvá aj pre ďalšie intervaly až kým nedôjdeme k výsledku. Po nájdení optimálneho množstva ležiaceho v danom cenovom intervale vypočítame minimálne náklady (3.20) pre dané množstvo.

3.2.2 Zľava typ B

Je zjavné, že tento typ zľavy je založený na inom princípe ako zľava A. Fakturovaná čiastka pri tomto type zľavy sa počíta ako súčet súčinov cien intervalov a množstiev v daných intervaloch. Pre lepšiu prehľadnosť uvediem príklad. Opäť vychádzame z nákupu 1000 ks tovaru, cenových intervalov rozdelených po 200 ks a cien pre intervaly a, b, c, d a e. Potom prvých 200 ks bude za cenu a, ďalších 200 ks za b a tak ďalej až posledných 200 ks za cenu e.

Fakturovaná hodnota po zvolení veľkosti objednávky v i-tom intervale bude

- $\mathbf{F_i = (Q - Q_{i-1})c_i + \sum_{s=1}^{i-1}(Q - Q_{s-1})c_s}$ **(3.21)**

a priemerná cena za dodanú jednotku

- $\mathbf{\bar{c} = F_1/Q = (Q - Q_i/Q)\, c_i + \ (F_i - 1/Q)}$ **(3.22)**
  kde $\mathbf{F_{i-1} = \sum_{s=1}^{i-1}(Q_s - Q_{s-1})c_s}$

Nákladová funkcia i-tého intervalu:

- $\mathbf{N_i(Q) = (S/Q)\, n_j + \ S\bar{c} + \ 0,5QTn_s\bar{c}}$ **(3.23)**

Optimálna veľkosť objednávky

- $\mathbf{Q_i^{opt} = \sqrt{2SA_i/Tc_in_s}}$ kde $\mathbf{A_i = (n_j + F_{i-1} - Q_{i-1}c_i)}$ **(3.24)**

Optimálne náklady

- $\mathbf{N_i(Q_i^{opt}) = Sc_i + 0,5QTn_s(F_{i-1} - Q_{i-1}c_i) + \sqrt{2STn_sA_i}}$ **(3.25)**

Postup výpočtu optimálnej veľkosti objednávky:

Pre každý cenový interval vypočítame hodnotu Q_i^{opt} a overíme, či leží v danom intervale. Ak nie, tento interval vynecháme a pokračujeme v kontrole ďalších intervalov. Pre všetky intervaly, v ktorých sa hodnota Q_i^{opt} nachádza v danom intervale vyberieme ten, ktorý má najnižšie náklady podľa (3.25).

4. Aplikácia

4.1 Základné informácie

Aplikácia, ako základný kameň praktickej časti bakalárskej práce, bola vytvorená v programe MS Excel 2007 pomocou makier a Visual Basicu pre Excel. Vďaka podrobnému popisu, ktorý slúži ako manuál k práci s aplikáciou, sa stáva ľahko ovládateľnou pre širokú verejnosť užívateľov.

Je tvorená zo 4 listov – úvod, zľava_A, zľava_B a prechodný_nedostatok. Listy nie sú užívateľovi prístupné, ale sú jej neodmysliteľnou súčasťou, pretože na nich prebiehajú všetky výpočty. Užívateľ komunikuje s aplikáciou pomocou userformov.

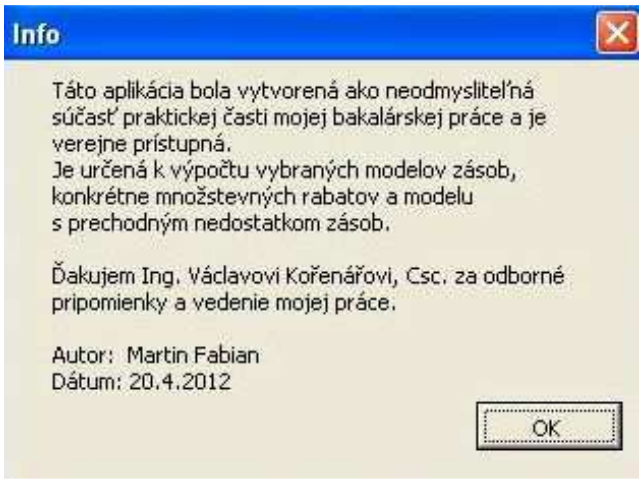
Na úvodnej obrazovke sa nachádzajú 3 tlačidlá, ktoré dávajú užívateľovi možnosť výberu (obr. 3).

Funkcie týchto tlačidiel si podrobne vysvetlíme v ďalšej časti.



Obr. 3 – Úvodná obrazovka

Tlačidlo Informácie zobrazí užívateľovi krátke informácie o programe i autorovi a taktiež možnosť návratu na úvodnú obrazovku (obr. 4).



Obr. 4 - Informácie

Užívateľovi je taktiež umožnené aplikáciu ukončiť. Túto možnosť ponúka tlačidlo Koniec aplikácie. Proti náhodnému stlačeniu tohto tlačidla a následnému nechcenému ukončeniu práce s aplikáciou slúži kontrolná otázka (obr. 5).



Obr.5 – Kontrolná otázka

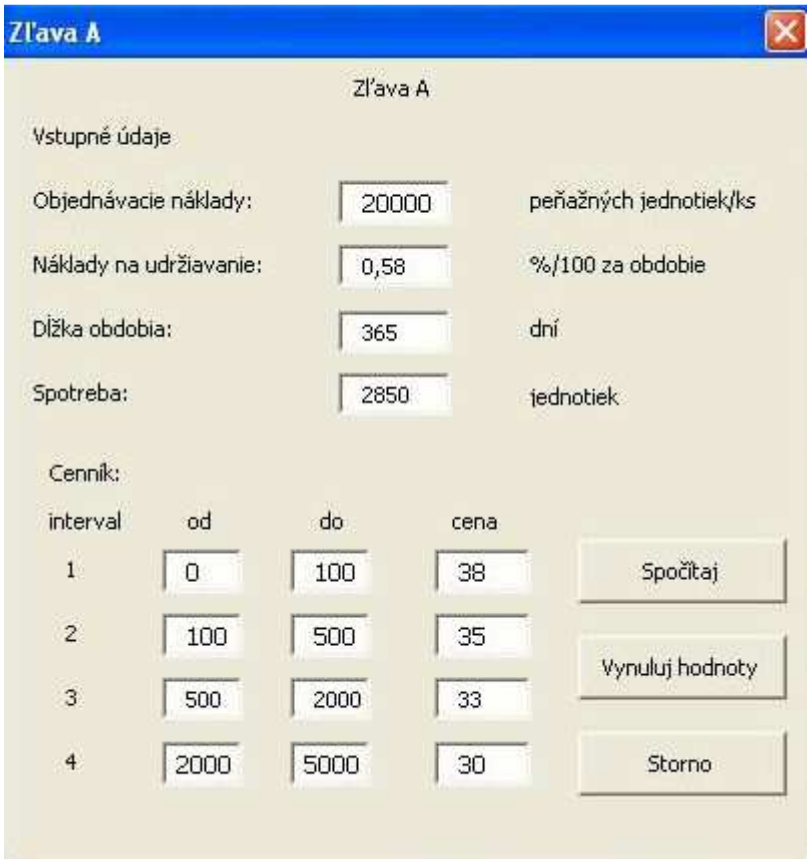
Po stlačení tlačidla Spustiť aplikáciu sa užívateľ dostáva do Menu, kde si vyberá, ktorý typ modelu chce počítať (obr. 6).



Obr.6 - Menu

4.2 Zľava typ A

Ak si užívateľ zvolí prvú možnosť z Menu, dostáva sa k možnosti riešiť model množstevných rabatov – zľava A (obr. 7).

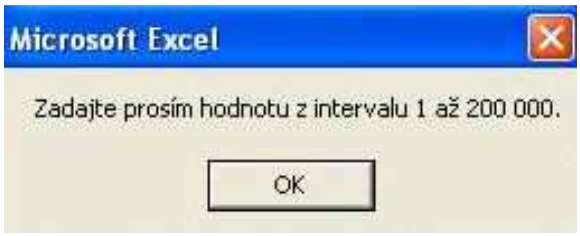


Obr. 7 – Zľava A

Pre výpočet daného modelu je potrebné vyplniť všetky políčka. Ako vstupné údaje – objednávacie náklady, náklady na udržiavanie, dĺžku obdobia a spotrebu, tak aj cenník. Na návrat do Menu opäť slúži tlačidlo Storno. Vynulovať údaje je možné stlačením tlačidla Vynuluj hodnoty.

Políčka, ktoré sú užívateľovi k dispozícii na vyplnenie sú spojené s podmienkami, ktoré užívateľovi dovoľujú vpisovať iba také údaje, pre ktoré má výpočet daného modelu zmysel. Sú to napríklad podmienky, že vpisovať sa môžu iba čísla, konkrétne kladné, ale aj podmienka klesajúcej ceny pri rastúcom množstve objednaného množstva tovaru, ktorá je základným znakom modelu množstevných rabatov.

Pri zadaní údajov mimo interval sa objaví chybové hlásenie (obr. 8- 11). Pre potreby tejto bakalárskej práce som zvolil nasledovné intervaly: objednávacie náklady maximálne 200 000, náklady na udržiavanie v intervale 0-1, pretože ide o percentuálne vyjadrenie, dĺžka obdobia je zhora obmedzená číslom 4000 a spotreba od 0 do 20 000 ks. Tieto intervaly sa dajú ľahkou úpravou meniť, ale pre potreby bakalárskej práce by mali byť dostačujúce.



Obr.8 – Chybové hlásenie (hodnota mimo interval)



Obr. 9 – Chybové hlásenie (hodnota mimo interval)



Obr.10 – Chybové hlásenie (chyba v intervale)



Obr. 11 – Chybové hlásenie (nesprávne vyplnený cenník)

Po správnom vyplnení všetkých údajov a stlačení tlačidla Spočítaj, sa na obrazovke objaví výsledok vo forme msg boxu (obr. 12). Jednotky, v ktorých sú údaje zobrazené, sú uvedené priamo vo výsledkovom msg boxe.



Obr. 12 – Zľava A (výsledky)

V nasledujúcej časti je uvedený kompletný zoznam použitých vzorcov a algoritmus výpočtu. (obr. 13 – obr. 17)

	A	B	C	D	E	F
1						
2			Zľava A:			
3						
4			Vstupné dáta:			
5		Objednávacie náklady		1800	Kč/jednotku	
6		Náklady na udržiavanie		0,15	%/100 za sledované obdobie	
7		Dĺžka obdobia		365	dní	
8		Spotreba		10000	jednotiek	

Obr. 13 – Algoritmus výpočtu (vstupné údaje)

	A	B	C	D	E	F	G
10		Cenník:				optimum v intervale	
11		interval	Qd	Qh	cena	Q opt	je v intervale?
12		1	0	100	5600	=ODMOCNINA((2*$D$5*$D$8)/($D$6*E12))	=KDYŽ(A(F12>C12;F12<D12);"áno";"nie")
13		2	100	200	4000	=ODMOCNINA((2*$D$5*$D$8)/($D$6*E13))	=KDYŽ(A(F13>C13;F13<D13);"áno";"nie")
14		3	200	300	3800	=ODMOCNINA((2*$D$5*$D$8)/($D$6*E14))	=KDYŽ(A(F14>C14;F14<D14);"áno";"nie")

Obr.14 – Algoritmus výpočtu (cenník, optimum v intervale)

	H
10	náklady
11	N(Qopt)
12	=($D$8*E12+0,5*$D$5*$D$6+ODMOCNINA(2*$D$5*$D$6*$D$8*E12))/1000
13	=($D$8*E13+0,5*$D$5*$D$6+ODMOCNINA(2*$D$5*$D$6*$D$8*E13))/1000
14	=($D$8*E14+0,5*$D$5*$D$6+ODMOCNINA(2*$D$5*$D$6*$D$8*E14))/1000

Obr. 15 – Algoritmus výpočtu (náklady)

	I
10	
11	Náklady hranica
12	=KDYŽ(G12="nie";10^6;(($D$8/D12)*($D$5+E13*D12)+0,5*$D$6*($D$5+E13*D12))/1000)
13	=KDYŽ(G13="nie";10^6;(($D$8/D13)*($D$5+E14*D13)+0,5*$D$6*($D$5+E14*D13))/1000)
14	=KDYŽ(G14="nie";10^6;(($D$8/D14)*($D$5+E15*D14)+0,5*$D$6*($D$5+E15*D14))/1000)

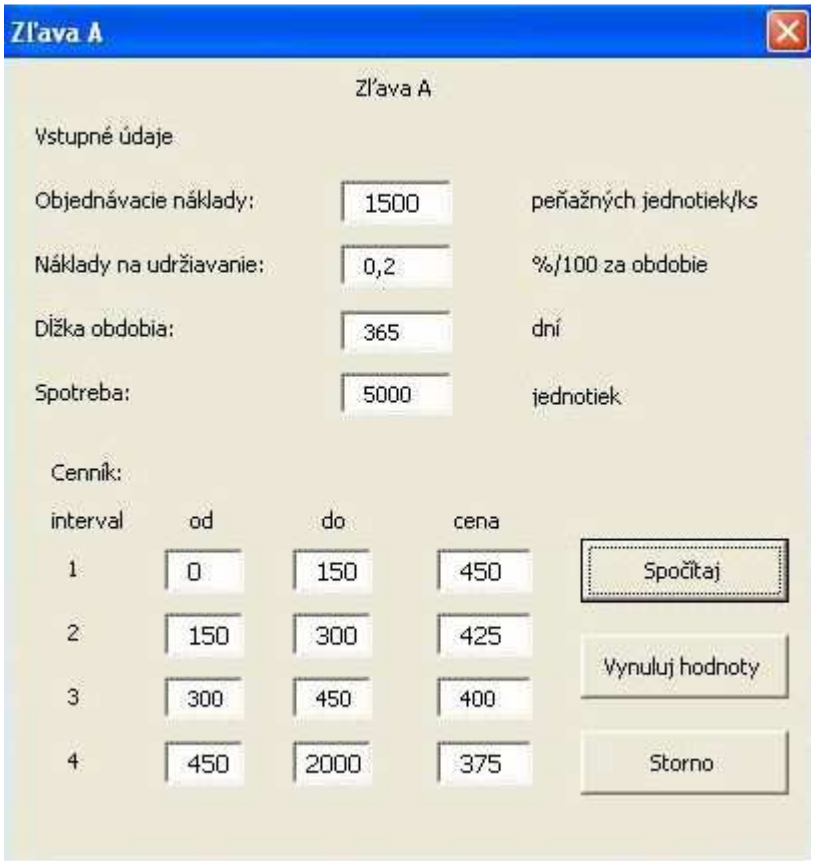
Obr. 16 – Algoritmus výpočtu (náklady hranica)

	J	K
10		
11	optimálna objednávka	Objednávací cyklus
12	=KDYŽ(G12="nie";"-";KDYŽ(H12>I12;D12;F12))	=KDYŽ(J12="-";"-";$D$7/($D$8/J12))
13	=KDYŽ(G13="nie";"-";KDYŽ(H13>I13;D13;F13))	=KDYŽ(J13="-";"-";$D$7/($D$8/J13))
14	=KDYŽ(G14="nie";"-";KDYŽ(H14>I14;D14;F14))	=KDYŽ(J14="-";"-";$D$7/($D$8/J14))

Obr. 17 – Algoritmus výpočtu (optimálna objednávka, dodávací cyklus)

4.2.1 Praktické využitie aplikácie na model množstevných rabatov - zľava A

Pre praktickú ukážku práce s aplikáciou som zvolil nasledovné hodnoty (obr. 18):



Obr. 18 – Praktické využitie – zľava A

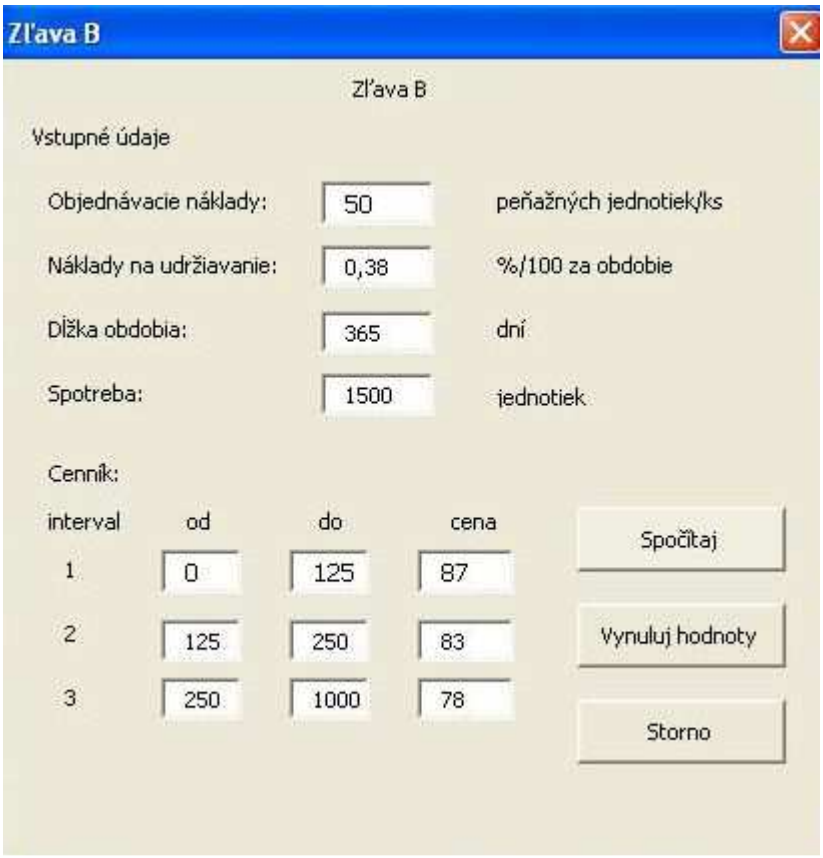
Aplikáciou spočítané a zobrazené výsledky (obr. 19):



Obr. 19 – Výsledky praktickej ukážky (zľava A)

4.3 Zľava typ B

Po stlačení druhého tlačidla zhora v Menu sa užívateľ dostane do modelu množstevných rabatov – zľava B (obr. 20).



Obr. 20 – Zľava B

Práca s týmto typom modelu je presne rovnaká ako so zľavou A. Nachádzajú sa tu tie isté obmedzenia, chybové hlásenia i výpis výsledku je totožný (obr. 21). Rozdiel je iba v algoritmu výpočtu, ktorý následne popíšem (obr. 22 – 27).



Obr. 21 – Zľava B (výsledky)

	B	C	D	E	F
1					
2		**Zľava B:**			
3					
4		Vstupné dáta:			
5	Objednávacie náklady		95	Kč/jednotku	
6	Náklady na udržiavanie		0,18	%/100 za sledované obdobie	
7	Dĺžka obdobia		365	dní	
8	Spotreba		750	jednotiek	

Obr. 22 – Algoritmus výpočtu (vstupné údaje)

	B	C	D	E
10	**Cenník**	**dolná medza**	**horná medza**	**cena**
11	**interval**	**Q(i-1)**	**Q(i)**	**ci**
12	1	0	90	110
13	2	90	450	105

Obr. 23 – Algoritmus výpočtu (cenník)

	F	G	H
10	**(Qi-Qi-1)ci**	**Fi**	**Ai**
11		**0**	
12	=(D12-C12)*E12	=SUMA($F12:F$12)	=$D$5+G11-C12*E12
13	=(D13-C13)*E13	=SUMA($F12:F$13)	=$D$5+G12-C13*E13

Obr. 24 – Algoritmus výpočtu

	I	J
10	**optimum v intervale**	
11	**Qi optimálne**	**je v intervale?**
12	=ODMOCNINA((2*$D$8*H12)/(1*$D$6*E12))	=KDYŽ(A(I12>C12;I12<D12);"áno";"nie")
13	=ODMOCNINA((2*$D$8*H13)/(1*$D$6*E13))	=KDYŽ(A(I13>C13;I13<D13);"áno";"nie")

Obr. 25 – Algoritmus výpočtu (optimum v intervale)

	K
10	**Náklady**
11	**N(Qopt)**
12	=$D$8*E12+ODMOCNINA(2*$D$8*$D$6*E12*H12)
13	=$D$8*E13+ODMOCNINA(2*$D$8*$D$6*E13*H13)+0,5*$D$6*(G12-C13*E13)

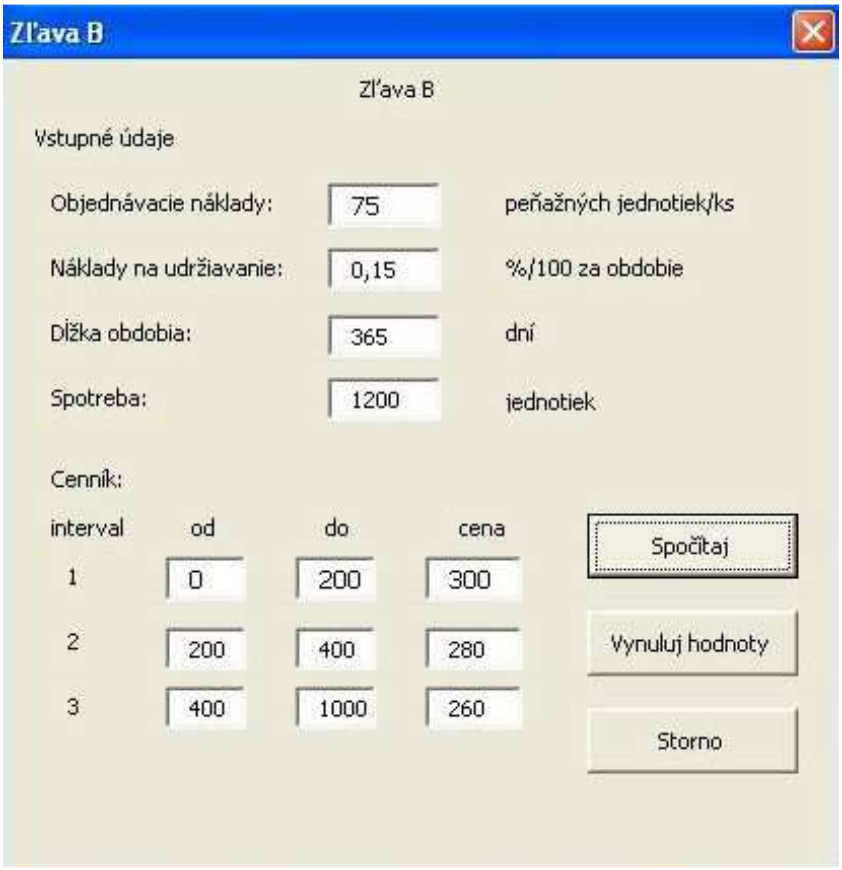
Obr. 26 – Algoritmus výpočtu (náklady)

	L	M
10		
11	**Optimálna objednávka**	**Objednávací cyklus**
12	=KDYŽ(A(J12="áno";K12=$K$15);I12;"-")	=KDYŽ(L12="-";"-";$D$7/($D$8/L12))
13	=KDYŽ(A(J13="áno";K13=$K$15);I13;"-")	=KDYŽ(L13="-";"-";$D$7/($D$8/L13))

Obr. 27 – Algoritmus výpočtu (optimálna objednávka, objednávací cyklus)

4.3.1 Praktické využitie aplikácie na model množstevných rabatov - zľava B

Aplikáciou spočítané a zobrazené výsledky (obr. 28 - 29):



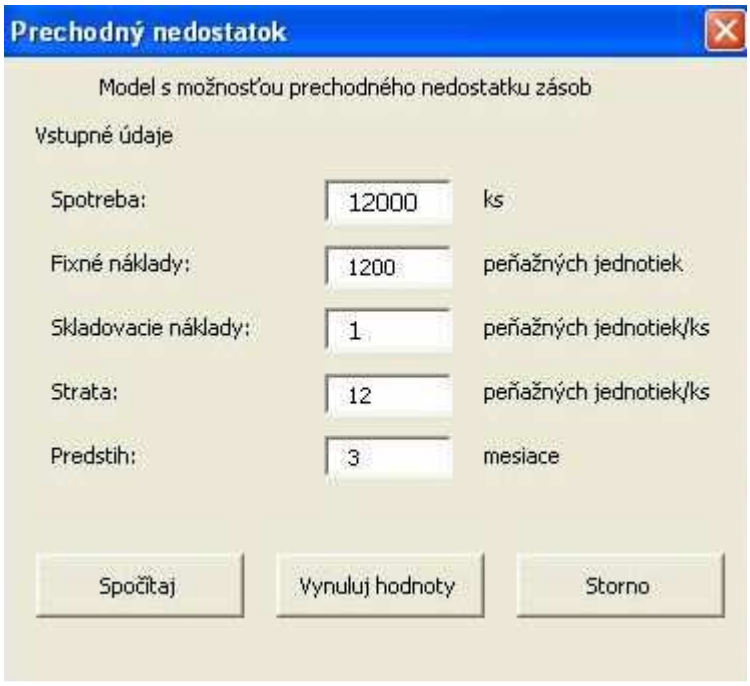
Obr. 28 - Praktické využitie – zľava B



Obr. 29 - Výsledky praktickej ukážky (zľava B)

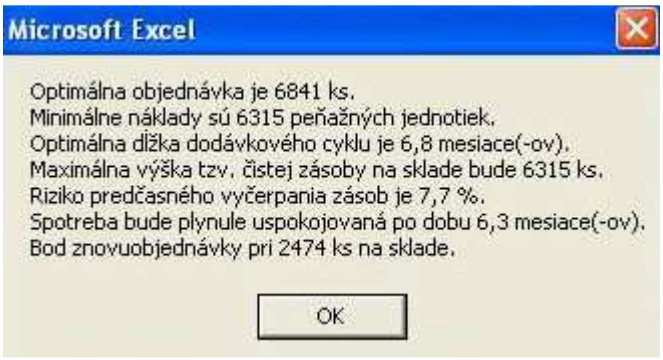
4.4 Model s možnosťou prechodného nedostatku zásob

K riešeniu tohto modelu (obr. 30) sa užívateľ dostane po stlačení predposledného tlačidla v Menu (obr. 6).



Obr. 30 – Model s možnosťou prechodného nedostatku zásob

Tento model rovnako ako obidva predchádzajúce obsahuje podmienky, pri ktorých nedodržaní, užívateľa na nesprávne zadané údaje upozorní chybové hlásenie (obr. 8 - 11). Po výpočte sa výsledok opäť objaví v msg boxe (obr. 31). Rozdiel spočíva znova len v algoritme riešenia (obr. 32 - 33).



Obr. x31 – Prechodný nedostatok (výstup výsledkov)

	B	C	D
2	**Prechodný nedostatok zásob na sklade:**		
3			
4	spotreba	18000	jednotky
5	fixné náklady	1000	Kč
6	skladovacie náklady	1	Kč
7	strata	15	Kč
8	predstih	2	mesiace

Obr. 32 – Algoritmus riešenia – vstupné údaje

	F	G
4	q0=	=ODMOCNINA(C8*C4*C5/C6)*ODMOCNINA((C6+C7)/C7)
5	N0=	=ODMOCNINA(C8*C4*C5/C6)*ODMOCNINA(C7/(C6+C7))
6	t0=	=ODMOCNINA(C8*C4*C5/1)/C4*ODMOCNINA((C6+C7)/C7)*12
7	s0=	=G4*(C7/(C6+C7))
8	β=	=C6/(C6+C7)
9	t1=	=G6*(1-G8)
10	r0=	=C4*(C8/12)-(G4-G7)

Obr. 33 – Algoritmus riešenia (vzorce)

4.4.1 Praktické využitie aplikácie model s prechodným nedostatkom

K praktickej ukážke využitia aplikácie použijem nasledujúce údaje (obr. 34).



Obr. 34 – Praktická ukážka (prechodný nedostatok)

Aplikáciou spočítané výsledky aj s jednotkami vo forme msg boxu (obr. 35).



Obr. 35 - Výsledky praktickej ukážky (prechodný nedostatok)

5. Záver

Podľa zadania bakalárskej práce bolo jej hlavnou náplňou teoreticky popísať vybrané modely zásob a vytvoriť na ich výpočet v programe MS Excel pomocou makier a VBA pre Excel drobnú aplikáciu. Zadanie som splnil tým, že som popísal modely množstevných rabatov zľava A i zľava B a model s možnosťou prechodného nedostatku zásob na sklade.

V aplikácii sa nachádza mnoho obmedzení na vstupy, čo môže evokovať jej zložitosť. Vo svojej podstate je naopak jednoduchá, a jej ovládanie je intuitívne aj pre človeka nepoznajúceho danú problematiku zásob. Jej pozitívum je taktiež to, že Excel, v ktorom je vytvorená, výrazne šetrí čas potrebný pre výpočet oproti ručnému počítaniu.

Nevýhoda aplikácia je v kapacitnom obmedzení a pevne stanovom počte intervalov cenníkov modelov množstevných rabatov. Pre zmenu kapacít a počtu intervalov je potrebná programová úprava.

Aplikáciu som prakticky overil na všetkých 3 modeloch zásob. Výpočet aj zobrazenie výsledkov prebehlo bez problémov.

Táto bakalárska práca mi osviežila nadobudnuté vedomosti z oblasti modelov zásob. Pri vytváraní aplikácie som si precvičil prácu s MS Excel aj tvorbu makier.

Zoznam použitej literatúry

[1] Gros, I.: Kvantitativní metody v manažerském rozhodování. Grada, Praha 2003.

[2] Kořenář, V.: Stochastické procesy. Vysoká škola ekonomická v Praze, Praha 2002.

[3] Unčovský, L.: Stochastické modely operačnej analýzy. Alfa vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava 1980.

[4] Benáčanová, H.: Tvorba aplikací v MS Excel – Materiály ke cvičení. Vysoká škola ekonomická v Praze, 2005.