Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství

Bakalářská práce

Využití modelů teorie zásob pro rozhodování

Luboš Žežulka

Vedoucí: **Ing. Robert Hlavatý, Ph.D**

Doporučený rozsah práce

60-80 stran

Klíčová slova

Řízení zásob, podvolantový modul, logistika, automobilové součástky

---

Doporučené zdroje informací

EMMETT, S. *Řízení zásob : jak minimalizovat náklady a maximalizovat hodnotu.* Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1828-3.

FIALA, P. *Operační výzkum : nové trendy.* Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.* Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-86419-42-8.

LATÝN, P. – SVOBODA, V. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. DOPRAVNÍ FAKULTA. *Logistika.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01325-1.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Robert Hlavatý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 18. 10. 2016

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 10. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2017

Doporučený rozsah práce

60-80 stran

Klíčová slova

Řízení zásob, podvolantový modul, logistika, automobilové součástky

---

Doporučené zdroje informací

EMMETT, S. *Řízení zásob : jak minimalizovat náklady a maximalizovat hodnotu.* Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1828-3.

FIALA, P. *Operační výzkum : nové trendy.* Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.* Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-86419-42-8.

LATÝN, P. – SVOBODA, V. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. DOPRAVNÍ FAKULTA. *Logistika.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01325-1.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Robert Hlavatý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 18. 10. 2016

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 10. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Využití modelů teorie zásob pro rozhodování“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány a uvedeny v seznamu použité literatury na konci práce. Jako autor dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s vytvořením práce neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne ………. ……………………………………………………………………….

Poděkování

Za pomoc, připomínky, trpělivost a projevenou důvěru velmi děkuji mému vedoucímu práce Ing. Robertu Hlavatému, Ph.D a celé své rodině za podporu, která se ukázala jako nezbytná součást této práce.

Využití modelů teorie řízení zásob pro rozhodování
Stock management as a tool for decision making in practice

Souhrn

Bakalářská práce se věnuje problematice spjaté se zásobami. S využitím modelů teorie zásob se snaží minimalizovat náklady spojené se skladováním a pořízením. V literární rešerši jsou jednotlivé modely popsané společně se základními termíny s nimi souvisejícími. V praktické části jsou pak reálná data aplikovaná do modelů, ze kterých jsou vybrány modely nejvíce odpovídající problematice firmy, jež se dále uplatňují při počítání reálného problému. Nakonec jsou v práci shrnuty výsledky a učiněny patřičné závěry.

Summary

The aim of the bachelor thesis is stock control theory. With utilization of models, stock control seeks to minimize the costs of storage and purchase. There are single models described together with basic terms linked with them in the theoretical part. The real data applied to models are then in the practical part. From those, there are selected models that are the most suitable ones for the purposes of a company, followed by solution of the real problem. At the end there is a summary of results with a proper conclusion.

Klíčová slova

Teorie zásob, produkční model, spojitá poptávka, logistika, skladovací náklady, pořizovací náklady, bod znovuobjednávky, deterministické modely, stochastické modely.

Keywords

Inventory theory, production model, continuous demand, logistics, storage costs, initial costs, reordering point, deterministic models, stochastic models.

Obsah

1. Úvod

V době, kdy se každý snaží co nejvíce ušetřit, se hledají způsoby, které by napomohly k celkové maximální efektivitě hospodářství. Jedním z takových procesů je Teorie zásob, která se zabývá optimalizací velikosti objednávané zásoby při určitých nákladech.

Organizace využívající teorii zásob můžou razantně snížit náklady spojené se skladováním a samotným pořízením zásob. První z takových modelů byl vypracován už v roce 1915 a některé organizace tento model využívají dodnes. Postupem času se z tohoto modelu vyvinuly i další modely, které do sebe začaly zahrnovat i věci jako třeba možnou či skutečnou výkonnost linky.

Se zásobami se jistě již potkal každý člověk, ať už to jsou zásoby jídla ve spíži nebo v ledničce, či zásoby materiálu uskladněné ve skladu ve firmě. Tyto firemní zásoby mají nevýhodu v tom, že na sebe váži spoustu finančních prostředků, které mohou být využity jinde. Naopak jejich výhodou je, že umožnují rychlou odpověď na případnou poptávku.

Tato bakalářská práce se věnuje rozboru jednotlivých modelů, společně s termíny spjaté s tématem. V literární rešerši jsou modely popsány teoreticky a v praktické části jsou do modelů dosazena reálná data, následně jsou vybrány modely nejvíce vyhovující problematice, které jsou pak využity při dalších reálných problémech.

UPOZORNĚNÍ: Kvůli ochraně firemního tajemství mohou být data upravena a nemusí představovat reálnou situaci.

2. Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je s využitím teorie řízení zásob nalézt optimální přístup k jejich řízení ve firmě, v tomto případě ve firmě KOSTAL CR s r.o, a ukázat tak výhody, které přináší používání modelů teorie zásob. Dílčími cíli bude seznámení čtenáře s problematikou řízení zásob a následná aplikace teoretických poznatků v praktické situaci.

2.2 Metodika

V teoretické části budou od základu popsány modely teorie zásob, k čemu slouží a jaké potřebují vstupní parametry. Následně bude popsáno, v jakých situacích je nejlepší dané modely používat a v čem se od sebe odlišují. V teoretické části bude čerpáno z odborných zdrojů, a to především z příslušných monografií a článků českých i zahraničních autorů.

V praktické části se budou aplikovat konkrétní modely teorie zásob na reálná data získaná ve firmě KOSTAL CR s r.o., která se zabývá výrobou podvolantových modulů. Pomocí získaných dat, aplikací modelů teorie zásob a funkcemi souvisejícími s těmito modely budou tato data do jednotlivých modelů pomocí jednoznačných parametrů aplikována, aby výsledek byl pro firmu co nejpříznivější a nijak nenarušoval chod podniku. Bude rozebrána i různá problematika spjatá se zásobami a vhodné způsoby, kterými je možné se s návaznými problémy co nejsnáze vypořádat. V závěru bude provedeno zhodnocení výsledků zejména ve vztahu k nákladovým hlediskům v uvedeném podniku.

3.Literární rešerše

3.1 Řízení zásob

„Na logistických řetězcích působí vedle informačních toků a dopravy další subsystémy, které se různou měrou podílejí na výši logistických nákladů a jejich minimalizaci, tedy na synergickém efektu hospodářského výsledek systému. Jsou to činnosti zabezpečující manipulaci s materiály, komponenty pro výrobu a zbožím (dále jen ***manipulace****), udržování a řízení zásob, provozování skladů, a balení, především balení přepravní, která zabezpečuje ochranu zboží před účinky technologie dopravy, ale i komerční, které napomáhá marketingu a odbytu. Z hlediska intenzifikace činností na logistickém řetězci má největší význam udržování a řízení zásob."* [Latýn – Svoboda, 1998, str.47]

3.1.2 Zásoby

Součástí každé výroby jsou nutně zásoby, mezi které spadají: suroviny, základní i pomocné materiály. Dále polotovary, rozpracovaná výroba (polotovary vlastní výroby) a hotové výrobky. Tím, že vyžadují skladování, spotřebovávají kapitálové, pracovní zdroje a prostory, může se taky říct, že jsou chápány jako zdroj plýtvání. Zásoby jsou taky náchylné na zastarání nebo poškození jak vlivem skladovacích podmínek, tak i vlivem manipulace s nimi. Opačnou stranou a tedy klady zásob jsou schopnosti rychlé reakce na zvýšení poptávky nebo třeba krytí nečekaných odchylek od standartu zaviněných například poruchami ve výrobě nebo chybou dodavatelů. [Horáková – Kubát, 1999, str. 67]

3.1.3 Druhy zásob

Latýn a Svoboda (1998) popsali druhy zásob ve své publikaci následovně:

1. *„Zásoby rozpojovací vznikají jako důvod rozpojování hmotného toku mezi jednotlivými články logistického řetězce. Rozpojením výstupu z jednoho článku do vstupu dalšího článku přes vložený vyrovnávací zásobník získávají jednotlivé články řetězce určitou mužnost adaptovat se na okamžité změny vnějších podmínek, např. na změny poptávky na trhu, vlivy povětrnostních změn aj. existují čtyři druhy rozpojovacích zásob:*
    a. *Obratová zásoba*

b. *Pojistná zásoba*
c. *Vyrovnávací zásoba*
d. *Zásoba pro předzásobení*

2. *Zásoby na logistickém řetězci tvoří materiály, komponenty nebo výrobky, které mají konkrétní určení, avšak dosud nedorazili na určené místo, označují se rovněž jaok zásoby nepravé, nebo zásoby na cestě. Jejich charakteristickým rysem je, že během přemístění na přepravním řetězci jsou jakkoliv nepoužitelné do doby, kdy dosáhnou místa určení, avšak váží kapitálové prostředky, člení se dále na:*
    a. *Zásoba dopravní*
    b. *Zásoba rozpracované výroby*
3. *Technologické zásoby tvoří materiály, komponenty a výrobky, které před dalším zpracováním nebo expedicí potřebují určitou dobu skladovat ("uležet"), aby získaly požadované vlastnosti. Jde například o zrání sýrů, piva, vína nebo některých chemikálií, vysoušením dřeva před jeho použitím ve výrobě.*
4. *Strategické zásoby jsou vytvářeny proto, aby zabezpečily přežití podniku při kalamitách v zásobování například v důsledku přírodních katastrof, bojkotu nebo embarga na některé suroviny, materiály a výrobky.*

Spekulativní zásoby vznikají ze snahy docílit zvýšení zisku při nákupu za nízké ceny a prodeji v době, kde ceny opět vzrostou. Může však být i jistým druhem zásoby pro předzásobením v případech, kdy podnik nakoupí suroviny nebo materiály v době, kdy jsou jejich ceny nízké a ze zásoby pak čerpají pro vlastní výrobu." [Latýn – Svoboda, 1998 , str.48]

3.1.4 Logistika

Souhrn činností systematicky zaměřených na získání materiálů z primárních zdrojů a všechny mezipostupy před dodáním konečnému uživateli, s výjimkou vlastních výrobních procesů , to je jinak řečeno Logistika. Pokud uvažujeme předchozí definici logistiky, zahrnuje nadále i dopravu, manipulaci, skladování, balení a všechny s tím spojené informační a řídící procesy. [Latýn – Svoboda, 1998, str.19]

Podle Straky (2013) má logistika následující úlohu: *„Logistika má za úlohu zabezpečit nejvhodnější způsob, analýzu, výběr a realizaci všech činností a strategických a jiných* *rozhodnutí souvisejících s poskytováním produktů k zákazníkovi tak, aby byla dosáhnuto bezporuchové fungování trhu."* [Straka, 2013, str.21]

3.1.5 Aspekty řízení zásob

V zásobách je z většiny vázáno malé, zanedbatelné procento aktiv. Je tomu tak u velkého množství organizací. Optimalizace řízení směřuje ke snížení nákladů souvisejícími se zásobovacími procesy a v dalším případě je užitečná, protože může přispět k částečnému uvolnění takto vázaných prostředků. Hlavními dvěma otázkami podle Jablonského (2004), které vyvstávají v souvislosti s řízením zásob, jsou: [Jablonský, 2004, str. 209]

1. *„V jakém okamžiku objednat novou dodávku dané jednotky zásob?*
2. *Jak velká by měla být tato objednávka?"* [Jablonský, 2004, str. 209]

Emmett (2008)v knize Řízení zásob doplnil ještě další klíčové aspekty.

3. *„Určení výrobků, které budou skladovány a místo kde budou skladovány.*
4. *Udržení stavu zásob, který je potřeba k uspokojení poptávky (tvorbou prognóz poptávky).*
5. *Udržení nabídky."* [Emmett, 2008, str. 44]

Už od dob svých začátků se logistika zajímala o řízení stavu zásob a skladového hospodářství, což je jeden ze základních principů logistiky. V tuto chvíli se na scéně ukázala metodologie zvaná „Teorie zásob", která byla vypracovaná jako teorie již tak rozsáhlého Operačního výzkumu, zabývající se optimalizací zásob. V této teorii se střetávají řešené problémy matematicko-ekonomických modelů, které říkají jak postupovat a jak řešit situace spojené s hromaděním zásob, surovin a výrobků z důvodu zachování plynulosti výrobního procesu, nebo procesu distribučního odběru. [LATÝN – SVOBODA, 1998, str.49]

3.2 Charakteristika modelů zásob

Pro efektivní řízení skladovaného hospodářství je nezbytné zkoumat historický soubor dat, který nám říká, jak se s položkami v minulosti zacházelo, hrubou výnosnost či současnou hodnotu skladu. [Latýn – Svoboda, 1998, str. 52]

Následně Latýn a Svoboda (1998) rozvádí modely zásob: *„Sestava je uspořádána podle minimálního intervalu mezi následnou předpovědí a budoucí objednávkou a dále ukazuje, jaký je celkový obrat, výnosnost a běžná zásoba. Každá položka je hodnocena na podkladě jejího podílu na celkové prodejní hodnotě a frekvenci jejího pohybu. Položky se klasifikují mezi dvěma krajními stavy – vysoká hodnota a malý pohyb. Pak lze pro každou položku určit způsob sledování."* [Latýn – Svoboda, 1998, str. 52]

Jablonský (2004) zase ve své publikaci uvedl, že charakter poptávky po sledované jednotce zásoby, je jednou ze základních charakteristik modelů. Ta se pak rozděluje na poptávku deterministickou a poptávku stochastickou. [Jablonský, 2004, str. 209]

Nadále by se mělo rozhodnout, zda je možné, aby zásoba byla zcela vyčerpána do takové míry, aby nebylo z čeho čerpat. Organizace se musí rozhodnout, zda si podobnou situaci může dovolit nebo si vytvoří pojistnou zásobu, která bude případný nedostatek běžných zásob krýt. [Jablonský, 2004, str. 209]

Jablonský (2004) nadále ve své publikaci uvádí, že je nutno brát v úvahu i čas, který trvá připravit další objednávku, to znamená dobu, která je nutná k přípravě odeslání a dopravě na sklad organizace. Operátor, který tuto dobu vyjadřuje, se nazývá „Pořizovací lhůta dodávky", který může být jak deterministický, tak stochastický. [Jablonský, 2004, str. 209]

3.2.1 Základní strategie

Při řízení objednávek se lze setkat se dvěma základními strategiemi, Jablonský (2004) je popsal následovně:

1. *„Objednávka je stanovena v okamžiku, kdy zásoba klesne pod stanovenou mez. Tato mez se označuje jako bod znovuobjednávky. Při této strategii je třeba plynule sledovat zásoby a při jejím poklesu na stanovenou mez objednat novou dodávku. Je to tedy systém se spojitým sledováním stavu zásoby. V tomto systému mají typicky všechny objednávky stejnou velikost, ale z výše uvedeného plyne, že délka intervalů mezi jejich vystavením se může lišit. Počet objednávek (dodávek za časovou jednotku budeme označovat jako intenzitu objednávek (dodávek).*

2. *Objednávka je vystavována v pravidelných časových intervalech. V tomto případě musí objednavatel sledovat v těchto intervalech velikost zásoby a objednávat podle toho příslušného množství. Jedná se o systém s periodickým sledováním stavu zásob. Při této strategii je konstantní intenzita objednávek, ale liší se jejich velikost.“* [Jablonský, 2004, str. 210]

3.2.2 Náklady

V každé situaci se organizace snaží minimalizovat svoje náklady. V zásobovacích a skladovacích procesech tomu není jinak. Náklady, které se ve skladovací a zásobovací situaci objevují lze klasifikovat jako:

1. *„Skladovací náklady (c_1) jsou náklady vztahující se ke každé jednotce zásoby udržované na skladu po určité jednotlivé časové období. Tyto náklady mohou zahrnovat podíl na pronájmu skladovacích prostor, pojištění, manipulaci, spotřebu energie apod. Stejně tak ale mohou zahrnovat ohodnocení vázanosti peněžních prostředků v zásobách. Vzhledem k tomu, že tyto náklady závisí na objemu skladovaných zásob, označují se jako náklady variabilní.*
2. *Pořizovací náklady (c_2) zásoby jsou náklady, které souvisí s každou objednávkou a tím tedy i každým doplněním skladu. Jedná se o náklady, které nesouvisejí s tím, jaká je velikost objednávky, a proto se někdy označují jako fixní náklady. Tyto náklady zahrnují přípravu objednávky, její vystavení a odeslání, fixní náklady dodavatele apod.*
3. *Náklady z nedostatku zásoby (c_3)jsou náklady, které vznikají v důsledku neuspokojení poptávky. Může to být penále za pozdě dodané zboží odběrateli, ušlý zisk za nezrealizovaný obchod, ztráta související s přerušením výroby při nedostatku polotovarů apod.“* [Jablonský, 2004, str. 210]

3.2.3 ABC analýza

Velmi užitečným krokem je provedení ABC analýzy z hlediska rozdělení materiálu na rychloobrátkove/středněobrátkové/pomaluobrátkové materiály. Tyto materiály pak mohou být rozděleny do skladů, které se mohou cenou za uskladnění výrazně lišit. ABC analýza do sebe zahrnuje i Paretovu analýzu, *„Pojmenovanou po italském ekonomovi, který roku 1906 provedl výpočetní odhad, že 80% majetku spočívá v rukou 20% obyvatel.“* Této analýze se také říká pravidlo 80/20, kde vysoká četnost výskytu v jedné množně proměnných je rovna menší četnosti výskytu v odpovídajících druhé množině proměnných. [Emmett, 2008, str. 38]

Když Paretovo pravidlo v nákupní praxi nestačí, tak se pro účely detailnějšího rozdělení používá ABC analýza. Ta zařazuje jednotlivé komodity, dodavatele, zásoby či položky (dále jen položky) do tří kategorií dle jejich významu. [Církovský, 2013]

„Ať už použijeme kteroukoliv z metod třídění, princip je stejný: vysoké procento například objemu pohybu se nachází v rámci malého počtu řádků rychloobrátkové položky(=velký objem málo řádků) a naopak pomaluobrátkové položky =(malý objem hodně řádků) zahrnují velký počet řádků při nízkém procentu objemu pohybu. Následně se mohou objevit i položky se střední obrátkovostí(=střední objem, střední počet řádků).“ [Emmett, 2008, str. 39]

Jak už bylo řečeno, analýza je důležitá pro rozmístění zásob ve skladu. Z toho vyplývá , že je důležitá i pro celkový skladový plán, náklady a produktivitu. Zejména tomu tak je když se ve skladu provádí velké množství manuálních operací ukládání/ vyskladňování/ přeskladňování.

3.2.4 Teorie zásob

Teorie zásob je ekonomická disciplína, jenž využívá matematický aparát, a to hlavně metody řešení optimalizace. Teorie je rozvíjena především ve dvou rovinách, a to hlavně v oblasti aplikací, ale také při zásobování gigantických korporátních organizací nebo řetězců se složitými hierarchickými zásobovacími strukturami. Ladislav (2005) dále popisuje teorii jako:

„V tomto směru se často spojuje, výsledky matematické teorie optimalizace, a to i těch nejabstraktnějších konstrukcích. Zároveň byla a je teorie zásob dobrým zdrojem podnětných impulsů pro matematiku. Pro příklad lze uvést dynamické programování.“ [Ladislav, 2005, str. 83]

Roman Sterly (2011) pak doplňuje členění: *„Modely teorie zásob lze členit podle různých hledisek. Existují modely statické a dynamické. V případě statického modelu zásob se jedná o* *jedinou dodávku, která když se jednou pořídí, nemůže už být znovu doplněna. Z této zásoby je poté uspokojována potřeba podniku. Pokud je zásoba nedostatečná, vznikají náklady z jejího nedostatku. Naopak při vyšší zásobě vznikají náklady související se zbytkovým množstvím po skončení období.*

V případě dynamického modelu zásob je možné sklad v čase doplňovat. Dále rozlišujeme, jestli lze proces objednávání zásob v čase měnit. V průběhu procesu se sleduje hladina zásob na skladě a to buď kontinuálně, nebo ve vymezených časových intervalech." [Sterly, 2011]

3.2.5 Logické operátory

Logické operátory jsou označeny podle pana Josefa Jablonského (Operační výzkum, 2007).

N – celkové náklady

c_1- skladovací náklady

c_2- pořizovací náklady

c_3- náklady z nedostatku zásoby

q- velikost dodávky

Q- poptávka

t- optimální velikost dodávkového cyklu

r- bod znovuobjednávky

w- pojistná zásoba

s- průměrný nedostatek zásoby

α- pravděpodobnost uspokojení požadavků

β- pravděpodobnost, že požadavek bude muset na uspokojení počkat

γ - úroveň obsluhy

p- intenzita produkce

h- intenzita spotřeby

d- pořizovací lhůta dodávky

3.3 Deterministické modely

Charakter deterministické poptávky je dán tím, že zásoby jsou objednávány v daných a pravidelných časových intervalech. Lze to vyjádřit i příkladem, který uvádí ve své publikaci pan Jablonský: *„Spotřeba polotovarů při výrobě nějakého výrobku je určena objemem výroby, který je předem daný. Poptávka (spotřeba) po těchto polotovarech je tedy deterministická."*[Jablonský, 2004, str. 209]

3.3.1 Model 1 – optimální velikost objednávky

Tento model jinak přezdívaný jako EOQ (economic order quantity), byl formulovaný už v roce 1915 a i přes jeho stáří je v mnoha organizacích používán dodnes. Jeho základní předpoklady popisuje Jablonský (2004) jako:

1. *„Poptávka je známá a je konstantní – označíme jí symbolem Q*
2. *Čerpání zásob ze skladu je rovnoměrné*
3. *Pořizovací lhůta dodávek je známá a konstantní*
4. *Velikost všech dodávek je konstantní – označíme ji symbolem q*
5. *Nákupní cena je nezávislá na velikosti objednávky (neuvažují se množstevní rabaty)*
6. *Není připuštěn vznik nedostatku zásoby (k doplnění skladu dochází v okamžiku jeho vyčerpání)*
7. *K doplnění skladu dochází v jednom časovém okamžiku"* [Jablonský, 2004, str. 212]

V takovém modelu dochází k pravidelným dodávkovým cyklům (viz obrázek 1- Dodávkový cyklus modelu 1). Délka každého cyklu, interval mezi dodávkami, se označuje symbolem t. Každý cyklus pak obsahuje velikost dodávky, která doplní sklad, označenou symbolem q. [Jablonský, 2004, str. 212]

Celkové náklady strategie doplňování skladů lze obecně vyjádřit jako:

$$N(q) = c_1 \frac{q}{2} + c_2 \frac{Q}{q} \tag{1}$$

Optimální úroveň objednávky lze vyjádřit jako:

$$q^* = \sqrt{\frac{2Qc_2}{c_1}} \tag{2}$$

Minimální náklady lze vyjádřit jako:

$$N^* = \sqrt{2Qc_1c_2} \tag{3}$$

Optimální délka dodávkového cyklu jako:

$$t^* = \frac{q^*}{Q} = \sqrt{\frac{2c_2}{Qc_1}} \tag{4}$$

Očekávanou poptávku během pořizovací lhůty dodávky Q_d lze vyjádřit jako:
A bod, kdy by se měla vystavit další objednávka r, lze vyjádřit jako:

$$Q_d = r = \frac{Q}{d} \tag{5}$$

3.3.2 Model 2 – přechodné neuspokojení poptávky

Model 2 se od modelu 1 liší pouze tím, že připouští možnost, ve které je materiál ze skladu vyčerpán a není možné po určitou dobu vůbec čerpat ze skladu zásoby. V tom případě nastává situace, kdy poptávka bude přechodně neuspokojená. V souvislosti s neuspokojenou poptávkou se pan Jablonský zmiňuje o dvou dalších charakteristikách modelu: [Jablonský, 2004, str. 216]

1. *„Délka dodávaného cyklu je $t = t_1 + t_2$, kdy t_1 je interval, kdy zásoba na skladu je a t_2 interval, kdy zásoba na skladu není.*
2. *Maximální výše zásoby na skladu může být pouze (q-s), kdy s je výše neuspokojené poptávky, která se uspokojí ve chvíli, kdy přijdou zásoby na sklad.“* [Jablonský, 2004, str. 216]

Tyto situace lze vidět v příloze na obrázku 2- Dodávkový cyklus modelu 2.

Nákladová funkce modelu 2 v sobě zahrnuje součet tří nákladových položek. Tyto položky v rámci jednoho dodávkového cyklu popisuje Jablonský jako: [Jablonský, 2004, str. 217]

1. *„Skladovací náklady. V rámci jednoho dodávkového cyklu lze tyto náklady vyjádřit, jako součin průměrné zásoby, která je v každém cyklu ve výši (q-s)/2, jednotlivých skladovacích nákladů c_1 a doby t_1, po kterou je zásoba čerpána:*

$$c_1 \frac{q-s}{2} t_1 \tag{6}$$

2. *V každém cyklu dojde k pořízení jedné dodávky, se kterou souvisejí pořizovací (fixní) náklady ve výši c_2.*
3. *Náklady z nedostatku zásoby se mohou v rámci jednoho cyklu odvodit jako součin průměrného nedostatku zásoby, tj. s/2, jednotkových nákladů c_3a doby t_3, po kterou není zásoba k dispozici:“* [Jablonský, 2004, str. 217]

$$c_3 \frac{s}{2} t_2 \tag{7}$$

Optimální velikost dodávky v modelu 2 se dá vyjádřit jako:

$$q^* = \sqrt{\frac{2Qc_2}{c_1}} \sqrt{\frac{c_1 + c_3}{c_3}} \tag{8}$$

Optimální velikost neuspokojené poptávky v modelu 2 se dá vyjádřit jako:

$$s^* = q^* \frac{c_1}{c_1 + c_3} \tag{9}$$

Optimální velikost nákladů v modelu 2 se dá vyjádřit jako:

$$N^* = \sqrt{Qc_1c_2}\sqrt{\alpha} \tag{10}$$

Optimální velikost dodávkového cyklu v modelu 2 se dá vyjádřit jako:

$$t^* = \sqrt{\frac{2c_2}{Qc_1}}\sqrt{\frac{1}{\alpha}} \tag{11}$$

„Kde α je vyjádřením poměru doby, ve které je požadavek po zásobě uspokojen, k celkové délce cyklu (pravděpodobnostní uspokojení požadavku), a β vyjadřuje poměr délky intervalů, ve kterém požadavek nemůže být okamžitě uspokojen k celkové době (pravděpodobnost, že požadavek bude muset na uspokojení čekat až do příchodu další objednávky na sklad). Zřejmě bude platiti že $\alpha + \beta = 1$." [Jablonský, 2004, str. 219]

$$\alpha = 1 - \beta = \frac{c_3}{c_1 + c_3} \tag{12}$$

$$\beta = \frac{c_1}{c_1 + c_3} \tag{13}$$

3.3.3 Model 3 – produkční model

Produkční model vychází ze stejných předpokladů jako model 1. Na rozdíl od tohoto modelu však doplnění skladu není jednorázové – dodávka nepřichází do skladu v jednom okamžiku. Celý dodávkový cyklus se zde rozpadá na dva intervaly.

Produkční model tedy pracuje na stejném základu jako model 1, avšak s tou výjimkou že zboží/materiál nepřichází do skladu jednorázově, ale dodávkový cyklus t se zde dělí na dva intervaly, které Jablonský (2004) popisuje jako:

1. *„První o délce t_1 se doplňuje rovnoměrně na sklad a zároveň dochází k jeho čerpání. (intenzita produkce musí být větší než intenzita spotřeby)*
2. *Druhý o délce t_2 se pouze čerpá ze skladu, po jejím vyčerpání startuje nová výrobní dávka a celý cyklus se opakuje.*

Nepředpokládá se možnost vzniku nedostatku zásoby." [Jablonský, 2004, str. 221]

Tento model bývá v angloamerické literatuře popisován jako POQ (production order quantity) a je typicky popisován jako produkčně spotřební. Jedná se v něm o to, stanovit počet maximální možné výroby, ale také stanovit výrobu která je skutečně možná. Jablonský (2004) problematiku popisuje následovně*:" Jedná se o to, stanovit objem výrobní dávky q a intervaly mezi dvěma po sobě následujícími dávkami tak, aby byla uspokojena roční poptávka ve výši Q."* Veličiny musí být stanoveny tak, aby byly minimalizovány celkové náklady, skládající se ze dvou položek (skladovací a variabilní náklady) jedné výrobní dávky. Tento cyklus je znázorněn v příloze na Obrázku 3 – Cyklus modelu 3. [Jablonský, 2004, str. 222]

Nákladová funkce má u modelu 3 tvar:

$$N(q) = c_1 \frac{p-h}{p}\frac{q}{2} + c_2 \frac{Q}{q} \tag{14}$$

Optimální objem výrobní dávky je zapsán jako:

$$q^* = \sqrt{\frac{2Qc_2}{c_1}}\sqrt{\frac{p}{p-h}} \tag{15}$$

Optimální délka cyklu mezi dvěma výrobníma dávkami je zapsán jako:

$$t^* = q^*/Q \tag{16}$$

Dodávkový cyklus t_1 a t_2 lze vyjádřit jako:

$$t_1 = \frac{q}{p} \tag{17}$$

$$t_2 = t - t_1 \tag{18}$$

V této části příkladu se rozhoduje, zda je $t_2 \leq d$ pokud ano $d = r$, pokud ne:

$$r = (t^* - d)(p - h) \tag{19}$$

Maximální výši materiálu na skladu během celého dodávkového cyklu lze vyjádřit jako:

$$(p - h) * t_1 \tag{20}$$

Minimální náklady zjistíme pomocí vzorce:

$$N^* = \sqrt{2Qc_1c_2}\sqrt{\frac{p-h}{p}} \tag{21}$$

Kde p je intenzita produkce a h intenzita spotřeby (předpokládáme $p > h$).

3.3.4 Model 4 – množstevní rabaty

Uvažujme nyní, že nákupní cena je závislá na objemu objednávky, tedy naopak než tomu bylo v modelu 1. Model 4 předpokládá, že dodavatel nabízí zboží, jehož cena se rozděluje do několika skupin podle toho, kolik si daného zboží objednáme. U objednávky, která převýší stanovenou mez, bude nižší nákupní cena a tím i spojené skladovací náklady c_1, které ve většině případů bývají vyjádřeny procentem z nákupní ceny. Nákladovou funkci pak Jablonský (2004) popsal jako:

$$N(q) = c_1^q \frac{q}{2} + c_2 \frac{Q}{q} + c^q Q \tag{22}$$

Kde c^q je nákupní cena jednotky zásoby při objednávce objemu q a c_1^q jsou jednotkové skladovací náklady odvozené od pořizovací ceny c_1^q . [Jablonský, 2004, str. 225]

Předpokládáme, že je definováno v diskontních kategoriích. Potom dále Jablonský rozvíjí algoritmus výpočtu optimální výše objednávky v modelu s diskontními rabaty následovně:

1. *„Pro každou diskontní kategorii vypočteme optimální velikost objednávky $q_1^*, q_2^*, \dots \dots \dots, q_k^*$ podle vztahu*

   $q_i^* = \sqrt{\frac{2Qc_2}{c_1^q}}\ i = 1{,}2, \dots \dots \dots, k.$

2. *Jsou-li některé optimální velikosti objednávek $q_1^*, q_2^*, \dots \dots \dots, q_k^*$ příliš nízké pro to, aby spadaly do příslušné diskontní kategorie, zvýšíme je na dolní mez dané kategorie*
3. *Jsou-li některé optimální hodnoty $q_1^*, q_2^*, \dots \dots \dots, q_k^*$ příliš vysoké a přesahují horní hranici dané diskontní kategorie, nemusíme je v dalším výpočtu vůbec uvažovat, neboť nemohou být v žádném případě optimální*
4. *Pro každou hodnotu $q_1^*, q_2^*, \dots \dots \dots, q_k^*$ vypočteme celkové náklady podle nákladové funkce množstevních rabatů. Optimální výše objednávky je potom ta, pro kterou vychází nejnižší celkové náklady."* [Jablonský, 2004, str. 225]

3.4 Stochastické modely

Velikost stochastické, neurčité poptávky se dá odhadnout pouze podle určité pravděpodobnosti. Klasickým případem stochastické poptávky je například poptávka po zboží nově uváděné na trh. [Jablonský, 2004, str. 209]

3.4.1 Model 1 – stochastická spojitá poptávka

Předpokládejme stejný model s předpoklady jako v prvním deterministickém modelu s tím rozdílem, že poptávka je stochastická, tzn.: *" Výše poptávky daném časovém období je náhodná veličina s jistým pravděpodobnostním rozdělením".* Dále uvažujme systém s plynulým sledováním skladu zásob tzn.: *" Objednávka je vystavována v okamžiku, kdy zásoba na skladu klesne pod stanovenou mez r, která se označuje jako bod znovu objednávky."* Předpokládejme taky konstantní pořizovací lhůtu dodávky d. Vzhledem k variabilitě poptávky během pořizovací lhůty dodávky může v tomto modelu dojít k dvěma případům. Následující případy popisuje Jablonský (2004) jako:

1. *„Poptávka během pořizovací lhůty dodávky bude nižší než bod znovuobjednávky – nová dodávka přijde tedy na sklad v okamžiku, kdy je stav skladu kladný (nedochází k neuspokojení požadavků). Viz cyklus 1., viz příloha obrázek 4.*
2. *Poptávka během pořizovací lhůty dodávky je vyšší než bod znovuobjednávky – během pořizovací lhůty dodávky bude tedy zásoba vyčerpána a dojde k částečnému*

neuspokojení požadavků. Tento případ je ukázán na obr v 2. Cyklu, viz příloha obrázek 4.“ [Jablonský, 2004, str. 228]

V této souvislosti lze zavést nový pojem – úroveň obsluhy. Úroveň obsluhy je pravděpodobnost, že v rámci jednoho cyklu nedojde k neuspokojení požadavků. Úroveň obsluhy budeme označovat symbolem γ (gama). Je-li úroveň obsluhy $\gamma = 0.5$, potom neuspokojení požadavků dochází průměrně v každém druhém cyklu. Při úrovni obsluhy γ=0,95 nastává neuspokojení požadavků pouze průměrně v jednom za 20 cyklů.

Tento model je založen na stejných vzorcích jako Model 1 – Optimální výše objednávky, rozdíl je pouze v tom že se veličiny jinak jmenují a označují.

Snížení pravděpodobnosti neuspokojení požadavků- zvýšení úrovně obsluhy:

$$r_{\gamma} = r^{*} + w \tag{23}$$

Kde w je pojistná zásoba a je třeba ji vytvořit tak aby platilo:

$$w \geq z_{\gamma} q_{d} \tag{24}$$

Objem poptávky během pořizovací lhůty dodávky, který nebude s pravděpodobností γ překročen, se dá vyjádřit jako:

$$Od^{*} = z_{\gamma} q_{d} + r^{*} \tag{25}$$

Nákladová funkce má stejný tvar jako u Modelu 1 – Optimální velikost objednávky, s tou výjimkou, že se přičítá hodnota, kterou lze vyjádřit jako:

$$w * c_{1} \tag{26}$$

3.4.2 Model 2 – optimalizace jednorázově vytvářené zásoby

Model, který bude popsán v této části, může být užitečný tehdy, stojí-li uživatel před problémem vytvořit na počátku nějakého období zásobu, kterou nelze již dále v průběhu období doplňovat (nebo je ji možné doplňovat jen s nějakými dodatečnými náklady). Poptávka v tomto období však není deterministická, ale lze jí popsat pouze s nějakými pravděpodobnostním rozdělením s danou střední hodnotou a směrodatnou odchylkou. Při popisu poptávky lze přitom vycházet například ze zkušenosti minulých období, ze zpracovaných marketingových studií apod. S problémy uvedeného druhu se lze setkat poměrně často především v obchodě – vytvoření počáteční zásoby sezónního zboží (umělé či standardní vánoční stromky, sportovní potřeby) nebo zboží, které podléhá relativní rychlé zkáze (ovoce, květiny, pečivo). Vzhledem k neurčité poptávce mohou po vytvoření počáteční zásoby ve výši q nastat následující tři případy. [Jablonský, 2004, str. 231]

1. *Skutečná poptávka Q se ukáže být v daném období nižší než q:*

   Potom část zásoby ve výši (q-Q) zůstává na skladu.

   $$c_1 = nákupní\ cena + dodatečné\ jednotkové\ náklady - zůstatková\ cena$$

2. *Skutečná poptávka Q se ukáže být v daném období vyšší než q:*

   Neuspokojeno zůstává posledních (Q-q) požadavků.

   $$c_2 = prodejní\ cena - nákupní\ cena\ -\ dodatečné\ jednotkové\ náklady$$

3. *Skutečná poptávka q je rovna vytvořené zásobě q:*

   Nevznikají žádné náklady ani ztráty. [Jablonský, 2004, str. 232]

V uvažovaném modelu je možno dokázat, že minimální úroveň střední hodnoty je dosažena, jestliže pro úroveň obsluhy γ platí:

$$\gamma = \frac{c_2}{c_1 + c_2} \qquad (27)$$

Počáteční zásoba q^* se podle toho vytvoří v takové výši, pro kterou platí:

$$P\{Q \leq q^*\} \geq \gamma \qquad (28)$$

[Jablonský, 2004, str. 232]

4. Praktická část

4.1 Specifikace obdržených dat

Původem německá firma, která byla do bakalářské práce vybrána, působí na českém trhu již řadu let a je výrobcem a dodavatelem podvolantových modulů pro automobilky po celém světě. Tento díl je umístěn na řídící tyči pod volantem a obsahuje funkční prvky jako např. páčku blinkru a stěrače, iniciátor airbagu, zámek pro zapalování, ale i další elektrické a mechatronické komponenty.

Data, která jsou v práci využita, byla dodána ve zcela anonymním formátu a byla již setříděna ABC analýzou podle toho, zda se jedná o vysoko, středně nebo nízko obrátkové zásoby. U dat byla uvedena: pořizovací cena $c2$, skladovací cena $c1$, která je fixní, přibližná roční poptávka, množství v balení, přibližně kolik výrobků se v jedné várce objednává a jak často se daná várka objednává.

4.2 Aplikace Deterministických modelů s reálnými daty

4.2.1 Model 1 – Optimální velikost objednávky

Firma nevyrábí jenom výrobky pro nové vozy, někdy si zákazník objedná i moduly pro případ, že bude muset nějaký modul opravovat nebo vyměňovat. Z tohoto případu taky vyplývá první případ, kdy si zákazník objednal 400 modulů pro případ opravy. Na objednávku nespěchá a chce ji doručit během roku. Jedna ze součástek, kterou firma potřebuje k výrobě takového modulu, má následující specifikace: do balení se vejde 10 kusů, fixní pořizovací náklady byly stanoveny ve výši 3327,0442Kč a skladovací náklady za rok pro jedno balení činí 131,4 Kč ve skladu pro rychloobrátkové výrobky. Podle vzorců číslo (1,2,3) by pak situace vypadala následovně.

$$q = \sqrt{\frac{2 * 40 * 3327{,}0442}{131{,}4}} = 45$$

$$t = \frac{45}{40} = 1{,}125 * 365 = 410{,}625$$

$$N = 131{,}4 * \frac{45}{2} + 3327{,}0442 * \frac{40}{45} = 5913{,}83$$

Z toho vyplývá, že by se mělo objednávat 45 balení každých 411 dní při nákladech 5913,83Kč. Bohužel každý modul se skládá z mnohem více součástek a firma vyrábí pro velké množství zákazníků. V tomto případě není možné si dovolit objednávat jednou za více než rok tři palety (16 krabic na paletu) kvůli kapacitě skladu. Kapacita skladu je převážně využívaná na hlavní zakázky, proto by bylo efektivnější objednat jednou měsíčně jednu paletu a zakázku tak za 3 měsíce vyřídit.

4.2.2 Model 2 – Přechodné neuspokojení poptávky

Model 2 vyžaduje výrobek, u kterého je možné, že se zásoby vyčerpají a na skladě nejsou ani v případě, že je ho nutně potřeba. S tím vznikají náklady z neuspokojené poptávky ukázané na následujícím reálném případu.

Firma obdržela objednávku. Automobilce docházejí zásoby modulů a během roku chce své zásoby doplnit. Objednala si 2800 modulů, které jsou opatřeny jedním zvláštním systémem, na který je potřeba součástka, která se dováží v krabici po 60 kusech a fixní pořizovací náklady jsou 7863,12 Kč. Skladovací náklady na rok jsou 131,4 Kč a náklady z neuspokojené poptávky byly stanoveny na 8562 Kč na jednu krabici za rok. Pořizovací lhůta dodávek je fixní a činí jeden měsíc. Podle vzorců číslo (5-13) by pak situace vypadala následovně.

$$\alpha = \frac{8562}{8562 + 131{,}4} = 0{,}9848$$

$$\beta = 1 - \alpha = 0{,}0152$$

Z toho je patrné, že poměr doby, kdy je požadavek uspokojován, je mnohem větší než poměr doby, kdy požadavek uspokojen není.

$$q = \sqrt{\frac{2 * 47 * 7863{,}12}{131{,}4}} * \sqrt{\frac{131{,}4 + 8562}{8562}} = 75{,}5737$$

$$s = 75{,}5737 * 0{,}0152 = 1{,}14572$$

$$q - s = 74{,}42798$$

$$Q_d = \frac{47}{12} = 3{,}9166$$

Ideální by tedy bylo, kdyby firma doplnila své zásoby právě ve chvíli, kdy dojde k neuspokojení poptávky po 1,14 balení (68kusech). Ale protože je očekávaná poptávka v průběhu pořizovací lhůty rovna 3,9166 balení (235 kusů), bude se muset objednávka vystavit právě ve chvíli, když dosáhne zásoba dílů hodnoty 2,77 balení (166 kusů) (viz následující vzorec).

$$r = 3{,}9166 - 1{,}14572 = 2{,}77088$$

Nákladová funkce a délka dodávkového cyklu pak bude vypadat následovně:

$$N = \sqrt{2 * 47 * 131{,}4 * 7863{,}12} * \sqrt{0{,}9848} = 9779{,}87$$

$$t = \frac{75{,}5737}{47} = 1{,}60795 * 365 = 586{,}9$$

Náklady související s touto strategií tedy činí 97779,87 Kč a zásoby by se měly objednávat každých 586 dní.

Podobně jako u prvního modelu vyšlo, že by bylo vhodné jednou za rok a půl objednat jednorázovou objednávku přibližně 76 balení. Bohužel není možné, aby na skladě rok a půl leželo 5 palet, které by se pomalu zpracovávaly a posílaly do výroby. Situace by se měla řešit tak, aby ve skladu bylo přidělené místo pro jednu paletu, přímo pro tento díl. Na této paletě by se postupně doobjednávala balení s díly podle denní spotřeby, dokud by nebyla objednávka splněna.

4.2.3 Model 3 – Produkční model

Model 3 požaduje znalost počtu výrobků, které se dají na dané lince vyrobit. Také je potřeba znát, kolik se skutečně vyrobí, viz následující příklad.

Firma Kostal přijala objednávku na celoroční dodávky od odběratelů, kteří chtějí montovat základní moduly do aut se základní výbavou (tento díl se využívá pro několik značek najednou, proto se objednává v takovém množství). Požadavek je na 1000000 balení modulů. K tomu je potřeba několik součástek. Z nichž má základní součástka následující specifikace. Skladovací náklady jsou 131,4 Kč, fixní pořizovací náklady byly stanoveny na 59 879,424 Kč a doba, za kterou je jedna dodávka připravena jsou 3 dny. Maximální výkonnost linky je 4500 zpracovaných balení za den. Kvůli technickým nebo personálním problémům se však bere v úvahu jen 85% maximální výkonnosti, tj. 3825 balení. Na problematiku použijeme vzorce číslo (5,14-21).

$$q = \sqrt{\frac{2 * 1000000 * 59879,424}{131,4}} * \sqrt{\frac{4500}{4500 - 3825}} = 77948,99$$

$$t = \frac{77948,99}{1000000} * 365 = 28,45$$

Optimální délka intervalu mezi dvěma dodávkami je tedy 28,45 dní.

$$t_1 = \frac{77948,99}{4500} = 17,32$$

$$t_2 = 28,45 - 17,32 = 11,13$$

$$d > t_2$$

Výrobní cyklus z t trvá tedy 17,32 dní a spotřební zhruba 11,13 dní.

$$(p - h)t_1 = 675 * 17,32 = 11691$$

Pokud trvá připravení další dodávky 3 dny, pak tedy platí, že dodávka je připravena 10x do měsíce to je 10*12=120.

$$(Q_d = \frac{1000000}{120} = 1000000 * \frac{1}{120} = 8333,3333)$$

$$r = (28,45 - 10)(4500 - 3825) = 12453,73$$

Maximální počet kusů balení na skladu během celého cyklu bude 11691 a objednávka by se měla vystavit v okamžiku, kdy počet kusů na skladě klesne na 12454 ks.

$$N = \sqrt{2 * 1000000 * 59879,424 * 131,4} + \sqrt{\frac{4500}{4500 - 3825}} = 3966904,73$$

V poslední řadě nákladová funkce ukazuje částku 1768194,377 Kč, která udává naše celkové náklady. Pokud známe maximální výkon linky dané firmy, lze tuto metodu považovat za nejvíce efektivní

4.2.4 Model 4 – Množstevní rabaty

Na firmu Kostal CR vzorce z Modelu 4 nejdou použít z důvodu fixních cen uskladněných materiálů. Cena uskladnění není odvozena od cen různých materiálů, je domluvena s provozovatelem skladu, a to v přesné výši za jednu krabici nebo za jednu paletu, nezávisle na materiálu.

4.3 Aplikace Stochastických modelů s reálnými daty

4.3.1 Model 1 – Stochastická spojitá poptávka

Firma přijala objednávku od odběratele a předpokládá se, že průměrná roční poptávka bude 10000 ks balení modulů se směrodatnou odchylkou 500 ks balení. Pořizovací lhůta dodávky činí něco okolo jedné poloviny měsíce (1/24 roku). Model následující situace bude podle vzorců číslo (2,3,23-26) vypadat následovně:

$$u_d = \frac{10000}{24} = 416{,}6$$

$$O_d = \frac{500}{24} = 20{,}8333$$

Poptávka a směrodatná odchylka poptávky během pořizovací lhůty dodávky je uvedena v předchozích dvou vzorcích. Následně je uvedena optimální výše poptávky a bod znovuobjednávky, která se vypočítá pomocí vzorců z Modelu 1, v sekci deterministické modely.

$$q = \sqrt{\frac{2 * 10000 * 38434{,}8}{131{,}4}} = 2418{,}3837$$

$$r = \frac{10000}{36} = 416{,}6$$

Poptávka během pořizovací lhůty má normální rozdělení $N(u_d; O_d)$, firma se snaží udržet úroveň obsluhy na 85% a potom musí vytvořit pojistnou zásobu w, uvedenou níže. Hodnota $z_{0,85}$ je uvedena v tabulce v příloze na obrázku 5.

$$N(u_d; O_d) = (416{,}6; 20{,}8333)$$

$$w \geq z_{0,85} * O_d = 1{,}036 * 20{,}8333 = 21{,}5832$$

$$r + w = 416 + 21{,}5832 = 438{,}1832$$

$$N = \sqrt{2 * 10000 * 131{,}4 * 38434{,}8} = 317815{,}44$$

$$N^* = 317815{,}44 + 2836{,}0454 = 320651{,}4854$$

V uvedeném příkladu je tedy nutné objednat nové zásoby v okamžiku, kdy zásoba klesne pod 438 ks. Při úrovni obsluhy 85% budou náklady současné strategie N^*=320651 Kč.

4.3.2 Model 2 – Optimalizace jednotlivě vytvářené zásoby

(Data v příkladu nejsou reálná, příklad slouží pouze pro demonstraci daného modelu)

Firma se připravuje na vpád nového výrobce sportovních aut na trh, a proto se management rozhodl udělat zásobu modulů, které by podle předběžných informací měly pro daný vůz být nejvhodnější. Pokud by však firma tento výrobek neprodala, má v záloze odběratele, který si výrobky vezme za sníženou cenu. V případě, že se ukáže, že má výrobků málo a nemůže uspokojit poptávku, přichází firma o 20 000 Kč za každý modul, v opačném případě, kdy nebude odběratel chtít tolik modulů, firma přichází o 6 000 Kč za každý modul. Střední hodnota byla stanovena na 150 a směrodatná odchylka na 5. Příklad pak podle vzorců číslo (27,28) bude vypadat:

$$\gamma = \frac{6000}{20000 + 6000} = 0{,}2307$$

$$q = 150 - 0{,}738 * (5) = 146{,}31$$

Hodnota $z_{0,2307}$ je podle „Tabulky hodnot distribuční funkce standardizovaného normálního rozdělení $N(0,1)$" rovna hodnotě -0,738. Potom by se měla hodnota objednaných součástek potřebných k výrobě modulu rovnat 146 Ks.

4.4 Aplikace vhodných modelů pro problematiku teorie zásob v dané firmě

Nejvíce vyhovující deterministický model pro zásoby, které se objednávají ve vždy stejných časových intervalech, je Model 3 – Produkční model, který do sebe zahrnuje jak zásoby tak bere v úvahu i možnosti výkonů linky, které se dají/nedají využít. Společně se Stochastickým modelem 1 - Stochastická spojitá poptávka pak tvoří dvojici modelů nejvíce vyhovujících pro další práci s daty. Proto se v následující části bude pojednávat právě o těchto modelech.

Tato část se pomocí těchto modelů bude přibližovat alespoň části procesů, které se v každé firmě opakují každý den.

4.5 Aplikace deterministického Produkčního modelu

Firma přijala objednávku na 1000000 modulů s příplatkovou výbavou. K této rozšířené výbavě je potřeba třech výjimečných součástek, které se dodávají: první v balení po 20 kusech, druhá v balení po 3 kusech a třetí v balení po 46 kusech. Fixní pořizovací náklady byly stanoveny následovně: první součástka 112476,84Kč, druhá součástka 38973,65Kč a třetí součástka 29669,34Kč. Pro každé balení je roční skladovací náklad 131,4 Kč. První dodávka součástky může být připravena za 3 dny druhá za 10 dní a třetí dvakrát za měsíc. Všechny 3 moduly se dávají dohromady na lince, která je schopna denně vyrobit 4500 ks výrobků, ale kvůli různým personálním nebo technickým problémům se předpokládá výkonnost linky pouze na 85%, 3825 výrobků za den.

4.5.1 Součástka 1

Objednávka činí tedy 50000=(1000000/20) balení a linka dokáže zpracovat 225 možných balení, doopravdy tedy 191,25.

$$q = \sqrt{\frac{2 * 50000 * 112476{,}84}{131{,}4}} * \sqrt{\frac{225}{225 - 191{,}25}} = 23888{,}42$$

$$t = \frac{23888,42}{50000} * 365 = 174,39$$

Optimální délka intervalu mezi dvěma dodávkami je tedy 174,39 dní.

$$t_1 = \frac{23888,42}{225} = 106,17$$

$$t_2 = 174,39 - 106,17 = 68,22$$

$$d \leq t_2$$

Výrobní cyklus z t trvá tedy 106,17 dní a spotřební zhruba 68,22 dní.

$$(p - h)t_1 = 33,75 * 106,17 = 3583,24$$

Pokud trvá připravení další dodávky 3 dny, pak tedy platí, že dodávka je připravena 10x do měsíce to je 10*12=120.

$$(Q_d = \frac{50000}{120} = 50000 * \frac{1}{120} = 416,667)$$

$$r = (174,39 - 120) * (225 - 191,25) = 1835$$

Maximální počet kusů balení na skladu během celého cyklu bude 3583,24 a objednávka by se měla vystavit v okamžiku, kdy počet balení na skladě klesne na 1835 ks.

$$N = \sqrt{2 * 50000 * 112476,84 * 131,4} * \sqrt{\frac{225}{225 - 191,25}} = 3138944,279$$

V poslední řadě nákladová funkce ukazuje částku 3138945 Kč, která udává naše celkové náklady za součástku 1.

4.5.2 Součástka 2

Objednávka činí tedy 333334=(1000000/3) balení a linka dokáže zpracovat 1500 možných balení, doopravdy tedy 1275.

$$q = \sqrt{\frac{2 * 333334 * 38973{,}65}{131{,}4}} * \sqrt{\frac{1500}{1500 - 1275}} = 36307{,}56$$

$$t = \frac{36307{,}56}{333334} * 365 = 39{,}76$$

Optimální délka intervalu mezi dvěma dodávkami je tedy 39,76 dní.

$$t_1 = \frac{36307{,}56}{1500} = 24{,}21$$

$$t_2 = 39{,}76 - 24{,}21 = 15{,}55$$

$$d > t_2$$

Výrobní cyklus z trvá tedy 24,21 dní a spotřební zhruba 15,55 dní.

$$(p - h)t_1 = 225 * 24{,}21 = 5447{,}25$$

Pokud trvá připravení další dodávky 10 dny, pak tedy platí, že dodávka je připravena 3x do měsíce to je 3*12=36.

$$(Q_d = \frac{333334}{36} = 333334 * \frac{1}{36} = 9259{,}28)$$

$$r = (39{,}76 - 36) * (1500 - 1275) = 846$$

Maximální počet kusů balení na skladu během celého cyklu bude 5447,25 a objednávka by se měla vystavit v okamžiku, kdy počet balení na skladě klesne na 846 ks.

$$N = \sqrt{2 * 333334 * 38973{,}65 * 131{,}4} * \sqrt{\frac{1500}{1500 - 1275}} = 4770813{,}05$$

V poslední řadě nákladová funkce ukazuje částku 4770813,05 Kč, která udává naše celkové náklady za součástku 2.

4.5.3 Součástka 3

Objednávka činí tedy 21739=(1000000/46) balení a linka dokáže zpracovat 97 možných balení, doopravdy tedy 82,45.

$$q = \sqrt{\frac{2 * 21739 * 29669{,}34}{131{,}4}} * \sqrt{\frac{97}{97 - 82{,}45}} = 8089{,}94$$

$$t = \frac{8089{,}94}{21739} * 365 = 135{,}83$$

Optimální délka intervalu mezi dvěma dodávkami je tedy 135,83 dní.

$$t_1 = \frac{8089{,}94}{97} = 83{,}40$$

$$t_2 = 135{,}83 - 83{,}40 = 52{,}43$$

$$d \leq t_2$$

Výrobní cyklus z t trvá tedy 83,4 dní a spotřební zhruba 52,43 dní.

$$(p - h)t_1 = 33{,}75 * 24{,}88 = 839{,}7$$

Každá dodávka může být připravena 2x do měsíce, potom tedy platí, že d =2*12=24.

$$Q_d = \frac{21739}{24} = 21739 * \frac{1}{24} = 905{,}79$$

Maximální počet kusů balení na skladu během celého cyklu bude 839,7 a objednávka by se měla vystavit v okamžiku kdy počet balení na skladě klesne na 905 ks.

$$N = \sqrt{2 * 21739 * 29669{,}34 * 131{,}4} * \sqrt{\frac{97}{97 - 82{,}45}} = 1063018{,}38$$

V poslední řadě nákladová funkce ukazuje částku 1063018,38 Kč, která udává naše celkové náklady za součástku 3.

4.5.4 Shrnutí Produkčního modelu

$$Q\ celkově\ =\ 23889 + 36308 + 8090 = 68287$$

Q celkově udává, že by firma nejméně v jednu dobu musela mít na skladu 68287 krabic. To čítá celkem 4268 palet. Pokud se bere v úvahu, že firma nedělá pouze jeden výrobek, ale více, je takřka nemožné do skladu najednou uložit 4268 palet pouze pro jeden výrobek.

$$N\ celkově = 3138944{,}28 + 4770813{,}05 + 1063018{,}38 = 8972775{,}71$$

N celkově udává, že celkové náklady na tři součástky do příplatkových modulů jsou 8972775,71Kč.

4.6 Aplikace stochastické Spojité poptávky

Uvažujme podobné zadání jako u deterministické poptávky:

Průměrná roční poptávka je 1000000 s příplatkovou výbavou a se směrodatnou odchylkou 5000. K této rozšířené výbavě je potřeba třech výjimečných součástek, které se dodávají: první v balení po 20 kusech, druhá v balení po 3 kusech a třetí v balení po 96 kusech. Fixní pořizovací náklady byly stanoveny následovně: první součástka 146987,97Kč, druhá součástka 7731,93Kč a třetí součástka 37703,61Kč. Pro každé balení je roční skladovací náklad 131,4 Kč. První dodávka součástky může být připravena za 3 dny druhá za 10 dní a třetí jednou za 5 dní. Poptávka během pořizovací lhůty má normální rozdělení $N(u_d; O_d)$, firma se snaží udržet úroveň obsluhy na 85% a potom musí vytvořit pojistnou zásobu w, uvedenou níže.

4.6.1 Součástka 1

Objednávka může být připravena 10x do měsíce potom tedy d=1/120 roku.

$$u_d = \frac{50000}{120} = 416{,}67$$

$$O_d = \frac{250}{120} = 2{,}08$$

$$q = \sqrt{\frac{2 * 50000 * 146987,97}{131,4}} = 10576,5$$

$$N(u_d; O_d) = (416,67; 2,08)$$

$$w \geq z_{0,85} * O_d = 1,036 * 2,08 = 2,15488$$

$$r = \frac{50000}{120} = 416,67$$

$$r + w = 416,67 + 2,15488 = 418,82$$

$$N = \sqrt{2 * 50000 * 131,4 * 146987,97} = 1389756,7$$

$$N^* = 1389756,7 + 283,15 = 1390039,85$$

V uvedeném příkladu je tedy nutné objednat nové zásoby v okamžiku, kdy zásoba klesne pod 419 ks. Při úrovni obsluhy 85% budou náklady současné strategie N^*=1390039,85 Kč.

4.6.2 Součástka 2

Objednávka může být připravena 3x do měsíce potom tedy d=1/36 roku.

$$u_d = \frac{333334}{36} = 9259,28$$

$$O_d = \frac{1667}{36} = 46,31$$

$$q = \sqrt{\frac{2 * 333334 * 7731,93}{131,4}} = 6263,27$$

$$N(u_d; O_d) = (9259,28; 46,31)$$

$$w \geq z_{0,85} * O_d = 1,036 * 46,31 = 47,98$$

$$r = \frac{333334}{36} = 9259,28$$

$$r + w = 9259,28 + 47,98 = 9307,26$$

$$N = \sqrt{2 * 333334 * 131,4 * 7731,93} = 822993,57$$

$$N^* = 822993{,}57 + 6304{,}57 = 829298{,}142$$

V uvedeném příkladu je tedy nutné objednat nové zásoby v okamžiku, kdy zásoba klesne pod 419 ks. Při úrovni obsluhy 85% budou náklady současné strategie N^*=829298,142 Kč.

4.6.3 Součástka 3

Objednávka může být připravena 6x do měsíce potom tedy d=1/72 roku.

$$u_d = \frac{10417}{72} = 144{,}68$$

$$O_d = \frac{53}{72} = 0{,}74$$

$$q = \sqrt{\frac{2 * 10417 * 37703{,}61}{131{,}4}} = 2445{,}01$$

$$N(u_d; O_d) = (144{,}68; 0{,}74)$$

$$w \geq z_{0{,}85} * O_d = 1{,}036 * 0{,}74 = 0{,}76664$$

$$r = \frac{10417}{72} = 144{,}68$$

$$r + w = 144{,}68 + 0{,}76664 = 145{,}45$$

$$N = \sqrt{2 * 10417 * 131{,}4 * 37703{,}61} = 321273{,}93$$

$$N^* = 321273{,}93 + 100{,}74 = 321374{,}66$$

V uvedeném příkladu je tedy nutné objednat nové zásoby v okamžiku, kdy zásoba klesne pod 419 ks. Při úrovni obsluhy 85% budou náklady současné strategie $N^* = 321374{,}66$ Kč.

4.6.4 Shrnutí Spojité poptávky

$$Q\ celkově\ =\ 10577 + 6264 + 2446 = 19287$$

Q celkově nám udává, že bychom nejméně v jednu dobu museli mít na skladu 19287 krabic. To čítá celkem 1206 palet.

$$N\ celkově = 1390039{,}85 + 829298{,}142 + 321374{,}66 = 2540712{,}65$$

N celkově udává, že celkové náklady na tři součástky do příplatkových modulů jsou $2540712{,}65$ Kč.

4.6.5 Porovnání Produkčního modelu a Spojité poptávky

Produkční model, který do sebe zahrnuje i výkonnost linky z příkladu vychází ve „velkých“ číslech, naopak *spojitá poptávka*, která měla skoro podobné zadání (zadání se muselo lišit kvůli datům) vychází mnohem přívětivěji, i když stále dost extrémně. Model spojité poptávky by se proto měl využívat ve firmě častěji.

5. Závěr

Deterministický produkční model i model stochastické spojité poptávky fungují tak, aby naskladnily co nejvíce materiálu na sklad, protože doprava obvykle bývá dražší než samotné uskladnění na skladě. V tomto případě nastává problém, protože firma jako ta, která byla vybrána, je stavěna tak, aby měla malý sklad a obrovské haly pro výrobu. Informace o velikosti skladu nejsou bohužel známy, ale pokud by se odhadla např. kapacita kolem 1500 palet a odhadlo třeba 15 linek v obou halách, ze které každá linka dává dohromady jeden modul, na který je potřeba v řádu desítek dílu, může se s určitostí říct, že je výlučně nemožné objednat najednou pro jeden díl palety v řádu stovek natož, v řádu tisíců. Proto by se daný model měl omezit a pro každou zakázku přidělit jistý skladovací prostor podle nutnosti potřeby a podle denního možného výrobního obratu.

Podle produkčního modelu by se mělo naskladnit 4268 palet a podle spojité poptávky zase 1206 palet. Množství palet spojité poptávky by se na sklad podle odhadovaného množství úložného prostoru vešlo, ovšem zbylo by jen minimální množství pro další zakázky, což je krajně nepřijatelné. Proto bych firmě využití modelů teorie zásob doporučoval jenom v případě, když by se rozhodla expandovat sklad, který by se mohl po několika letech vyplatit.

Roční náklady spojité poptávky jsou 2540712,65, kdežto náklady produkčního modelu zase 8972775,71. Informace o nynějších nákladech mi bohužel nejsou známy, avšak náklad ze spojité poptávky vychází v přívětivých mezích. Je jenom na vedení firmy zda začne využívat modely teorie zásob. Pokud má prostředky a dostatečné místo na skladě může to být užitečný krok směrem za vyšším výnosem a produktivitou firmy.

6. Zdroje

CÍRKOVSKÝ, J. *Paretovo pravidlo a ABC analýza* 2013 zdroj: http://www.eaukcebenefico.cz/paretovo-pravidlo-a-abc-analyza/

EMMETT, S. *Řízení zásob : jak minimalizovat náklady a maximalizovat hodnotu.* Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1828-3.

FIALA, P. *Operační výzkum : nové trendy.* Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.

HORÁKOVÁ, H.-- KUBÁT, J. *Řízení zásob, třetí upravené vydání,* Praha: Profess Consulting, 1999, ISBN: 80-85235-55-2

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.* Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-86419-42-8.

LADISLAV, L. *Pravděpodobnostní modely,* Plzeň: Západočeská universita v Plzni, 2005, ISBN: 80-7043-388-4

LATÝN, P. -- SVOBODA, V. -- ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. DOPRAVNÍ FAKULTA. *Logistika.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01325-1.

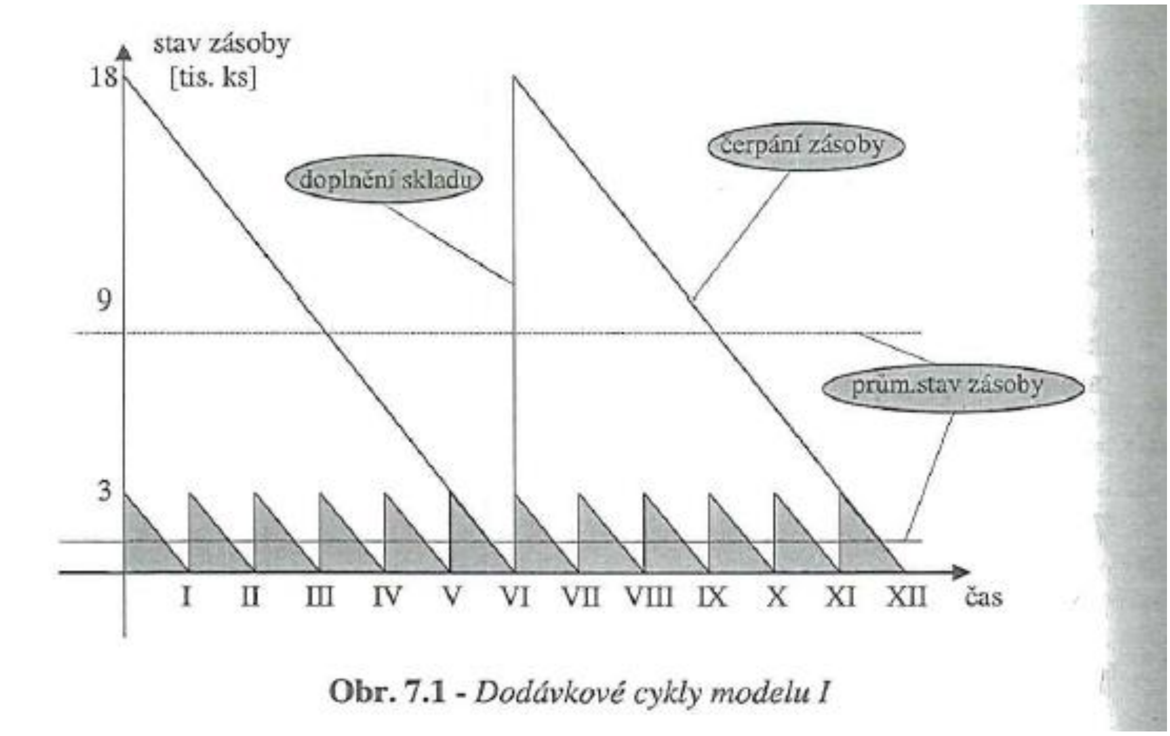
STERLY, R. *Modely zásob* 2011 zdroj: http://www.romansterly.com/model-teorie-zasob/

STRAKA, M. *Logistika Distribúcia:Jako efektívne dostať výrobok na trh,* Bratislava: EPOS, 2013, ISBN: 978-80-562-0015-5

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ – FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY – KATEDRA STATISTIKY A PRAVDĚPODOBNOSTI. *Statistika: tabulky.* KSTP 2006 zdroj: http://statistika.vse.cz/download/materialy/tabulky.pdf

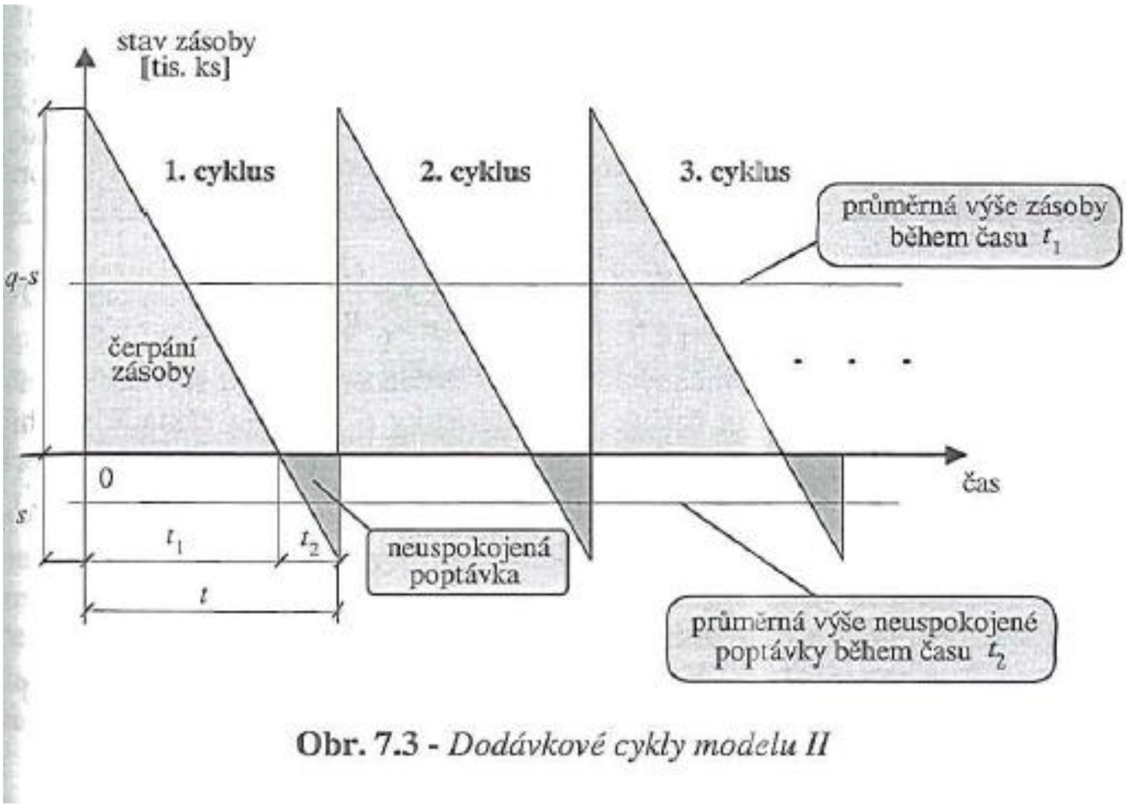
7. Přílohy

Obrázek 1 – Dodávkový cyklus modelu 1



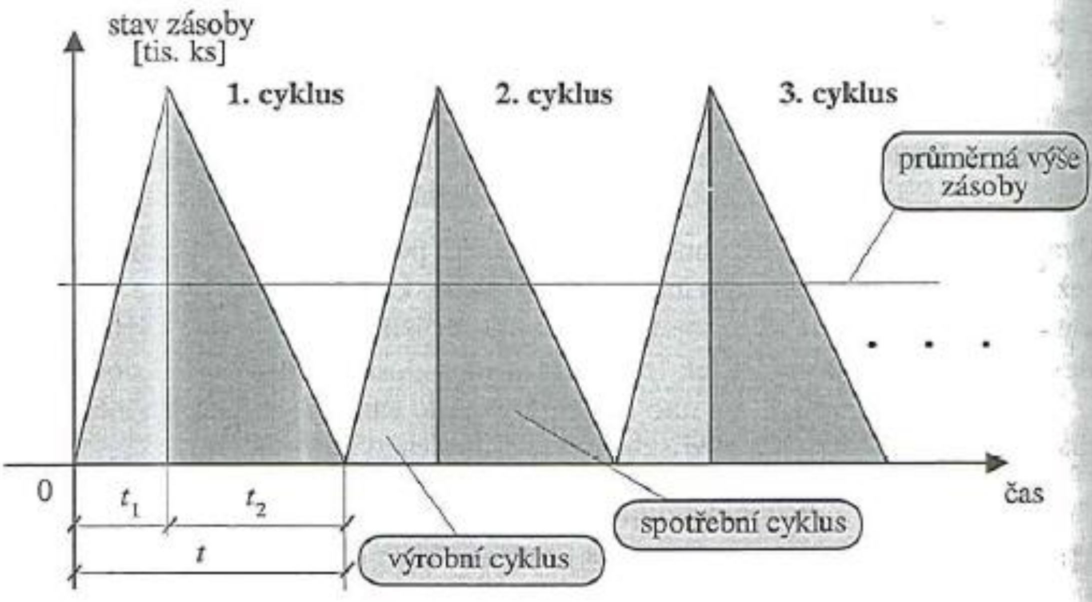
[Jablonský, 2004, str. 212]

Obrázek 2 – Dodávkový cyklus modelu 2



[Jablonský, 2004, str. 217]

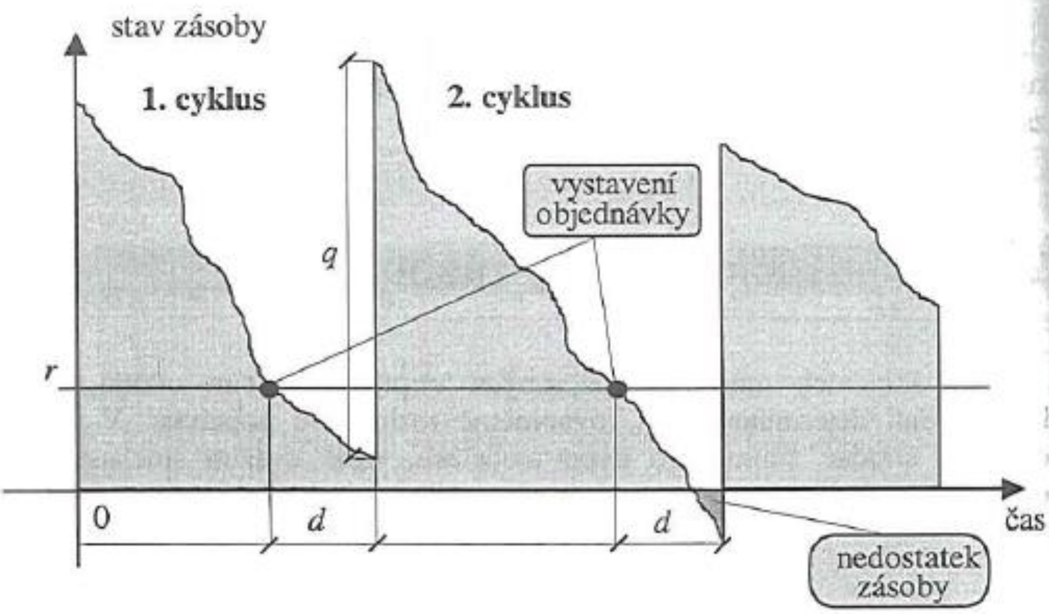
Obrázek 3 – dodávkový cyklus modelu 3



Obr. 7.4 - *Výrobní a spotřební cykly modelu III*

[Jablonský, 2004, str. 222]

Obrázek 4 - Dodávkový cyklus modelu 4



Obr. 7.5 - *Závislost stavu zásoby na času při stochastické poptávce*

[Jablonský, 2004, str. 228]

Obrázek 5 – Tabulka distribučních hodnot

Tabulka IV. **Kvantily normovaného normálního rozdělení (u_P)**

P	u_P	P	u_P	P	u_P	P	u_P
0,50	0,000	0,75	0,674	0,950	1,645	0,975	1,960
0,51	0,025	0,76	0,706	0,951	1,655	0,976	1,970
0,52	0,050	0,77	0,739	0,952	1,665	0,977	1,995
0,53	0,075	0,78	0,772	0,953	1,675	0,978	2,014
0,54	0,100	0,79	0,806	0,954	1,685	0,979	2,034
0,55	0,126	0,80	0,842	0,955	1,695	0,980	2,054
0,56	0,151	0,81	0,878	0,956	1,706	0,981	2,075
0,57	0,176	0,82	0,915	0,957	1,717	0,982	2,097
0,58	0,202	0,83	0,954	0,958	1,728	0,983	2,120
0,59	0,228	0,84	0,994	0,959	1,739	0,984	2,144
0,60	0,253	0,85	1,036	0,960	1,751	0,985	2,170
0,61	0,279	0,86	1,080	0,961	1,762	0,986	2,197
0,62	0,305	0,87	1,126	0,962	1,774	0,987	2,226
0,63	0,332	0,88	1,175	0,963	1,787	0,988	2,257
0,64	0,358	0,89	1,227	0,964	1,799	0,989	2,290
0,65	0,385	0,90	1,282	0,965	1,812	0,990	2,326
0,66	0,412	0,905	1,311	0,966	1,825	0,991	2,366
0,67	0,440	0,910	1,341	0,967	1,838	0,992	2,409
0,68	0,468	0,915	1,372	0,968	1,852	0,993	2,457
0,69	0,496	0,920	1,405	0,969	1,866	0,994	2,512
0,70	0,524	0,925	1,440	0,970	1,881	0,995	2,576
0,71	0,553	0,930	1,476	0,971	1,896	0,996	2,652
0,72	0,583	0,935	1,514	0,972	1,911	0,997	2,748
0,73	0,613	0,940	1,555	0,973	1,927	0,998	2,878
0,74	0,643	0,945	1,598	0,974	1,943	0,999	3,090

Pro $P < 0,5$ jsou hodnoty kvantilů dány vztahem $u_P = -u_{1-P}$.

[Vysoká škola ekonomická, 2006, str. 5]