



Ekonomická
fakulta
Faculty
of Economics

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Ekonomická fakulta
Katedra aplikované matematiky a informatiky

Diplomová práce

Optimalizace zásobování

Vypracovala: Bc. Terezie Pavlásková
Vedoucí práce: doc. RNDr. Jana Klicnarová, Ph.D.

České Budějovice 2023

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Ekonomická fakulta
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Terezie PAVLÁSKOVÁ
Osobní číslo: E21007
Studijní program: N0311A050030 Analýza v ekonomické a finanční praxi
Téma práce: Optimalizace zásobování
Zadávací katedra: Katedra aplikované matematiky a informatiky

Zásady pro vypracování

Cílem práce je aplikace některého z modelů teorie zásob na reálný problém. Úkolem studentky je detailně se seznámit s vybraným reálným problémem z oblasti teorie zásob a nastudovat si teorii zásob s důrazem na praktickou aplikaci. Poté zvolit vhodný model z teorie zásob na zvolený problém, aplikovat jej a najít optimální řešení. Závěrem studentka vyhodnotí přínos využití modelu.

Metodický postup:

1. Studentka si zvolí praktický problém, který lze optimalizovat s využitím teorie zásob.
2. Studentka se seznámí s teorií zásob s důrazem na praktickou aplikaci, zvolí model vhodný na vybraný příklad a s tím se detailně seznámí.
3. Studentka si zajistí data potřebná k řešení zvoleného problému.
4. Studentka analyzuje zvolený problém a s využitím teorie zásob nalezne optimální plán zásobování.
5. Závěrem studentka vyhodnotí přínos své optimalizace. Je-li to možné, porovná získané řešení s dosavadním řízením zásob. Vyhodnotí případné klady a zápory použitého modelu.

Rozsah pracovní zprávy: 50 – 60 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

1. Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to operations research*. NY, US: McGraw-Hill International Edition.
2. Lukáš, L. (2012). *Pravděpodobnostní modely v managementu*. 2. díl. Teorie zásob. Praha: Academia.
3. Prášková, Z., & Lachout, P. (2012). *Základy náhodných procesů I*. Praha: Matfyzpress.
4. Prášková, Z. (2004). *Základy náhodných procesů II*. Praha: Karolinum.

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Jana Klicnarová, Ph.D.
Katedra aplikované matematiky a informatiky

Datum zadání diplomové práce: 11. ledna 2022
Termín odevzdání diplomové práce: 14. dubna 2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projekt uměleckého díla uměleckého výkonu)

doc. RNDr. Tomáš Mrkvička, Ph.D.

19107

2022 JAR 0030

Optimální

Podpora aplikací

Člasy pro vypracování

1. Úvodní kapitola: Úvodní kapitola je určena k seznámení s problematikou a cíli práce. Obsahuje stručný popis předmětu práce a jejího významu.

2. Teoretická část: Tato část je určena k seznámení s teoretickými základy dané problematiky. Obsahuje stručný popis teoretických poznatků a jejich aplikaci.

3. Metodická část: Tato část je určena k seznámení s metodikou práce. Obsahuje stručný popis metodikou práce a jejího významu.

4. Praktická část: Tato část je určena k seznámení s praktickými výsledky práce. Obsahuje stručný popis praktických výsledků a jejich významu.

5. Závěrečná část: Tato část je určena k seznámení s závěrečnými poznatky a doporučeními. Obsahuje stručný popis závěrečných poznatků a doporučení.

19107

2022 JAR 0030

Optimální

Podpora aplikací

JHOCESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
EKONOMICKÁ FAKULTA
Studentská 13 (26)
370 05 České Budějovice

doc. Dr. Ing. Dagmar Škodová Parmová
děkanka

doc. RNDr. Tomáš Mrkvička, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 2. března 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

České Budějovice 13. 4. 2023

.....
Bc. Pavlásková Terezie

Poděkování

Děkuji paní doc. RNDr. Janě Klicnarové, Ph.D. za pomoc, ochotu a podporu, kterou mi poskytla při zpracovávání diplomové práce. Mé poděkování také patří zaměstnancům a vedení společnosti ASARKO s.r.o. za jejich vstřícný přístup ke spolupráci při získávání údajů pro praktickou část práce.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Logistika jako vědní obor	10
3	Řízení zásob v podniku.....	12
3.1	Zásoby	12
3.1.1	Klasifikace zásob	13
3.1.2	Náklady na zásoby	14
3.2	Poptávka.....	15
3.3	Diferencované řízení zásob	17
3.4	Metoda Just in Time (JIT).....	20
4	Matematické modelování.....	21
5	Modely řízení zásob	24
5.1	Jednoproductové dynamické deterministické modely	25
5.1.1	Model EOQ.....	26
5.1.2	Model POQ.....	31
5.2	Jednoproductové statické stochastické modely	33
5.3	Jednoproductové dynamické stochastické modely	35
5.3.1	Model s konstantní velikostí dodávky	36
5.3.2	Model s periodickým doplňováním dodávkami o neregulární velikosti	39
6	Cíle a metodika	41
7	Představení společnosti.....	42
8	Analýza zásob	44
8.1	Analýza spotřeby položky Weber tmel	46
8.1.1	Aplikace P-systému na položku Weber tmel	52
8.1.2	Aplikace Q-systému na položku Weber tmel	54

8.1.3	Komparace nákladů v případě jednoduktových objednávek položky Weber tmel	58
8.2	Analýza spotřeby položky Síťovina R117.....	59
8.2.1	Aplikace P-systému na položku Síťovina R117.....	62
8.2.2	Aplikace Q-systému na položku Síťovina R117	62
8.2.3	Komparace nákladů v případě jednoduktových objednávek položky Síťovina R117	64
8.3	Komparace nákladů v případě dvouproduktových objednávek	66
9	Závěr a doporučení.....	69
I	Summary and keywords.....	71
II	Seznam použitých zdrojů.....	72
III	Seznam tabulek, grafů a schémat	74
IV	Seznam příloh	77
V	Přílohy	78

1 Úvod

Zásoby jsou přítomny, ať v malé či velké míře, téměř ve všech firmách, a jelikož vážou finanční prostředky, měli bychom věnovat pozornost jejich řízení. V současné době jsme nejen v tomto odvětví obklopeni novými technologiemi, přístupy, modely a doporučeními, ve kterých se však ne každý zcela vyzná. Proto je důležité zajistit si alespoň základní přehled možných přístupů k řízení zásob, abychom si byli schopni vybrat ten, který je pro naši firmu optimální a dovede nás k tíženému cíli. Záměrem této diplomové práce je seznámit čtenáře se základními modely teorie zásob tak, aby byl schopen se v nich dobře orientovat a vydat se správným směrem, rozhodne-li se optimalizovat řízení zásob za pomoci metod operačního výzkumu. To znamená, aby dokázal zhodnotit vhodnost jednotlivých modelů vzhledem k jeho cíli, dostupných informací, charakteru poptávky či vlastností optimalizovaných zásob. K poskytnutí širšího pohledu na tuto problematiku bude práce také obsahovat stručné představení logistiky a matematického modelování. Praktická část se bude zabývat aplikací vybraných modelů řízení zásob s cílem navrhnout optimalizaci zásobování v reálné firmě.

2 Logistika jako vědní obor

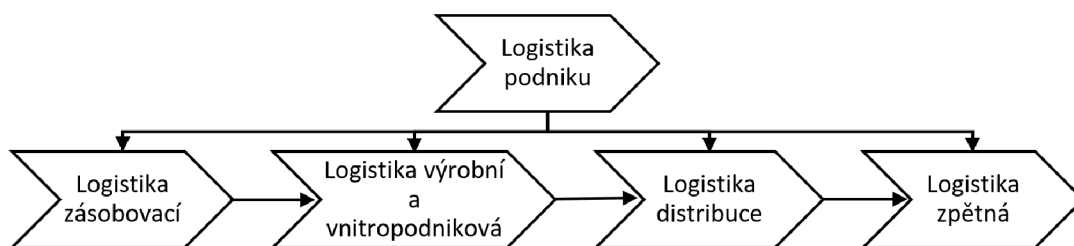
Za prvopočátky logistiky lze považovat stavbu chrámů a pyramid ve starověkém Řecku a Egyptě, nicméně o logistice jako vědním oboru můžeme mluvit až od padesátých let dvacátého století, kdy se začaly objevovat první systematizované logistické myšlenky a koncepty. (Oudová, 2016)

Logistiku lze dnes chápat jako řetězec činností vedoucích k pružnému a ekonomickému dosažení konkrétního výsledného efektu. Zahrnuje řízení toku materiálů, informací a financí takovým způsobem, aby byly včas splněny požadavky koncového zákazníka a generován potřebný zisk. Logistika se podílí na vývoji a výrobě produktů, výběru dodavatele a dopravy k zákazníkovi, dále například na likvidaci morálně a fyzicky zastaralých produktů. (Pernica, 1994 podle Oudová, 2016; Sixta & Žižka, 2009)

Zprvu byla logistika spojována pouze s vojenstvím. Do hospodářské sféry pronikla až okolo roku 1912. Po druhé světové válce byly vyvinuty matematické modely, které se následně přenesly i do sféry civilní. Tyto modely, známé jako operační výzkum, jsou dodnes uplatňovány v rámci plánování výroby, obstarávání materiálu či přesunu surovin. (Oudová, 2016)

Každá společnost může nahlížet na logistiku různými pohledy, které se odvíjí například od předmětu podnikání, velikosti podniku, lokalizace, dostupnosti zdrojů nebo rozdělení podnikových procesů. Následující schéma zobrazuje jeden z možných procesních pohledů na hodnototvorné pojetí logistiky a rozdělení logistického řízení v podniku:

Schéma 1: Logistika podniku a její členění



(zdroj: vlastní zpracování dle Jurová, 2016, s. 191)

Příčemž *logistika zásobování* se skládá z procesů a činností, jejichž primárním cílem je kladné zakončení obchodního případu skrze zpracování nabídky. Optimalizace materiálových toků, využití prostorů a další činnosti související s operativním řízením výrobního procesu jsou součástí *výrobní a vnitropodnikové logistiky*. *Logistika distribuce*

se zabývá naskladněním produktů, způsoby balení, expedicí a možnostmi dopravy k zákazníkovi. Zpětný tok reklamovaných či použitých produktů a obalů je předmětem zájmu *logistiky zpětné*. (Jurová, 2016)

Tento procesní přístup klade důraz na všechny logistické toky v podniku a klasifikaci logistických činností, které zahrnují například:

- zákaznický servis,
- prognózování poptávky,
- **řízení zásob,**
- manipulaci s materiálem,
- vyřizování objednávek,
- určení vhodného místa výroby a skladování,
- pořizování,
- zpětnou logistiku,
- dopravu,
- skladování. (Lambert & Ellram, 2000)

Právě jednou z těchto činností, tj. řízením zásob, se budeme v této práci dále zabývat.

3 Řízení zásob v podniku

Řízení zásob je souhrnem činností (např. analyzování, předpovídání, plánování, kontrola) vytvářejících předpoklady pro dosažení stanovených podnikových cílů při optimalizaci nákladů a vázanosti financí v zásobách. (Horáková & Kubát, 1996)

3.1 Zásoby

Zásoby, jakožto část oběžných aktiv společnosti, jsou důležité pro všechny podnikatelské subjekty i přesto, že se jejich význam v různých podnicích liší. Mohou být chápány jako „*neoddělitelná součást výrobních, obchodních či distribučních subjektů, které takto označují materiál, suroviny, paliva, nářadí, obaly, náhradní díly, polotovary a hotové výrobky*“. (Jurová, 2016, s. 223)

§ 9 Vyhlášky č. 500/2002 Sb. vymezuje zásoby pro potřeby účetnictví následovně:

- materiál, kam spadají např. suroviny, pomocné látky, látky potřebné k zajištění provozu, náhradní díly, obaly a obalové materiály, movitý majetek s dobou použitelnosti jeden rok a kratší či pokusná zvířata;
- nedokončená výroba a polotovary představují např. produkty, které prošly jedním nebo vícero výrobními procesy a dosud nejsou hotovým výrobkem a polotovary, jež neprošly všemi fázemi výroby;
- výrobky jsou věci vlastní výroby určené k prodeji nebo ke spotřebě uvnitř účetní jednotky;
- mladá a jiná zvířata a jejich skupiny;
- zboží zahrnuje např. movitý majetek a zvířata nabyté za účelem prodeje, pokud s nimi účetní jednotka obchoduje a dále sem spadají výrobky vlastní výroby připravené k prodeji;
- poskytnuté zálohy na zásoby. (Ministerstvo financí, c2010-2023)

Pozitivní význam zásob nalezneme v tom, že umožňují překlenout časový, místní, kapacitní či sortimentní nesoulad mezi výrobou a spotřebou. Lze je použít ke krytí nepředvídatelných výkyvů spotřeby a poruch. Naopak negativní vliv na společnost mají například z toho důvodu, že v průběhu času mohou ztrácet hodnotu, stát se neprodejnými nebo nepoužitelnými a zadržují finanční prostředky, které by mohly být využity vhodnějším způsobem. Držení neoptimálního množství zásob může způsobit ohrožení

platební schopnosti, likvidity a důvěryhodnosti podniku. (Horáková & Kubát, 1996; Jurová, 2016)

Mezi základní metody sledování stavu zásob lze zařadit:

- metodu neustálého sledování, která se využívá ve velkých provozech;
- metodu pravidelné kontroly, jež je typická pro malé a střední podniky, bývá dopředu vyhlášena a obvykle vede k dočasnému zastavení provozu;
- namátkovou kontrolu, která je jakýmsi doplňkem k výše zmíněným a provádí se bez předchozího oznámení. (Jurová, 2016)

3.1.1 Klasifikace zásob

Druh zásob ovlivňuje volbu metody jejich řízení, proto bude v následující části práce uvedeno několik způsobů jejich klasifikace. Dle stupně zpracování můžeme zásoby dělit na:

- výrobní zásoby, kam spadají například suroviny, paliva, polotovary, nakupované díly spotřebovávané ve výrobě, nástroje či obalové materiály;
- zásoby rozpracovaných výrobků zahrnující nedokončené produkty a polotovary vlastní výroby;
- zásoby hotových výrobků;
- zásoby zboží.

Dle funkce v podniku můžeme dělit zásoby na:

- Rozpojovací zásoby, které jsou vytvářeny za účelem tlumení náhodných výkyvů ve spotřebě a vyrovnání časového a množství nesouladu mezi jednotlivými procesy. Je možné je dále členit na obratové, pojistné, vyrovnávací a zásoby pro předzásobení. *Obratové*, též nazývané jako běžné, zásoby vznikají v dávkách, které jsou větší než okamžitá potřeba a slouží k zajištění potřeb mezi dvěma dávkami. *Pojistná zásoba* zachycuje náhodné výkyvy v poptávce či množství a termínech dodávek. *Vyrovnávací zásoba* je vytvářena k pokrytí časových a množství nepředvídatelných výkyvů mezi navazujícími výrobními procesy (vyskytuje se převážně u linkové výroby). K tlumení předvídatelných a větších výkyvů v dodávkách nebo poptávce slouží *zásoba pro předzásobení*.

- Zásoby na logistické trase jsou materiály a výrobky, pro které je již znám konkrétní odběratel nebo výrobní zakázka, ale dosud nebyly dodány. Zahrnují dopravní zásoby (zboží na cestě) a zásoby rozpracované výroby (nedokončené výrobky).
- Technologické zásoby jsou materiály a výrobky, které k tomu, aby nabyly požadovaných vlastností k expedici či dalšímu zpracování, potřebují být jistou dobu skladovány.
- Strategické zásoby hrají zásadní roli v dobách krizí způsobených například přírodními pohromami, stávkami nebo válkou. Napomáhají podnikům přežít tyto nepředvídatelné kalamity.
- Spekulativní zásoby jsou jistým druhem zásob pro předzásobení. Nakupují se předčasně a ve velkých dávkách z důvodu očekávání zvýšení cen.

Dle použitelnosti mohou být zásoby klasifikovány jako *nepoužitelné*, jež vznikají například vlivem změn ve výrobním programu, inovacemi výrobku nebo mylným nákupním rozhodnutím. Jsou to položky, u nichž je velmi nepravděpodobné, že by mohly být v podniku využity nebo prodány obvyklým způsobem za běžnou cenu. Druhým typem jsou *použitelné* zásoby, u kterých je pravděpodobnost jejich spotřeby či prodeje vysoká. Skládají se z přiměřených a nadbytečných zásob, které jsou-li detekovány, pak je nezbytné zabránit jejich dalšímu hromadění. (Horáková & Kubát, 1996)

3.1.2 Náklady na zásoby

Jelikož redukce nákladů má pozitivní vliv na ziskovost a efektivnost hospodaření podniku, je žádoucí klást značný důraz na jejich řízení. Konkrétně se zásobami jsou spojeny náklady na objednání, držení a náklady z deficitu (vyčerpání).

Objednací (pořizovací) *náklady* vznikají při každém doplnění skladu a jsou převážně nezávislé na velikosti objednávky. V případě nakupovaných zásob zahrnují například náklady na přípravu, vystavení a odeslání objednávky. Vznikají-li zásoby výrobním procesem, pak do těchto nákladů spadají například náklady na administrativní práce spojené s přípravou zakázky a vydáním výrobního příkazu, náklady na přestavění a seřízení výrobních zařízení, náklady na kontrolu výrobků či náklady na příjem a zaevidování na sklad.

Náklady na držení zásob (skladovací náklady) se vztahují ke každé jednotce zásob udržované na skladu po určité časové období. Zahrnují náklady na podíl na pronájmu skladu, pojištění, spotřebu energie, odpisy budov a zařízení, údržbu, opravy, mzdy pracovníků nebo ohodnocení vázanosti kapitálu v zásobách. Při krátkodobém rozhodování lze k ohodnocení finančních prostředků vázaných v zásobách využít úrokovou míru bankovních úvěrů. V případě dlouhodobějších pohledů je žádoucí vycházet z rentability kapitálu a namísto úrokové míry použít vnitropodnikové výnosové procento stanovené vedením podniku (jde o tzv. ušlé výnosy). Dále se můžeme také setkat s tím, že firmy předpokládají téměř shodnou rizikovost zásob a typické kapitálové investice. Pak jsou náklady na držení zásob stanoveny dle průměrných nákladů na kapitál. (Brealey & Myers, 2000; Horáková & Kubát, 1996; Jablonský, 1999)

Do nákladů na držení zásob lze zahrnout i náklady z rizika neprodejnosti nebo nepoužitelnosti zásob, znehodnocení stárnutím či například riziko celkové změny ve struktuře poptávky. Obvykle jsou tyto náklady odhadnuty určitým procentem z průměrné zásoby, například dle stupně možného předpovězení budoucí potřeby a dle průměrné doby skladování.

Náklady z nedostatku zásob vznikají v důsledku neuspokojení poptávky. Mohou zahrnovat penále za zpožděné dodání zboží, ušlý zisk za neuskutečněný obchod, náklady na přerušování výroby a prostoje, náklady spojené se snahou dodat zboží včas i v případě vyčerpání zásob (přesčasové práce; dražší, ale rychlejší způsob dopravy). Náklady z deficitu lze do řízení zásob zahrnout nepřímo prostřednictvím stanovení požadované úrovně služeb. (Horáková & Kubát, 1996; Jablonský, 1999)

3.2 Poptávka

Řízení zásob je rovněž závislé na kvalitě a množství dostupných informací. Jedna z nejdůležitějších je velikost budoucí potřeby (poptávky), kterou lze získat prognózováním budoucích jevů. K těmto účelům lze využít metody kvalitativní, jako je například expertní odhad, nebo kvantitativní (např. analýza časových řad). Podrobnější členění těchto metod je na metody subjektivní a intuitivní (objektivní), prosté a analytické. V případě nesprávného odhadu může dojít k finančním ztrátám či ztrátě zákazníka. (Jurová, 2016)

Vzniklou poptávku můžeme členit dle původu na:

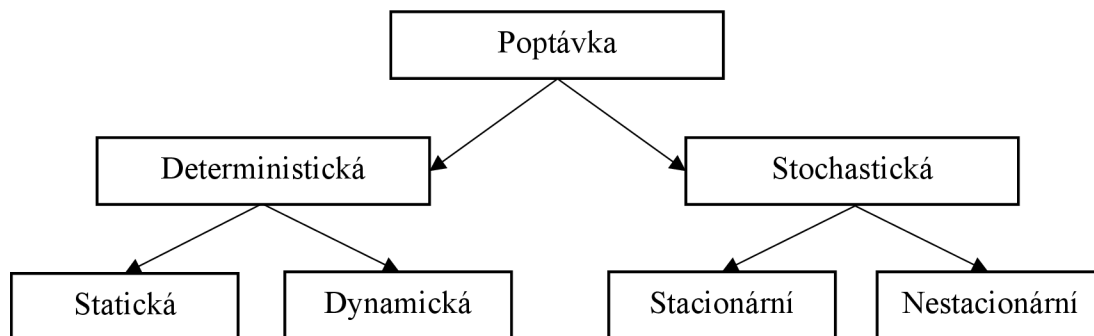
- Nezávislou (nahodilou, stochastickou), jež je signifikantní značnou nejistotou, nahodilostí a nezávislostí vůči ostatním poptávkám. Poptávkou tohoto typu může být například zákaznická poptávka po konečných výrobcích nebo potřeba materiálů a náhradních dílů pro neplánované opravy. Pak pracujeme se stochastickými (pravděpodobnostními) modely řízení zásob, kde ke snížení rizika mylné predikce je vytvářena pojistná zásoba.
- Závislou poptávku, kterou jsme schopni předpovědět. Vyskytuje se v případě výroby na sklad, na zakázku a také se objevuje u materiálů a dílů pro plánované opravy. K určení její velikosti a časového rozvržení jsou používány deterministické výpočetní postupy, které vycházejí například z výrobních plánů či plánů oprav. (Horáková & Kubát, 1996; Jurová, 2016)

Dle časového průběhu poptávky ji dělíme na:

- stejnoměrnou, která je prakticky trvalá a její velikost může mít v čase výkyvy (i sezónní);
- nárazovou, uskutečňující se v dávkách čas od času. (Horáková & Kubát, 1996)

Další možnosti členění poptávky jsou vyobrazeny na následujícím schématu:

Schéma 2: Charakter poptávky



(zdroj: vlastní zpracování dle Fábry, 2011, s. 95)

Kdy deterministická poptávka je předem známá a pokud se v čase její velikost nemění, lze ji označit jako statickou. V opačném případě se jedná o dynamickou poptávku. Jestliže je poptávka náhodná, tedy stochastická, a typ a parametry pravděpodobnostního rozdělení její velikosti jsou v čase konstantní, pak jde o stacionární poptávku. (Fábry, 2011)

Dále rozlišujeme poptávku diskrétní a spojitou, přičemž hodnoty a příslušné pravděpodobnosti diskrétní poptávky jsou dány pravděpodobnostní tabulkou. U spojitě

poptávky je její velikost dána distribuční funkcí nebo hustotou pravděpodobnosti. (Lukáš, 2012)

3.3 Diferencované řízení zásob

Vzhledem k tomu, že velké výrobní podniky mohou mít až několik desítek tisíc skladových položek, u kterých evidují mnoho údajů (např. základní údaje, obecné, technologické, ekonomické a obchodní vlastnosti), je žádoucí identifikovat důležitost jednotlivých zásob a informací. Tímto problémem se zabývá právě diferencované řízení zásob, jehož cílem je rozčlenit zásoby do skupin. Každé skupině je vhodné věnovat odlišnou pozornost při jejich řízení. K tomuto účelu dříve postačovala aplikace Paretova pravidla (pravidlo 80/20), podle kterého zhruba 80 % důsledků vyplývá z 20 % počtu možných příčin. V současnosti ale již existují komplexnější principy. Příklady základních analýz diferencovaného řízení zásob zobrazuje tabulka 1. Tyto metody byly dále rozšířeny, což vedlo ke vzniku dvoudimenzionálních i trojdimenzionálních modelů, které v závislosti na způsobu klasifikace a vybraných kritérií tvoří matice s 9 až 27 poli. Vybrané příklady dvou- a trojdimenzionálních analýz jsou uvedeny v tabulce 2. (Jurová, 2016; Sixta & Žižka, 2009)

Tabulka 1: Přehled analýz diferencovaného řízení zásob

Analýza	Principy a způsoby klasifikace
ABC (kumulovaná hodnota)	Méně než 80 % (A) Více než 80 % a méně než 95 % (B) Více než 95 % až 100 % (C)
FSN (obrátkovost)	Rychle obrátkové (F) Pomalu obrátkové (S) Neměnné (N)
GMK (množství)	Velké množství (G) Střední množství (M) Malé množství (K)
GOLF (zdroj)	Vládní (G) Běžný (O) Lokální (L) Zahraniční (F)
HML (hodnota)	Vysoká (H) Střední (M) Nízká (L)
SOS (sezónnost)	Sezónní (S) Mimosezónní (OS)
VED (důležitost)	Nezbytné (V) Základní (E) Vhodné (D)
XYZ (variační koeficient)	Méně než 80 % (X) Více než 80 % a méně než 95 % (Y) Více než 95 % a méně než 100 % (Z)

(zdroj: vlastní zpracování dle Jurová, 2016, s. 228)

Tabulka 2: Dvou- a trojdimenzionální modely klasifikace zásob

Modely		Klasifikace a principy
Dvoudimenzionální	ABC/VED	Matice – 9 polí: Kategorie I (AV, AE, AD, BV a CV) Kategorie II (BE, BD a CE) Kategorie III (CD)
	ABC/XYZ	Matice – 9 polí: AX – AY – AZ BX – BY – BZ CX – CY – CZ
Trojdimenzionální	ABC/XYZ/GMK	Matice – 27 polí (objem důležitosti – obrat) od AXG až CZK
	ABC/XYZ/Přidaná hodnota zákazníkovi	Matice – 27 polí
	ABC/XYZ/Problémy související s dodavatelem	Matice – 27 polí

(zdroj: vlastní zpracování dle Jurová, 2016, s. 228)

Mezi velmi využívané modely patří dvoudimenzionální analýzy, jelikož jejich aplikace je poměrně jednoduchá a zpravidla dosahují vysoké vypovídací schopnosti. Jako nejpoužívanější metoda je označována analýza ABC/XYZ, díky které lze v závislosti na velikosti a předvídatelnosti spotřeby získat přehled a doporučení možných strategií v oblasti řízení zásob. (Jurová, 2016)

Metoda ABC je založena na tom, že ne všechny zásoby vážou stejné množství finančních prostředků, proto bychom měli nejvíce pozornosti věnovat těm, které jsou finančně nejnáročnější. Tato metoda seskupuje zásoby například dle ceny a četnosti jejich využití (poptávky vyjádřené v korunách). Rozčlenění je nejčastěji provedeno do tří skupin na základě kumulované relativní četnosti (viz. tabulka 3). (Mulačová & Mulač et al., 2013; Pandya & Thakkar, 2016)

Tabulka 3: Metoda ABC – rozčlenění do skupin dle kumulované hodnoty a procentního zastoupení

Skupina	A	B	C
Kumulovaná hodnota položek	60–80 % hodnoty všech zásob	15–25 % hodnoty všech zásob	5–15 % hodnoty všech zásob
Zastoupení	5–15 % položek zásob	15–25 % položek zásob	60–80 % položek zásob

(zdroj: vlastní zpracování dle Mulačová & Mulač et al., 2013, s. 392)

Metoda XYZ klasifikuje zásoby dle kolísání spotřeby v čase, k čemuž se využívá například výpočet variačního koeficientu. Skupina X pak zahrnuje zásoby, jejichž spotřebu lze velmi dobře predikovat, a proto, na rozdíl od skupiny Z, u nich není potřeba udržovat vysokou pojistnou zásobu. (Mulačová & Mulač et al., 2013; Pandya & Thakkar, 2016)

Analýzu ABC je také možno kombinovat s metodou FSN, která seskupuje zásoby dle obrátkovosti vypočtené poměrem celkové spotřeby a průměrným stavem zásob za dané období. K určení hranic obrátkovosti pro jednotlivé skupiny není definováno přesné pravidlo, ale záleží spíše na rozhodnutí analytika. Nejvíce pozornosti bychom pak měli věnovat zásobám v kategorii AF dále AS, AN, BF, CF, a naopak nejméně zásobám z kategorie CN. (Devarajan & Jayamohan, 2016; Kumar & Shukla, 2022)

3.4 Metoda Just in Time (JIT)

Tento přístup vznikl v 70. letech 20. století v japonské automobilce Toyota. Je založen na principu okamžitého uspokojení poptávky, s vysokou kvalitou a bez plýtvání. Je spojen například s omezením nadprodukce, prostoju, nevhodného zpracování zásob či poruchovosti. Na rozdíl od ostatních metod řízení zásob je metoda JIT založena na povětšinou nepravidelných dodávkách s malou časovou rezervou před použitím. Tím se snižují požadavky na pracovní sílu a velikost skladových prostor. V dokonalém případě dochází k tomu, že je úroveň zásob na skladu téměř nulová. (Mulačová & Mulač et al., 2013; Rushton, Croucher & Baker, 2014)

4 Matematické modelování

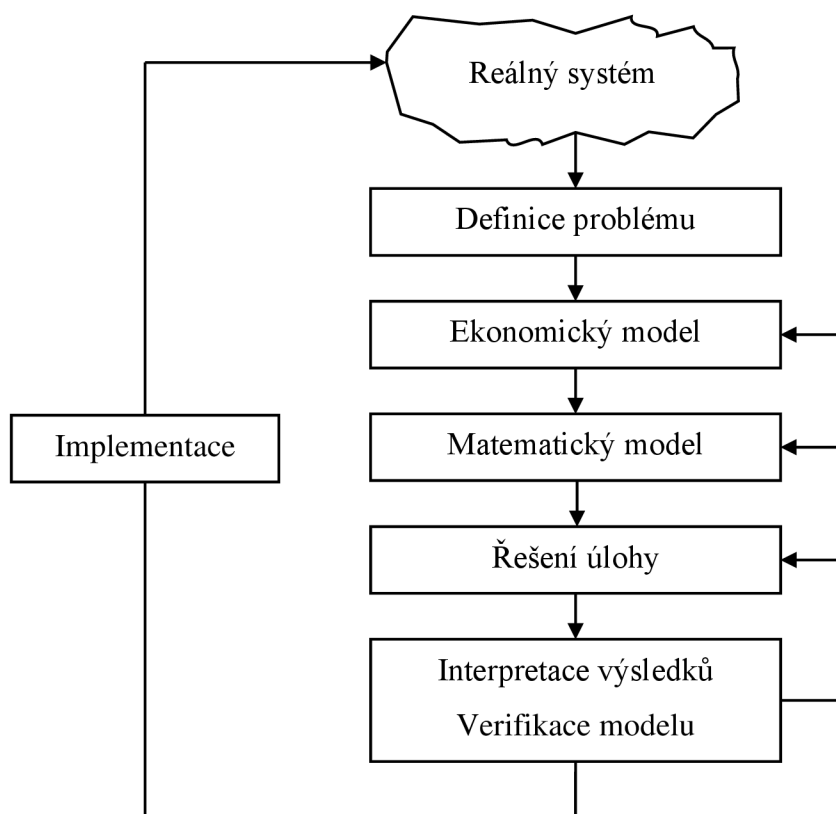
Model představuje zjednodušení reálného světa. Jelikož není možné jakoukoli realitu popsat do těch nejmenších detailů, tak je při analýze systému nezbytné soustředit se pouze na ta fakta, která jsou klíčová z hlediska stanoveného cíle. Při tvorbě modelů ale nesmí dojít k přílišnému zjednodušení skutečnosti, protože by to vedlo k jejich zkreslení a získání nereálných závěrů. Naopak podrobné modely jsou pravděpodobně velmi kvalitní, ale jejich následná analýza by se mohla stát neuskutečnitelnou a nemuseli bychom dojít k žádným závěrům. Stěžejním úkolem je nalezení kompromisu mezi těmito dvěma póly (věrná kopie skutečnosti a snadná řešitelnost). (Fábry, 2011)

Matematické modelování je jednou z fází rozhodovacího procesu, jehož se většinou účastní dva subjekty, a to:

- rozhodovatel, který zpravidla zadává naskytnutý problém k řešení;
- analytik, jenž se zabývá řešením problému a v případě, že ho nalezne, obrací se zpět na rozhodovatele, který navrhované řešení buďto přijme a aplikuje jej do reálného systému, nebo problém předá zpět, povětšinou spolu s dalšími doplněnými informacemi, na přepracování.

Fáze rozhodovacího procesu jsou znázorněny na schématu 3, kdy problém v reálném systému je nezbytné nejdříve rozpoznat a přesně ho definovat. V tomto prvním kroku zastávají důležitou roli vedoucí pracovníci, kteří by měli zhodnotit, jakým způsobem a s jakými potřebnými zdroji je možné zjištěný problém řešit. V případě potřeby by měli vytvořit tým odborníků, který se jím bude zabývat. V druhé fázi je stěžejní komunikace mezi výše zmíněnými subjekty (rozhodovatel a analytik) a správné určení informací, které jsou zásadní vzhledem k analyzovanému problému. Prvky a vazby, které byly identifikované jako důležité, jsou následně přeneseny do ekonomického modelu (tj. zjednodušený popis skutečného systému). (Fábry, 2011; Jablonský, 1999)

Schéma 3: Průběh rozhodovacího procesu



(zdroj: vlastní zpracování dle Fábry, 2011, s. 10)

Mezi základní prvky ekonomického modelu patří cíle analýzy (jednoznačně definovaný cílový stav modelovaného systému), popis procesů probíhajících v systému a majících vliv na cíl analýzy, popis činitelů, kteří ovlivňují průběh těchto procesů a popis vzájemných vztahů mezi procesy, činiteli a cílem analýzy. V následujícím kroku je ekonomický model převeden na matematický, který obsahuje stejné prvky, ale v jiném vyjádření. Například cíl analýzy je zpravidla vyjádřen funkcí n proměnných, které odpovídají procesům a jejich hodnoty představují intenzity provádění procesů. V současné době je většina matematických modelů řešena pomocí výpočetní techniky a softwaru. Proto tato fáze často zahrnuje zápis matematického modelu do kódu či softwarového prostředí a následné spuštění vhodného nástroje. V jednom z posledních kroků rozhodovacího procesu dochází k slovnímu vyjádření numerických výsledků. Analytik musí výsledky interpretovat takovým způsobem, aby byly pro rozhodovatele snadno pochopitelné. Vrací se tedy k ekonomickému modelu, aby pro komunikaci výsledků byly použity takové termíny, které jsou zadavateli jasné, neboť je on sám již dříve použil při komunikaci s analytikem. Následně se ověří správnost a reálnost

výsledků. Je důležité také zhodnotit, zdali byl ekonomický a matematický model vhodně sestaven. V případě úspěšné verifikace jsou výsledky uvedeny do praxe. V posledním kroku je zjišťováno, jestli implementované řešení problému přispělo ke zlepšení daného systému s ohledem na definovaný cíl. (Fábry, 2011; Jablonský, 1999)

Jako hlavní výhody matematického modelování lze uvést například to, že umožňují:

- strukturalizaci systému a specifikaci všech stavů, jež mohou nastat;
- analýzu chování reálného systému, jehož procesy mohou v reálném čase trvat až několik let, v poměrně krátkém časovém horizontu;
- provádět experimenty pomocí změn v parametrech modelu, které neovlivňují reálný systém. (Jablonský, 1999)

Matematické modely lze členit dle:

- informací, jež jsou k dispozici na *deterministické* (veškeré informace jsou známy s jistotou) a *stochastické* (některé procesy či hodnoty jsou pravděpodobnostního charakteru);
- významnosti časového horizontu na *statické* (průběh času není důležitou proměnnou) a *dynamické* (čas hraje významnou roli);
- druhu a velikosti systému, který popisují na *mikroekonomické* (zabývají se např. podniky, spotřebiteli či domácnostmi) a *makroekonomické* (např. analýza celého národního hospodářství).

Mezi základní disciplíny matematického modelování lze zařadit operační výzkum a ekonometrii, která se primárně věnuje měření závislostí mezi ekonomickými veličinami. Pro potřeby řízení zásob bude stěžejní operační výzkum, jenž se zabývá rozhodovacími problémy. Mezi základní metody operačního výzkumu patří například teorie her, lineární a nelineární programování, modely hromadné obsluhy, vícekritériální optimalizace či **modely řízení zásob**, jimiž se budeme dále zabývat. (Fábry, 2011)

5 Modely řízení zásob

Cílem těchto modelů je optimalizace řízení zásob, přičemž optimalizace neznamená minimalizaci či absolutní redukci jejich množství. První matematický model řízení zásob vznikl těsně před první světovou válkou a od této doby prošly modely značným vývojem. Hlavní dvě otázky, které si pokládáme při jejich užití, jsou:

1. V jakém okamžiku objednat novou dodávku?
2. Jak velká by měla být tato objednávka? (Jablonský, 1999; Jurová, 2016; Lukáš, 2012)

Dříve než začneme se samotnou aplikací modelů, je nezbytné být seznámen s:

- fungováním skladu zásob (jednoduchý/víceproduktový model, statické/dynamické fungování, periodické/neperiodické doplňování a čerpání);
- systémem doplňování skladu (okamžitý/postupný/náhodný/se zpožděním atd.);
- typem poptávky po skladovaných položkách (deterministická/náhodná);
- možnostmi ztráty (povoleny/nepovoleny);
- omezením (např. na objem financí vázaných v zásobách, na objem skladových položek atd.). (Lukáš, 2012)

Také nesmíme opomenout do úvah zahrnout i čas mezi odesláním objednávky a skutečným naskladněním zboží. Toto časové období se nazývá pořizovací lhůta či předstih dodávky a může být deterministické nebo stochastické povahy. Počet realizovaných objednávek a dodávek za danou časovou jednotku je označen pojmem intenzita objednávek a intenzita dodávek. Délka dodávkového cyklu je doba mezi dvěma po sobě jdoucími dodávkami. (Fábry, 2011; Jablonský, 1999)

Pro potřeby této diplomové práce budeme uvažovat pojmy zásoba zboží, produktu, položky, komodity a zdroje za totožné.

Modely teorie zásob jsou v naprosté většině optimalizačního charakteru. Je tedy nezbytné stanovit rozhodovací kritérium, které kvantifikuje konkrétní cíl. Zpravidla obsahuje alespoň jednu řídicí proměnnou, jejíž hodnotu lze měnit. Tou může být například objem zdrojů požadovaných skladem (velikost objednávky) či termín vyžádání zdrojů skladem (frekvence vyžádání). Obvykle jsou zahrnuty i další tzv. neřiditelné vstupy, které nezávisí na žádné řídicí proměnné. Mezi ně řadíme náklady na zásoby, velikost potřeby a pořizovací lhůtu. Z ekonomické povahy členíme optimalizační kritéria na nákladově

orientovaná, bez nákladové orientace (např. objem finančních prostředků vázaných v zásobách) a smíšená. Nyní uveďme značení základních veličin, které budou dále v modelech použity:

T – období uvažované k řízení skladu,

Q – celková potřeba zásob v uvažovaném období T ,

t – délka dopňovacího cyklu,

q – objem dodávky,

s – signální hladina zásob,

S – objednávací hladina zásob,

c_1 – jednotkové náklady na skladování,

c_2 – jednotkové ztráty z nedostatku,

c_3 – náklady na objednávku jedné dodávky. (Lukáš, 2012)

K popisu fungování skladu se obvykle využívají veličiny t, q, s a S . Kdy na objednávací hladinu S je doplněno množství zásob q . Pak jsou zdroje čerpány až na signální hladinu s (bod znovuobjednávky), která je impulzem k vydání požadavku na doplnění skladu. Celý cyklus je délky t . Taktéž jsou tyto veličiny v teorii zásob používány k definování základních typů modelů, které jsou:

(t, S) – po době t dojde k doplnění zásob na hladinu S ,

(t, q) – po době t dojde k doplnění zásob o objemu q ,

(s, S) – po poklesu na hladinu s dojde k doplnění zásob na hladinu S ,

(s, q) – po poklesu na hladinu s dojde k doplnění zásob o objemu q . (Fábry, 2011; Lukáš, 2012)

Modely řízení zásob lze členit například dle povahy poptávky a pohybu zásob na modely stochastické a deterministické, statické a dynamické. V následující části práce budou vybrané typy modelů blíže představeny. (Lukáš, 2012)

5.1 Jednoproductové dynamické deterministické modely

Je-li zásoba tvořena pro jeden druh zboží, tedy doplňování i čerpání jednotlivých zásob probíhá navzájem nezávisle, pak hovoříme o jednoproductových (jednokomoditních) modelech. Dynamické modely se používají v případě průběžného doplňování skladu. Obvykle je zaveden předpoklad, že stav zásob je možné znát okamžitě. Poptávka je dána známou funkcí $x(t)$ definovanou na období uvažované k řízení skladu T . (Lukáš, 2012)

5.1.1 Model EOQ

Tento model byl formulovaný již v roce 1915 F. W. Harrisem a jedná se tak o vůbec nejstarší model z teorie zásob. Taktéž se můžeme setkat s označením model $(s = 0, q)$, Model I nebo Harrisův–Wilsonův model. Zkratka EOQ pochází z anglického názvu Economic Order Quantity model. (Fábry, 2011; Jablonský, 1999; Lukáš, 2012)

Základní předpoklady modelu jsou:

- pořizovací lhůta a poptávka jsou známé konstantní veličiny,
- odebírání zásob ze skladu probíhá rovnoměrně známou konstantní rychlostí,
- velikost všech dodávek/objednávek je neměnná,
- nákupní cena se neodvíjí od objednaného množství,
- plánovaný nedostatek není povolen,
- k doplnění zásob dochází v jednom časovém okamžiku, resp. během velmi krátkého času. (Fábry, 2011; Jablonský, 1999)

Pro poptávku tedy platí:

$$\frac{dx(\tau)}{d\tau} = d = konst, \quad (\text{I})$$

přičemž $x(\tau)$ je funkcí velikosti poptávky v čase τ . Funkci $z(\tau)$, udávající disponibilní (okamžité) množství zásob v čase τ , lze vyjádřit jako:

$$z(\tau) = q(1 - \tau/t), \tau \in [0, t], \quad (\text{II})$$

kde:

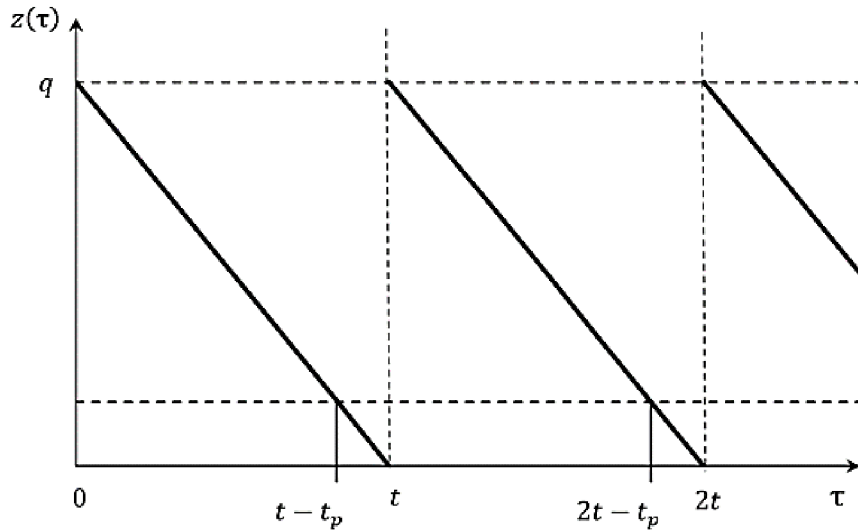
q – objem dodávky zboží,

τ – čas,

t – délka doplňovacího cyklu.

Následující graf zobrazuje její průběh ve dvou doplňovacích cyklech (dvě periody t):

Graf 1: Funkce $z(\tau)$ pro EOQ model



(zdroj: vlastní zpracování dle Lukáš, 2012, s. 36)

Kde horizontála představuje průběh času a na vertikální osu je zaneseno disponibilní množství zásob na skladě. Délku dodací lhůty značíme jako t_p . V grafu jsou patrné periodicky shodné dodávkové cykly obsahující dvě fáze, a to fázi čerpání a doplnění zásob. Pro libovolný okamžik $\tau \in [0, t]$ platí, že $z(\tau) + x(\tau) = q$. K vyčerpání naskladněných zásob dojde v okamžiku kdy $\tau = t$. Náklady spojené s jedním cyklem můžeme obecně vyjádřit jako:

$$N(q) = c_3 + \int_0^t c_1 z(\tau) d\tau. \quad (\text{III})$$

Dosadíme-li za $z(\tau)$ vztah ze vzorce (II), pak po úpravě dostaneme:

$$N(q) = c_3 + c_1 q t / 2. \quad (\text{IV})$$

Tento vztah můžeme využít jednak pro formulaci celkových nákladů za celou uvažovanou dobu řízení skladu T , tedy:

$$N_T(q) = nN(q) = n(c_3 + c_1 q t / 2) \quad (\text{V})$$

nebo také pro formulaci nákladů na jednotku času:

$$C(q) = N(q) / t = (c_3 + c_1 q t / 2) / t, \quad (\text{VI})$$

kde $n = T/t = Q/q$ je počet dodávkových cyklů během doby T a $C(q)$ značí celkové náklady na skladování vztažené na jednotku času. (Lukáš, 2012)

I přesto, že oba postupy vedou ke stejným výsledkům, je druhý přístup využíván častěji, jelikož jasné rozdělení doby řízení skladu a zvolené časové jednotky usnadňují interpretaci nákladových koeficientů.

Chceme-li minimalizovat $C(q)$, pak hodnota q , jež nám to zajistí, je označena jako q_{opt} a udává optimální velikost dodávky ve zvolených množstevních jednotkách zboží. Optimalizační úloha má tvar:

$$\min C(q), q \in (0, \infty). \quad (\text{VII})$$

Optimální velikost dodávky je dána vztahem:

$$q_{opt} = \sqrt{2c_3Q/(c_1T)}, \quad (\text{VIII})$$

z něhož můžeme odvodit optimální délku dodávkového cyklu:

$$t_{opt} = q_{opt}T/Q = \sqrt{2c_3T/(c_1Q)} \quad (\text{IX})$$

a optimální počet cyklů:

$$n_{opt} = Q/q_{opt} = \sqrt{2c_1QT/(2c_3)}. \quad (\text{X})$$

Dále je možné vyčíslit minimální celkové náklady na skladování vztažené na jednotku času jako:

$$C(q_{opt}) = \sqrt{2c_1c_3Q/T} \quad (\text{XI})$$

a minimální celkové náklady spojené se skladováním po celou dobu řízení:

$$N_T(q_{opt}) = TC(q_{opt}) = \sqrt{2c_1c_3QT}. \quad (\text{XII})$$

Průměrnou výši zásob na skladě (q^*) určíme obecně dle vztahu:

$$q^* = \frac{1}{t} q \int_0^t z(\tau) d\tau, \quad (\text{XIII})$$

přičemž pro EOQ model platí, že průměrná výše zásob v průběhu jednoho cyklu je stejná jako během celého období T , tedy:

$$q^* = \frac{1}{t} q \int_0^t \left(1 - \frac{\tau}{t}\right) d\tau = \frac{q}{2}. \quad (\text{XIV})$$

V optimálním případě je pak průměrná výše zásob v průběhu jednoho cyklu dána vztahem:

$$q^*_{opt} = \sqrt{c_3 Q / (2c_1 T)}. \quad (XV)$$

Ve výše zmíněných úvahách předpokládáme okamžité dodání objednávky, to se však v reálném světě neděje příliš často. Aby na skladu nedocházelo k dočasnému nedostatku zásob, je žádoucí novou objednávku zadat s předstihem (klesne-li množství $z(\tau)$ na signální hladinu). Předpokládejme, že doba potřebná k dodání zboží t_p je nezávislá na objednaném množství q a objednávka je vyžádána vždy v právě probíhajícím cyklu, tedy $t_p \in [0, t)$. Pak lze signální hladinu obecně určit vztahem $s = z(t - t_p)$. Pro EOQ model platí, že:

$$s = q_{opt}(t_p/t_{opt}). \quad (XVI)$$

Tento model získal v průběhu času různé modifikace. Například lze uvažovat, že náklady na skladování nejsou v čase konstantní, sledování stavu zásob neprobíhá kontinuálně, nákupní cena je závislá na velikosti objednávky (opční či diferenciální rabaty), rychlost čerpání zboží ze skladu není konstantní, ale například kvadratická, nebo je umožněn přechodný plánovaný nedostatek zásob. Kdy poslední zmíněná modifikace EOQ modelu bude nyní blíže představena. (Lukáš, 2012)

EOQ model s možností přechodného nedostatku zásob je taktéž označován jako Model II či (S, q) model. Jeho předpoklady se od klasického modelu liší pouze tím, že je přípustný přechodný nedostatek zásob. Neuspokojená poptávka bude přednostně uspokojena po nejbližší dodávce. Tato poptávka může být také označena jako zadržaná poptávka, neuspokojená poptávka minulého období nebo objem nevyřízených objednávek pro čerpání zboží ze skladu z minulého období. Její výši za dobu nedostatku značíme $-s$. Dodávkový cyklus je rozdělen na dva intervaly, a to:

- t_1 – délka intervalu čerpání zásob,
- t_2 – délka intervalu, kdy dochází k nedostatku zásob.

Délka celého dodávkového cyklu je pak součtem těchto dvou intervalů. (Jablonský, 1999; Lukáš, 2012)

Optimalizace skladu je opět provedena prostřednictvím minimalizace nákladů na zásoby, přičemž půjde o funkci dvou proměnných q a S (hladina maximálního množství zásob). Minimalizační úloha má tvar:

$$\min C(S, q), \text{ pro } S > 0, q > 0, \quad (XVII)$$

kde:

$$C(S, q) = \frac{N(S, q)}{t} = \frac{c_1 S^2}{2q} + \frac{c_2 (q - S)^2}{2q} + \frac{c_3 Q}{qT}. \quad (\text{XVIII})$$

Optimální hodnotu objemu dodávky, hladiny objednání zásob a délky cyklu lze získat z následujících vztahů:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{2c_3 Q}{c_1 T}} \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{c_2}}, \quad (\text{XIX})$$

$$S_{opt} = q_{opt} \frac{c_2}{c_1 + c_2}, \quad (\text{XX})$$

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{2c_3 T}{c_1 Q}} \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{c_2}}. \quad (\text{XXI})$$

Pro míru přípustného rizika přechodného nedostatku platí:

$$\rho = \frac{c_1}{c_1 + c_2}. \quad (\text{XXII})$$

Pokud tento vzorec použijeme k určení velikosti ztráty c_2 při známé hodnotě ρ a c_1 , pak vypočtená hodnota jednotkové ztráty z nedostatku se označuje jako imputovaná ztráta. Celkové náklady na skladování zboží po celou dobu řízení skladu vyjadřuje následující vztah:

$$N_T(S_{opt}, q_{opt}) = \sqrt{2c_1 c_3 Q T} \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{c_2}}. \quad (\text{XXIII})$$

(Lukáš, 2012)

Z výše uvedených poznatků o EOQ modelu lze odvodit, že pokud je zaveden předpoklad neměnné nákupní ceny, pak optimální objednané množství není závislé na tomto nákladu. Nákupní cena tak nevstupuje do matematických výpočtů. Dále je patrné, že optimální úroveň zásob, při které by měly být zásoby doplněny, nemůže dle modelu nikdy být větší než 0. Pokud by nebyl splněn předpoklad konstantní dodací lhůty, je vhodné si ponechat nějakou pojistnou zásobu. I přesto, že základní předpoklady modelu jsou poměrně striktní a v praxi se s nimi lze setkat jen zřídka, bylo zjištěno, že EOQ model poskytuje téměř optimální výsledky i v případě, kdy jsou předpoklady

pouze hrubou aproximací reality. Pokud by došlo k jejich významnému porušení, pak je důležité provést předběžnou analýzu zaměřenou na výpočet celkových nákladů na jednotku času pro různá množství objednávek a posoudit, jak se mění nákladová křivka při uvažování reálných a zjednodušených předpokladů. (Hillier & Lieberman, 2015)

Byla-li by intenzita poptávky v čase nestálá během celé doby řízení skladu, pak je vhodné využít metod dynamického programování. Do modelů řízení zásob je možné také zahrnout různá omezení, jako je například maximální kapacita skladu či celková cena objednávky. Řešení těchto úloh je obvykle založeno na nelineárním programování s využitím Lagrangeových multiplikátorů. Jelikož jsou zmíněné metody poměrně rozsáhlé a pro potřeby této diplomové práce ne tak zásadní, nebudeme se jimi dále zabývat. (Lukáš, 2012)

V poslední řadě je dobré zmínit, že EOQ model a metoda JIT jsou někdy mylně považovány za neslučitelné. Skutečnost je ale taková, že tyto přístupy se navzájem doplňují, jelikož systém JIT se zaměřuje na omezení plýtvání, které zahrnuje například nadbytečné zásoby či dlouhé dodací lhůty. Minimalizace plýtvání je tak klíčovou součástí špičkového řízení zásob. (Hillier & Lieberman, 2015)

5.1.2 Model POQ

Zkratka POQ pochází z jeho anglického názvu Production Order Quantity model. V literatuře se můžeme setkat také s označením Model III, model $(s = 0, S)$, produkční model nebo produkčně spotřební model. Jde o model periodicky doplňovaných zásob s konečnou rychlostí doplňování. Jeho předpoklady jsou obdobné jako u modelu EOQ s výjimkou způsobu doplňování skladu, jelikož dodávka nepřichází v jednom časovém okamžiku. Dodávkový cyklus lze rozdělit na interval:

- výrobní (t_1), charakteristický kontinuálním doplňováním a čerpáním zásob;
- spotřební (t_2), kdy jsou zásoby pouze spotřebovávány.

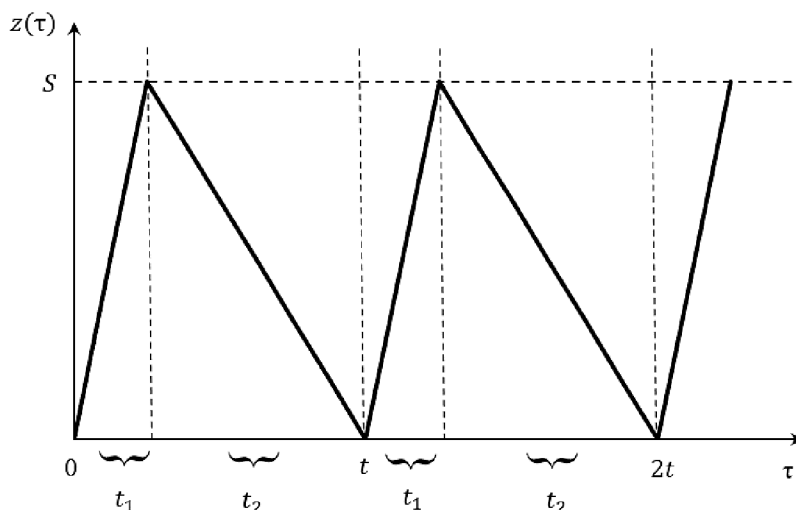
Po plném vyčerpání zásob dochází znovu k zahájení výroby a celý cyklus se opakuje. Délka jednoho cyklu je součtem těchto intervalů $t = t_1 + t_2$. Rychlost doplňování (výroby) je konstantní na intervalu $[0, t_1]$, nulová na intervalu (t_1, t) o délce t_2 a značíme ji v . Rychlost čerpání d je konstantní v rámci celého cyklu a platí, že $d < v$. (Jablonský, 1999; Lukáš, 2012)

Funkce okamžitého množství zásob v čase τ je na intervalu $[0, t]$ spojitá a lze ji definovat jako:

$$\begin{aligned} z(\tau) &= z_1(\tau) = (v - d)\tau, & \tau \in [0, t_1], \\ z(\tau) &= z_2(\tau) = S - d(\tau - t_1), & \tau \in [t_1, t]. \end{aligned} \quad (\text{XXIV})$$

Její průběh je pro dvě periody zobrazen na následujícím grafu:

Graf 2: Funkce $z(\tau)$ pro POQ model



(zdroj: vlastní zpracování dle Lukáš, 2012, s. 42)

Náklady spojené se zásobami po dobu jednoho cyklu délky t časových jednotek lze vyjádřit jako:

$$N(q) = c_3 + c_1 q(t - t_1)/2, \quad (\text{XXV})$$

kde c_3 značí fixní náklady na spuštění výroby během cyklu. Z čehož můžeme odvodit tvar rovnice pro náklady na skladování zásob za jednotku času:

$$C(q) = N(q)/t = c_1 q(1 - T_1/T)/2 + c_3 Q/(qT), \quad (\text{XXVI})$$

kde T_1 představuje celkovou dobu potřebnou pro výrobu množství Q zboží. Bude-li řízení zásob provedeno při minimalizaci nákladů, pak má optimalizační úloha tvar:

$$\min C(q), \quad q \in (0, \infty), \quad (\text{XXVII})$$

kde:

$$q_{opt} = \operatorname{argmin} C(q). \quad (\text{XXVIII})$$

Optimální velikost objednávky tedy určíme dle vztahu:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{2c_3Q}{c_1(T - T_1)}} \quad (\text{XXIX})$$

a optimální délku jednoho cyklu vyjádříme jako:

$$t_{opt} = \frac{q_{opt}T}{Q} = T \sqrt{\frac{2c_3}{c_1Q(T - T_1)}}. \quad (\text{XXX})$$

Výši nákladů za jednotku času a celkových nákladů po dobu řízení skladu T při platnosti těchto vztahů vypočteme dle:

$$C(q = q_{opt}) = \sqrt{\frac{2c_1c_3Q \left(1 - \frac{T_1}{T}\right)}{T}}, \quad (\text{XXXI})$$

$$N_T(q_{opt}) = \sqrt{2c_1c_3Q(T - T_1)}. \quad (\text{XXXII})$$

Základní model lze opět dále modifikovat obdobnými způsoby jako u výše zmíněného EOQ modelu. Provedeme-li jejich porovnání, zjistíme, že v případě POQ modelu dojdeme k nižší hodnotě nákladů spojených se skladováním zásob. (Lukáš, 2012)

5.2 Jednoproductové statické stochastické modely

Statické modely jsou charakteristické jednou jedinou dodávkou zásob, která je uskutečněna na začátku sledovaného období. Tyto modely jsou většinou aplikovány na zboží sezónního charakteru a zboží podléhající rychlé zkáze či znehodnocení. V případě stochastické poptávky jsou založeny na optimalizačním kritériu ve tvaru střední či očekávané hodnoty ztráty. Optimalizační úloha má tvar:

$$\min E(N(q)), \quad (\text{XXXIII})$$

kde:

$E(\cdot)$ představuje operátor výpočtu střední hodnoty příslušné náhodné veličiny, $N(q)$ značí ztrátu (náklady) vzniklou neznalostí přesné potřeby. (Fábry, 2011; Lukáš, 2012)

Optimální hodnotu q_0 vyjádříme obecně jako:

$$q_0 = \operatorname{argmin} E(N(q)). \quad (\text{XXXIV})$$

Stochastický model pracuje s neřiditelnými vstupy, kterými jsou skladovací náklady, náklady z nedostatku a poptávka. Náklady jsou povětšinou chápány jako jednorázové

a jejich hodnoty musí být stanoveny za stejné časové období. Poptávka může být buďto diskrétní nebo spojitá. V prvním případě je její výše dána pravděpodobnostní tabulkou obecně ve tvaru $\{x_i, p(x_i)\}$, $i = 0, 1, 2, \dots$. Při pořízení zásob o objemu $q \in \{x_i\}$ je celková ztráta $N(q)$ závislá na rozdílu poptávky a disponibilní zásoby, tedy je-li:

$x_i < q$ poptávka menší než zásoba, pak ztráta z nadbytečné zásoby dosahuje $c_1(q - x_i)$;

$x_i = q$ poptávané množství právě rovno množství zásob na skladě, ztráta je nulová;

$x_i > q$ poptávka větší než zásoba, pak ztráta z nedostatku zásob bude $c_2(x_i - q)$.

Střední hodnota celkových ztrát je dána vztahem:

$$E(N(q)) = c_1 \sum_{j=0}^{i-1} (q - x_j)p(x_j) + c_2 \sum_{j=i+1}^{\infty} (x_j - q)p(x_j). \quad (\text{XXXV})$$

Pro nalezení lokálního minima porovnáváme očekávané celkové ztráty pro tři sousední možné hodnoty dodávky $q \in \{x_{i-1}, x_i, x_{i+1}\}$, $i = 0, 1, 2, \dots$ a v případě, kdy nalezneme takové i , pro něhož bude splněna diskrétní podmínka minima:

$$E(N(q = x_{i-1})) \geq E(N(q_0 = q = x_i)) \leq E(N(q = x_{i+1})), \quad (\text{XXXVI})$$

pak $q_0 = q = x_i$.

Pracujeme-li pouze s celočíselnou poptávkou, pak i optimální dodávka bude celočíselná. Pro její určení můžeme definovat následující vztah, který se rovněž využívá k odhadnutí veličiny c_2 v případě, kdy ji přesně nedokážeme určit:

$$\sum_{j=0}^{i-1} p_j \leq \frac{c_2}{c_1 + c_2} \leq \sum_{j=0}^i p_j, \quad (\text{XXXVII})$$

potom pro takové i , pro které platí tento vztah, pokládáme $q_0 = i$. Vypočtená hodnota nákladů z nedostatku c_2 je pak označována jako imputovaná ztráta. (Lukáš, 2012)

V druhém případě, tedy je-li poptávka spojitá, pak je dána distribuční funkcí $F(x) = P(X < x)$ respektive hustotou pravděpodobnosti $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$. Kde X představuje poptávku jakožto náhodnou veličinu a její jednotlivé konkrétní hodnoty značíme x . $P(X < x)$ je pravděpodobnost, že náhodná poptávka X nepřesáhne konkrétní hodnotu x . Při pořízení zásoby o objemu $q \in X$ je celková ztráta $N(q)$ založena na obdobném principu jako v případě diskrétní poptávky a střední hodnotu celkových ztrát $E(N(q))$ vyjadřuje vztah:

$$E(N(q)) = c_1 \int_0^q (q-x)f(x)dx + c_2 \int_q^\infty (x-q)f(x)dx. \quad (\text{XXXVIII})$$

Předpokládáme však, že poptávka X je tzv. absolutně spojitá, tedy lze ji popsat hustotou pravděpodobnosti $f(x)$. Pokud bychom chtěli z tohoto vzorce vypočíst optimální velikost objednávky, pak bychom opět využili vztahu uvedeného v rovnici (XXXIV). Řešení by ale bylo poměrně náročné, proto je vhodné ke stanovení optimální velikosti objednávky využít následující vztah:

$$\frac{F(q_0)}{1-F(q_0)} = \frac{c_2}{c_1}, \quad (\text{XXXIX})$$

z něhož vyplývá, že při optimální velikosti dodávky je poměr pravděpodobnosti uspokojení k pravděpodobnosti neuspokojení poptávky roven poměru jednotkové ztráty v případě nedostatku k jednotkové ztrátě z nadbytku. Předpokládáme, že distribuční funkce a náklady c_1 a c_2 jsou známy. (Lukáš, 2012)

Není-li možné přesně vyčíslit náklady nedostatku, pak je vhodné pracovat s následujícím vztahem:

$$\gamma = \frac{c_3}{c_1 + c_3}, \quad (\text{XL})$$

za jehož platnosti je dosaženo minimální úrovně střední hodnoty nákladů. γ značí pravděpodobnost, že nedojde ke vzniku nedostatku zásob (úroveň obsluhy). (Jablonský, 1999)

5.3 Jednoduché dynamické stochastické modely

Tyto modely se využívají v případě, kdy existuje značná nejistota ohledně budoucí poptávky. Ta je velmi často vyjádřena v akumulovaných (agregovaných) hodnotách za celé uvažované období T , tedy $x(T) \in X(T)$. Přičemž X opět značí poptávku jakožto náhodnou veličinu. V tomto případě je ale vyjádřena za celé období T . Konkrétní hodnoty agregované poptávky značíme malým písmenem. Ke snížení rizika nedostatku zásob je v případě těchto modelů vytvářena pojistná zásoba. (Hillier & Lieberman, 2015; Lukáš, 2012)

Základní členění dynamických stochastických modelů je na:

- Q-systémy, kdy v okamžiku poklesu hladiny zásob na signální hladinu s je objednáváno (dodáváno) stále stejné množství zásob $q = S - s$. Přičemž

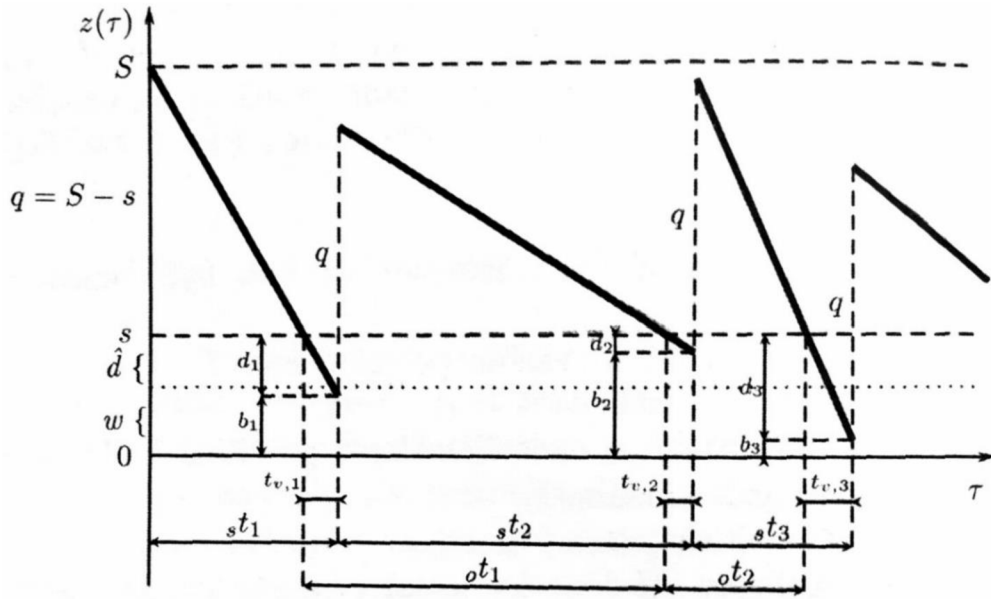
S značí maximální hladinu zásob. Délky objednacích i dodávkových cyklů ($t_1, t_2 \dots$ časových jednotek) nejsou konstantní. Stav zásob na skladě musí být možné sledovat alespoň v pravidelných a relativně krátkých intervalech. Tohoto přístupu je nejčastěji využíváno ve velkoobchodních skladech.

- P-systémy, charakteristické konstantní dobou mezi dvěma objednávkami a proměnným množstvím objednávaných zásob tak, aby bylo dosaženo hladiny S . Nejčastěji platí, že $q = S - z(\tau_0)$, kde $z(\tau_0)$ představuje aktuální množství zásob na skladě v okamžiku objednání τ_0 . Je-li doba dodání delší než doba mezi dvěma objednávkami, pak je $z(\tau)$ nahrazeno dispoziční (fiktivní) hladinou zásob $y(\tau) = z(\tau) + q_k$, kde q_k je množství objednaných zásob v poslední provedené objednávce, která zatím nebyla dodána. Velikost pojistné zásoby je v případě P-systému vyšší, jelikož slouží k pokrytí náhodných výkyvů poptávky nejen v pořizovací lhůtě, ale i během konstantní doby mezi objednávkami. Nejčastěji je tento model využíván v maloobchodech. (Hušek & Samek, 1971; Lukáš, 2012)

5.3.1 Model s konstantní velikostí dodávky

Jedná se o model založený na Q-systému a je též označován jako model (s, q) . Jeden z předpokladů je, že rychlost čerpání zásob ze skladu se v jednotlivých cyklech může lišit, ale v rámci jednoho cyklu je konstantní a její průměrná hodnota je po celou dobu řízení skladu T neměnná. Charakteristický průběh funkce okamžitého množství zásob v čase τ je pro tento model znázorněn na následujícím grafu:

Graf 3: Funkce $z(\tau)$ v dynamickém stochastickém modelu s konstantní velikostí dodávky



(převzato z: Lukáš, 2012, s. 98)

K určení optimální výše objednávky je využito vztahu z modelu EOQ, v tomto případě konkrétně vzorce (VIII), kdy známá velikost poptávky je nahrazena průměrnou spotřebou v uvažovaném období T , tedy:

$$\hat{q}_{opt} = \sqrt{\frac{2c_3E(Q)}{c_1T}}. \quad (\text{XLI})$$

Předpokládáme-li, že doba, kdy je na skladě nulová zásoba, je velmi krátká, pak:

$$\hat{n}_{opt} = \frac{E(Q)}{\hat{q}_{opt}} = \sqrt{\frac{c_1E(Q)T}{2c_3}} \quad (\text{XLII})$$

je vztahem pro určení průměrného počtu provedených objednávek za dobu řízení skladu. Z grafu 3 je zřejmé, že úroveň signální hladiny je součtem pojistné zásoby w a průměrné velikosti poptávky \hat{d} během dodací lhůty v průměrném cyklu. Přičemž \hat{d} lze vyjádřit jako:

$$\hat{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (\text{XLIII})$$

nebo:

$$\hat{d} = \hat{t}_r \frac{E(Q)}{T}, \quad (\text{XLIV})$$

kde d_i je známá spotřeba v každém i -tém cyklu a \hat{t}_r značí průměrnou dobu potřebnou k dodání zboží. V případě stochastických modelů je velmi často zaveden předpoklad, že agregátní poptávka Q sleduje normální rozdělení s parametry μ (střední hodnota) a σ^2 (rozptyl). V dalších úvahách budeme předpokládat jeho platnost. (Lukáš, 2012)

Chceme-li vyjádřit výši pojistné zásoby, pak je nezbytné nejdříve určit, jakou míru rizika vyčerpání zásob v průběhu průměrného cyklu jsme ochotni podstoupit (α), jelikož pojistnou zásobou nejsme schopni pokrýt všechny možné výkyvy poptávky. $1 - \alpha$ je pravděpodobnost, že disponibilní množství zásob na skladě bude dostatečné k pokrytí poptávky a jedná se o tzv. úroveň služeb. Známe-li denní údaje o poptávce, jejíž intenzita, značena jako G , sleduje normální rozdělení se střední hodnotou g a rozptylem σ_g^2 , pak výši pojistné zásoby (w) při konstantní dodací lhůtě vypočteme dle vztahu:

$$w = [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]\sigma_g(t_r)^{\frac{1}{2}}, \quad (\text{XLV})$$

kde:

$\Phi^{-1}(\cdot)$ značí inverzní funkci k distribuční funkci normálního rozdělení se střední hodnotou 0 a směrodatnou odchylkou 1,

$(1 - \alpha)$ je úroveň služeb,

σ_g odpovídá směrodatné odchylce denní poptávky,

t_r je konstantní délka dodací lhůty.

Signální hladina je pak součtem průměrné poptávky \hat{d} v dodací lhůtě a pojistné zásoby, tedy:

$$s = \hat{d} + w = gt_r + [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]\sigma_g(t_r)^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{XLVI})$$

Pro úplnost uveďme vyjádření pojistné zásoby v případě, kdy poptávka i dodací lhůta jsou náhodné a navzájem nezávislé veličiny:

$$w = [\Phi^{-1}(1 - \alpha)] * (r\sigma_g^2 + g^2\sigma_r^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (\text{XLVII})$$

přičemž doba realizace dodávky T_r sleduje normální rozdělení se střední hodnotou r a rozptylem σ_r^2 . Parametry rozdělení jsou obvykle vyjádřeny ve dnech. Zavedený předpoklad, že dodací lhůta či intenzita poptávky jsou náhodné veličiny s normálním rozdělením, je v praxi velmi často použit i přesto, že se jedná o zjednodušení reality.

Cílem je usnadnění výpočtů a použitelnosti. Další modifikace modelu umožňují například odložení poptávky a její uspokojení bezprostředně po dodání nové objednávky nebo uvažování ztrát z neuspokojené poptávky. (Lukáš, 2012; Taylor, 2004)

5.3.2 Model s periodickým doplňováním dodávkami o nestejně velikosti

Jedná se o model řízení zásob založený na P-systému a bývá také označován jako model (t, S) . Využívá se v případě, kdy stav zásob na skladě je znám pouze v určitých časových intervalech. Jelikož je velmi často obtížné přesně vyčíslit náklady z nedostatku, tak se zaměříme na určení optimální velikosti objednávky na základě požadované úrovně služeb. Pojistná zásoba, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 5.3, slouží k pokrytí náhodných výkyvů poptávky nejen v pořizovací lhůtě, ale i během konstantní doby mezi objednávkami. Proto vzorec (XLV), pro výpočet pojistné zásoby za předpokladu konstantní dodací lhůty v případě Q-systému, rozšíříme o pevně stanovenou délku období mezi dvěma objednávkami (t) , tedy:

$$w = [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]\sigma_g\sqrt{(t + t_r)}, \quad (\text{XLVIII})$$

kde:

$\Phi^{-1}(\cdot)$ značí inverzní funkci k distribuční funkci normálního rozdělení se střední hodnotou 0 a směrodatnou odchylkou 1,

$(1 - \alpha)$ je úroveň služeb,

σ_g odpovídá směrodatné odchylce denní poptávky,

t_r je konstantní délka dodací lhůty,

t značí délku období mezi dvěma objednávkami.

Maximální hladina zásob S je dána součtem průměrné poptávky za dobu mezi dvěma dodávkami a pojistné zásoby. Odečteme-li od ní disponibilní množství zásob na skladě v okamžiku kontroly stavu zásob a vytvoření objednávky, pak získáme optimální velikost objednávky:

$$q_{opt} = g(t + t_r) + [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]\sigma_g\sqrt{t + t_r} - z(\tau_0), \quad (\text{XLIX})$$

kde:

g – střední hodnota normálně rozdělené poptávky,

t – pevně stanovená doba mezi dvěma objednávkami,

t_r – známá konstantní dodací lhůta,

$\Phi^{-1}(\cdot)$ – inverzní funkce k distribuční funkci normálního rozdělení se střední hodnotou 0 a směrodatnou odchylkou 1,

$(1 - \alpha)$ – úroveň služeb,

σ_g – směrodatná odchylka normálně rozdělené poptávky,

$z(\tau_0)$ – disponibilní množství zásob na skladě v okamžiku kontroly stavu zásob a vytvoření objednávky.

Přičemž proměnné vstupující do modelu jsou vyjádřeny ve stejných časových jednotkách, nejčastěji ve dnech. Předpokládáme, že denní poptávky jsou nejisté, nezávislé a lze je popsat normálním rozdělením s parametry g a σ_g^2 . Je patrné, že mezi výší objednávky a pravděpodobností vyčerpání zásob v následujících obdobích je závislost. Nicméně v praktických aplikacích modelů řízení zásob je zaveden předpoklad, že pojistná zásoba je závislá pouze na délce pořizovací lhůty a na jednom objednacím cyklu. (Lukáš, 2012; Taylor, 2004)

6 Cíle a metodika

Cílem diplomové práce je navrhnout optimalizaci řízení zásob v reálném podniku za pomoci metod operačního výzkumu a následně ji porovnat se zavedeným způsobem objednávání. Výzkumná otázka zní:

- Lze podnikem zavedený způsob zásobování u vybraných položek zásob optimalizovat s využitím metod operačního výzkumu?

Nejprve je potřeba seznámit se s aktuálním způsobem řízení zásob ve vybraném podniku, celkovým sortimentem zásob, možnostmi dodávek a skladováním. Dále také s evidencí zásob a funkcemi, které nabízí podnikový informační systém. Následně bude provedena analýza zásob, na jejímž základě budou vybrány zásoby k optimalizaci. K tomu účelu bude využita ABC analýza s přihlédnutím k hodnotám obrátkovosti. Potřebná data budou získána z podnikového informačního systému.

U vybraných zásob bude zjištěna evidovaná historická spotřeba, která bude analyzována a případně upravována takovým způsobem, aby bylo možné aplikovat metody řízení zásob. Úprava dat bude zahrnovat například standardizaci či rozvržení inventárních zápisů za pomoci kvalifikovaného odhadu zaměstnance zabývajícího se evidencí zásob. Na základě přesnosti historické evidence zásob bude stanoveno období, kterým se budeme dále zabývat. Bude-li spotřeba klasifikována jako spojitá se stochastickou povahou, pak je zásadní nalézt její empirickou distribuční funkci či možné pravděpodobnostní rozdělení. K určení pravděpodobnostního rozdělení bude využit histogram, Q-Q graf, Shapirov–Wilkův test, Kolmogorův–Smirnov test nebo další potřebné testy, které provedeme prostřednictvím softwaru RStudio.

Jelikož je metod řízení zásob nepřehledné množství, je nezbytné vybrat takovou metodu, která je v souladu s charakterem poptávky a reálnými možnostmi společnosti. Následně bude navržen způsob zásobování, který se dle metod operačního výzkumu jeví jako nejvhodnější. Abychom mohli posoudit, zdali by firma měla v případě analyzovaných zásob přejít k navrhovanému řešení, tak si taktéž vyžádáme historická data o provedených objednávkách. Tyto způsoby zásobování porovnáme na základě z nich plynoucích nákladů a zhodnotíme, zdali by navrhovaná optimalizace mohla být pro firmu výhodná.

7 Představení společnosti

Firma ASARKO s.r.o. je stavební firma působící v České republice od roku 1998. Sídlí nedaleko Českých Budějovic a v roce 2022 zaměstnávala v průměru 32 osob. Zprvu se společnost zaměřovala pouze na výrobu a montáž dekorativních fasádních prvků, ale s postupem času své služby rozšířila, například o rekonstrukci pláštěů, střech, zajišťování zateplení či poskytování řešení tepelných mostů. Její hlavní zákazníci jsou převážně právnické osoby. V současné době je držitelem několika certifikátů, například managementu kvality a environmentálního managementu. (Asarko, 2021; Ministerstvo spravedlnosti České republiky, [2022])

Zaměříme-li se na činnosti související se skladováním a evidencí zásob, pak společnost disponuje jedním zastřešeným skladem, do něhož lze uložit přibližně 50 palet zásob. Přičemž položky mohou být skladovány také v regálech. Dále je využíváno i otevřených skladových prostorů, které nejsou kryty a jsou tak určeny pro zásoby, jejichž vlastnosti neovlivňují vnější vlivy, tedy například výkyv teplot či vlhkost. V těchto prostorech jsou na paletách skladovány balené tepelné izolace, tj. polystyren a vata. Přibližná kapacita venkovních prostorů je 40 palet zásob. Oba výše zmíněné skladové prostory se nacházejí v místě sídla firmy. K manipulaci zásob je k dispozici jeden vysokozdvíhací vozík se spalovacím motorem a dva ruční vysokozdvíhací vozíky.

Pohyb zásob je zaznamenáván v podnikovém informačním systému, který budeme dále označovat zkratkou PIS, v němž jsou veškeré zásoby rozděleny do 34 sortimentních skupin (např. barvy, betony, lepidla, minerální vata, nářadí, omítka, penetrace, polystyren, tmely, sklotkanina atd.). U jednotlivých zásob je pak evidován kód, název, skupina, stav na skladu, prodejní cena, hlavní dodavatel, poslední nákupní cena a průměrná skladová cena.

Jelikož výdej ze skladu provádí jiné osoby než ty, které zapisují pohyby do PIS, tak často dochází k situacím, kdy zboží je ze skladu vydáno, ale již nedojde k dalšímu předání informací a uskutečnění zápisu o výdeji. A tak pravidelná inventura, prováděná vždy ke konci roku, obvykle odhalí velké nepřesnosti mezi evidovaným a skutečným stavem na skladě. Inventury jsou do PIS zaneseny povětšinou s datem 31. 12. nebo s poznámkou „INVENTURA“, aby bylo možné tyto zápisy odlišit od skutečných pohybů. Zároveň jsou pohyby zásob zaznamenávány dle časových možností zaměstnanců, a proto evidovaný stav na skladu je pouze orientační a často plně neodpovídá realitě. Nejen z těchto důvodů

není k plánování objednávek využíván žádný sofistikovaný matematický či softwarový aparát, nýbrž objednávky jsou prováděny dle znalostí a zkušeností zaměstnanců.

Firma ASARKO s.r.o. využívá dva způsoby dodání materiálů, a to dodávku přímo na místo stavby, tedy rovnou k zákazníkovi, nebo dopravu na sklad v sídle firmy. Ze skladu je materiál vydáván buďto přímo zákazníkům nebo je dále rozvážen na jednotlivé stavby dle potřeby.

8 Analýza zásob

Z PIS byly vybrány skladové položky, které jsou nastaveny jako aktivní a mají zaznamenán pohyb. Následně byly z analýzy eliminovány zásoby s nulovou hodnotou průměrného stavu na skladě, abychom odfiltrovali ty, které jsou vždy dodávány přímo k zákazníkovi. U zbylých položek byl zjištěn průměrný denní výdej vyjádřený ve skladových cenách a jejich obrátkovost za období od 1. 1. 2011 do konce roku 2021. Toto období bylo zvoleno z toho důvodu, že ke konci roku nedochází k uzávěrkám skladu, a tak se při výběru kratšího časového úseku vyskytují i záporné hodnoty obrátkovosti. Jednotlivé skladové položky byly seřazeny v sestupném pořadí dle denního výdeje v korunách a byly vypočteny kumulativní relativní četnosti, z nichž bylo vyvozeno následující rozčlenění jednotlivých zásob do tří skupin:

Tabulka 4: Aplikace ABC analýzy – rozčlenění do skupin

Skupina	A	B	C
Podíl na celkovém průměrném denním výdeji [%]	60	30	10
Počet položek	9	21	49
Podíl na celkovém počtu zkoumaných položek [%]	11	27	62

(zdroj: příloha 1; vlastní zpracování)

Zaměříme-li se na skupinu A, do které bylo zařazeno celkem 9 položek zásob, pak jejich výpis spolu s hodnotou obrátkovosti a průměrného denního výdeje v korunách zobrazuje následující tabulka:

Tabulka 5: Aplikace ABC analýzy – výpis zásob ze skupiny A

Kód položky	Obrátkovost	Průměrný denní výdej [Kč]
ELASTIK 720	500	438
SITOVINA R 117	435	818
WEBER TMEL	400	1 108
EPS 70F TL 120MM	172	382
KOOLTHERM 80	161	399
MINERAL VATA 120MM	132	835
MINERAL VATA 140MM	23	752
MINERAL VATA FRONTS 100MM	10	416
STO LEVELL BASIC	3	487

(zdroj: příloha 1; vlastní zpracování)

Těmto položkám je vhodné v oblasti řízení zásob věnovat zvýšenou pozornost, jelikož vážou značné množství finančních prostředků. První tři položky uvedené v tabulce 5 jsou vůbec nejvýše obrátkovými zásobami ze všech a zároveň mají stejného hlavního dodavatele. Ten nabízí dopravu zdarma v případě, že celková cena objednávky přesáhne hranici 20 000 Kč. Pokud nejsou splněny předpoklady pro bezplatnou dopravu, pak firma ASARKO s.r.o. zajistí dopravu vlastním dodávkovým vozem. Tento způsob dopravy je však využíván pouze v malé míře a bývá spojen s nákupem u jiných dodavatelů v okolí či s cestou k zákazníkům. Následující tabulka zobrazuje jednotlivé zásoby, u kterých je využíváno dodávek na sklad a jsou objednávány od výše zmíněného dodavatele:

Tabulka 6: Výpis zásob se společným dodavatelem

Kód položky	Průměrná denní spotřeba [Kč]	Obrátkovost	Obrat	Průměrný denní stav na skladu [Kč]
WEBER TMEL	1 108	400	0,0025	2,83
SITOVINA R 117	818	435	0,0023	1,91
ELASTIK 720	438	500	0,0020	0,89
PENETRACE W 000	218	149	0,0067	1,36
ELASTIK 720Z	150	34	0,0296	4,41
HMOZDINKA 8 X 290	88	40	0,0248	2,10
MINERZATKA	76	118	0,0085	0,65
PENETRACE STOMIX	68	1	0,8000	54,05
HMOZDINKA 8 X 150CN	59	79	0,0127	0,73
PENETRACE L 000	55	32	0,0317	1,69
PENETRACE O 000	29	27	0,0365	0,94
WEBER THERM -7	28	14	0,0712	1,98
WEBER MIX	16	24	0,0410	0,66
WEBER THERM MIN	15	23	0,0437	0,63
ODSTRANOVAC MECH LISEJNI	13	3	0,3506	4,66
FASADNI CISTICI PROSTRED	8	2	0,5000	4,10
TERRA LZS 730 25	7	11	0,0909	0,60

(zdroj: vlastní zpracování dle dat z PIS)

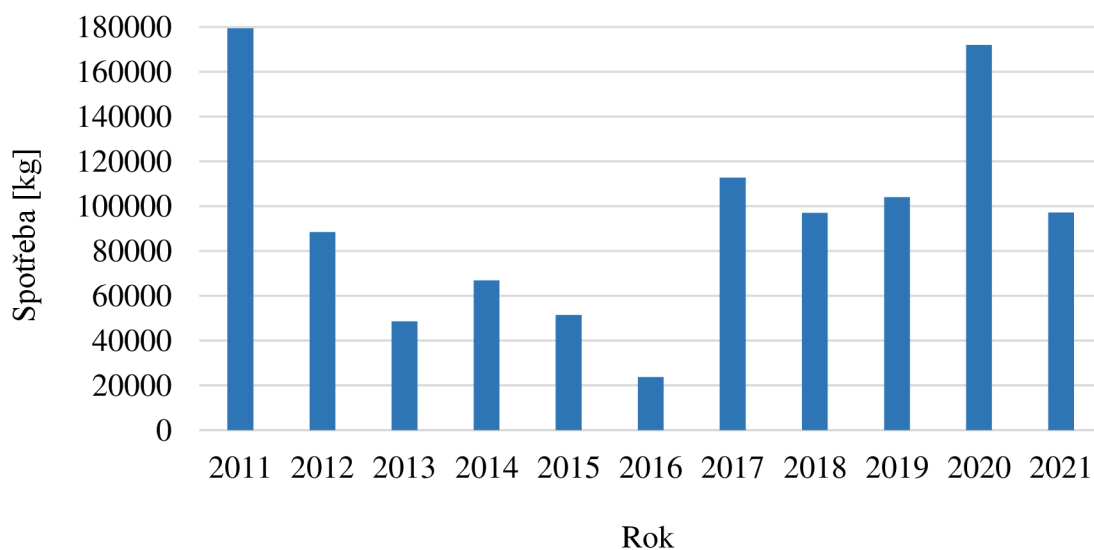
Tabulka zahrnuje také průměrnou denní spotřebu v korunách, obrátkovost, obrat a průměrný stav na skladu v korunách. Hodnoty těchto ukazatelů byly získány z PIS a jsou vypočteny za období od roku 2011 do konce roku 2021. Jelikož doprava přímo na místo stavby je do systému zadána jako příjemka a výdejka v ten samý den, tak není možné tento způsob dodání z vyobrazených hodnot odfiltrovat. Proto je pro další analýzu nezbytné brát výše zmíněné hodnoty pouze jako orientační. K optimalizaci byly vybrány dvě položky s nejvyšší průměrnou denní spotřebou.

8.1 Analýza spotřeby položky Weber tmel

Tato položka na cementové bázi se využívá například pro lepení izolačních materiálů. Dodává se v balení o váze 25 kg, kdy na jednu paletu lze uložit 42 kusů balení, tj. 1 050 kg. Zpravidla není nedostatkovým zbožím, a proto je její dodání umožněno do druhého dne od objednání. V případě vlastní dopravy ji lze odebrat okamžitě, a to i ve velkém množství. Výdej je uskutečňován nejen pro nasmlouvané zakázky, ale i pro přeprodej zákazníkům.

Výdeje zásoby byly získány ze skladové karty, nicméně pro potřeby další analýzy bylo nezbytné data upravit, tedy například odstranit pohyby, které nejdu přes sklad. Dále došlo k rozvržení inventárních zápisů, kdy úpravy byly provedeny s využitím expertního odhadu zaměstnance zabývajícího se evidencí zásob při zohlednění evidovaného stavu na skladě. Následující graf zobrazuje hodnoty agregované roční spotřeby po odstranění pohybů, které nejdu přes sklad:

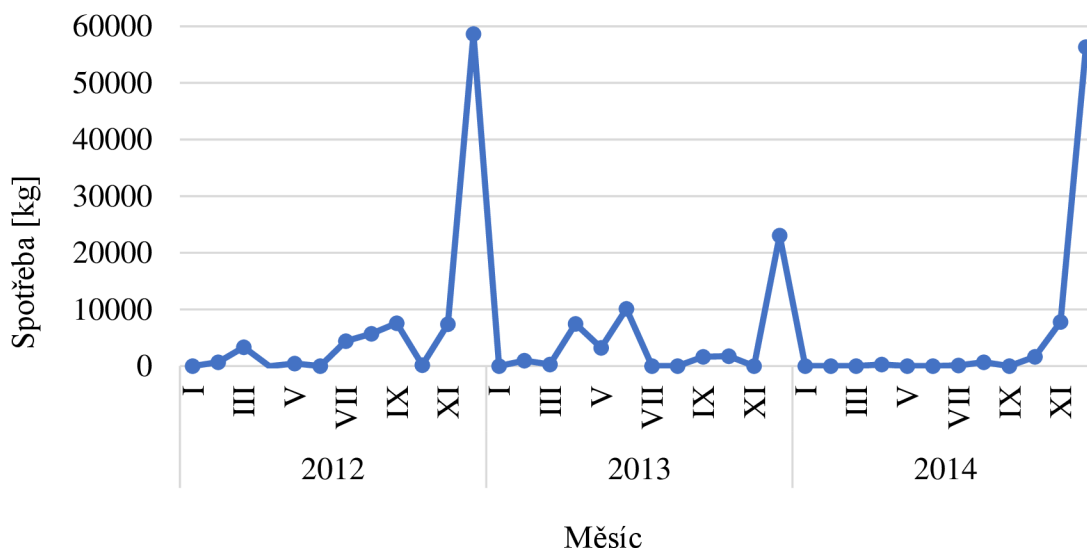
Graf 4: Weber tmel – agregovaná roční spotřeba v letech 2011 až 2021



(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Jelikož pohyb zásob není zpravidla do systému zadáván okamžitě, tak budeme brát v úvahu pouze hodnoty agregované měsíční spotřeby, které by dle zaměstnanců zabývajících se skladovou evidencí měly již téměř plně odpovídat realitě. Zaměříme-li se na její vývoj mezi roky 2011 až 2016, pak dojdeme k závěru, že v průběhu těchto let byl výdej zaznamenáván pouze sporadicky. Kdybychom se pokusili upravit data o prosincové inventární zápisy, bylo by to nejen velmi obtížné, ale také bychom mohli získat značně zkreslené závěry vlivem nepřesného rozložení. Následující graf zobrazuje evidovanou měsíční spotřebu v letech 2012 až 2014, kdy je výše zmíněná sporadičnost nejvíce patrná:

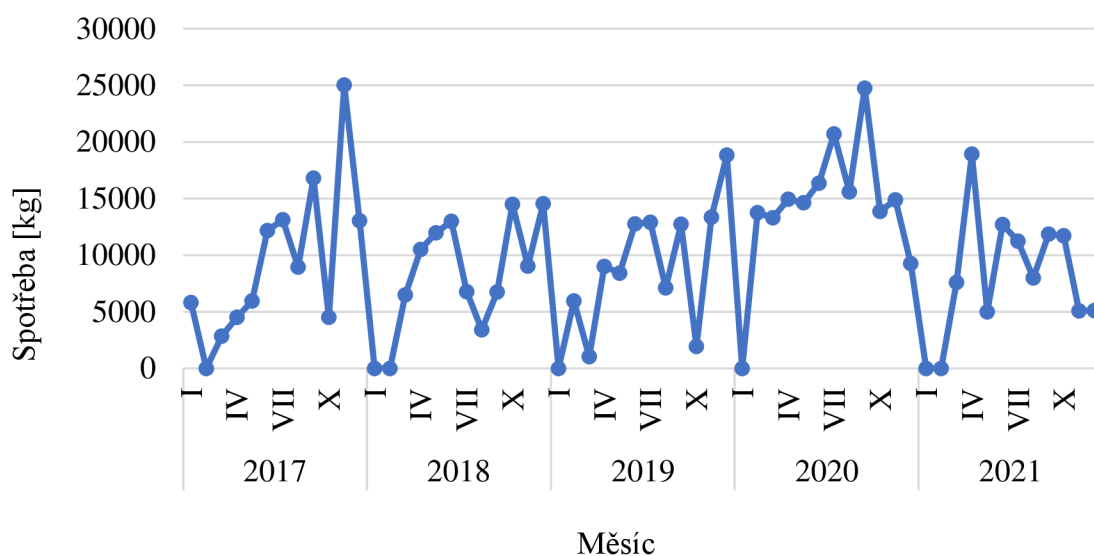
Graf 5: Weber tmel – agregovaná měsíční spotřeba v letech 2012 až 2014



(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Z tohoto důvodu budeme pro další analýzu uvažovat pouze roky 2017 až 2021, kdy po úpravě dat o inventární zápisy byly získány následující hodnoty agregované měsíční spotřeby:

Graf 6: Weber mel – agregovaná měsíční spotřeba v letech 2017 až 2021

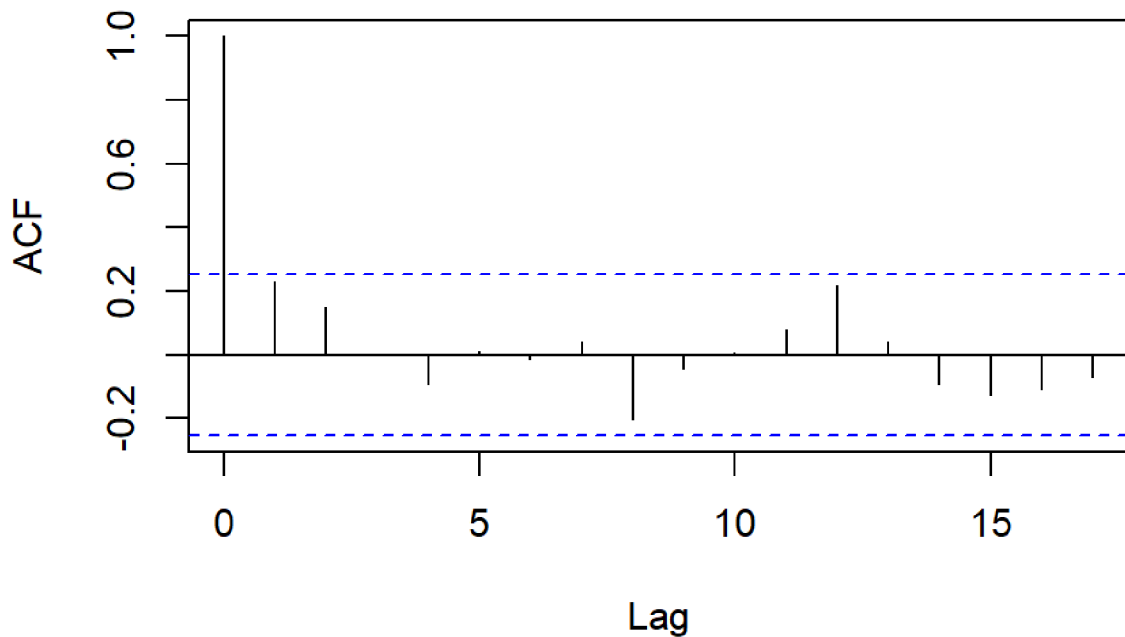


(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Přepočteme-li průměrnou denní spotřebu uvedenou v tabulce 6, pak denní výdej činí cca 1 067 Kč, z čehož lze odvodit, že průměrný denní výdej připadající na pohyby, jež nejdu přes sklad je 41 Kč. Podle zaměstnanců nebyla spotřeba ovlivněna probíhající světovou pandemií v letech 2020 a 2021.

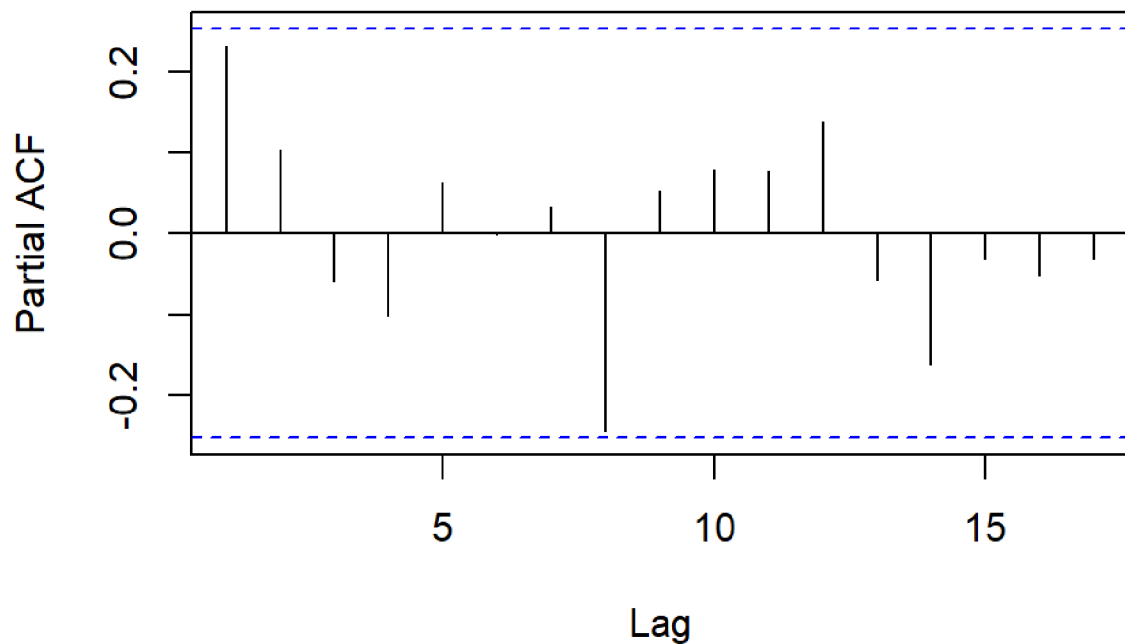
Zaměříme-li se na lednové a únorové výdeje ve sledovaném období, pak je patrné, že v těchto měsících bývá spotřeba značně nižší než v průběhu roku. Důvodem mohou být nevhodné klimatické podmínky a malé množství nových či rozpracovaných zakázek na začátku roku, jelikož většina z nich již byla dokončena ke konci minulého roku. Proto se budeme nejprve zabývat řízením skladu za období deseti měsíců (od března do prosince). Z časové řady uvedené v grafu 6 není v tomto období na první pohled patrné, že by byla obsažena trendová či cyklická složka, která byla blíže zkoumána za pomoci periodogramu a následné aplikace Fisherova testu, který neodhalil žádné významné frekvence. Dále je potřeba brát v úvahu, že k dispozici máme poměrně malé množství pozorování a hodnoty měsíčních spotřeb jsou pouze expertním odhadem a mohlo tedy dojít k chybným odhadům. Z těchto důvodů budeme předpokládat, že hodnoty měsíčních spotřeb jsou náhodné a bez sezónnosti. Pak můžeme ověřit, zdali data neobsahují významnou lineární závislost. K tomuto účelu postačí grafické znázornění autokorelační a parciální autokorelační funkce za pomoci softwaru RStudio, kdy byla stanovena 5% hladina významnosti testu:

Graf 7: Weber tmel – autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021



(zdroj: vlastní zpracování)

Graf 8: Weber tmel – parciální autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021

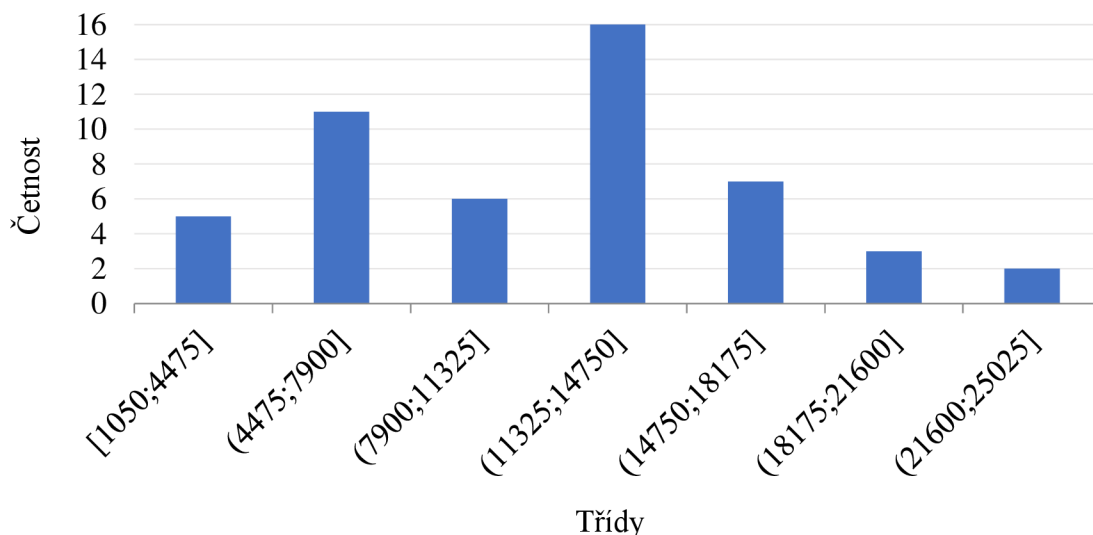


(zdroj: vlastní zpracování)

Na základě těchto grafů nezamítáme nulovou hypotézu H_0 : Data jsou nekorelována. Kdy test byl proveden pro celé období mezi roky 2017 až 2021. Nyní se již můžeme plně zaměřit pouze na první zvolené období od března do prosince. Jelikož máme k dispozici agregované hodnoty a výdej či příjem zásob je umožněn pouze v pracovních dnech, tak bylo potřeba nejdříve provést standardizaci dat. Agregované měsíční výdeje byly

vyděleny skutečným počtem pracovních dní v daném měsíci příslušného roku a následně tato hodnota byla vynásobena 21. Předpokládáme tedy, že měsíc má 21 a rok 252 pracovních dní. Aplikujeme-li Sturgesovo pravidlo na standardizované měsíční výdeje v období od března do prosince v letech 2017 až 2021, pak získáme následující histogram:

Graf 9: Weber tmel – histogram standardizované měsíční spotřeby od března do prosince v letech 2017 až 2021

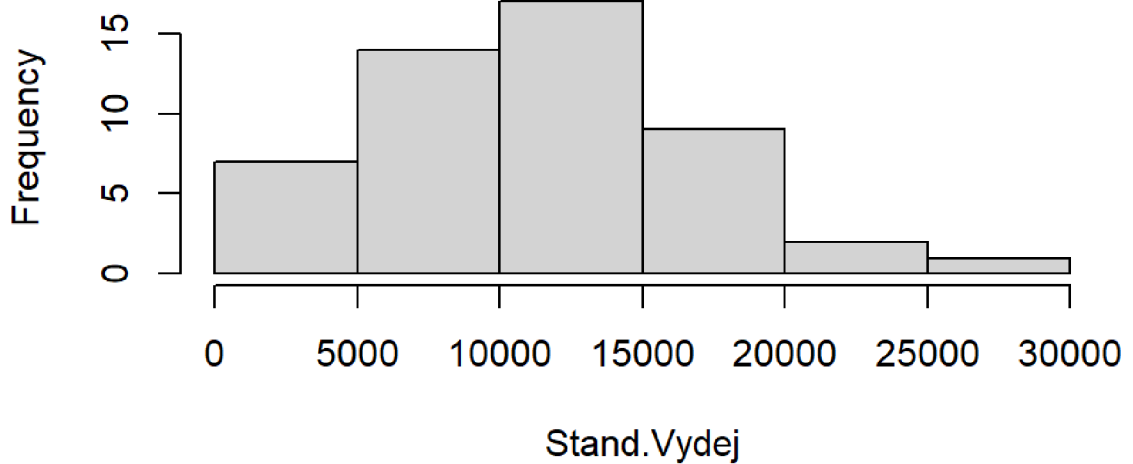


(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Pro úplnost uvedme, že podle Sturgesova pravidla je počet intervalů stanoven dle logaritmu o základě 2 z dvojnásobku počtu pozorování. (Hebák & Hustopecký, 1990)

Budeme-li chtít určit možné pravděpodobnostní rozdělení, pak nás může při prvním pohledu na tento graf napadnout, zdali by se nemohlo jednat o bimodální rozložení dat. Z tohoto důvodu byla bimodalita otestována v softwaru RStudio (viz. příloha 2) s využitím funkce `dip.test`, která pracuje s nulovou hypotézou H_0 : Data pocházejí z unimodálního rozdělení. Zvolíme-li 5% hladinu významnosti testu, pak nezamítáme nulovou hypotézu. Jako doplněk byly použity funkce `is.unimodal` a `is.bimodal`, které taktéž svědčí o unimodalitě dat stejně jako následující histogram, kdy byla zvolena odlišná šířka pro intervaly tříd:

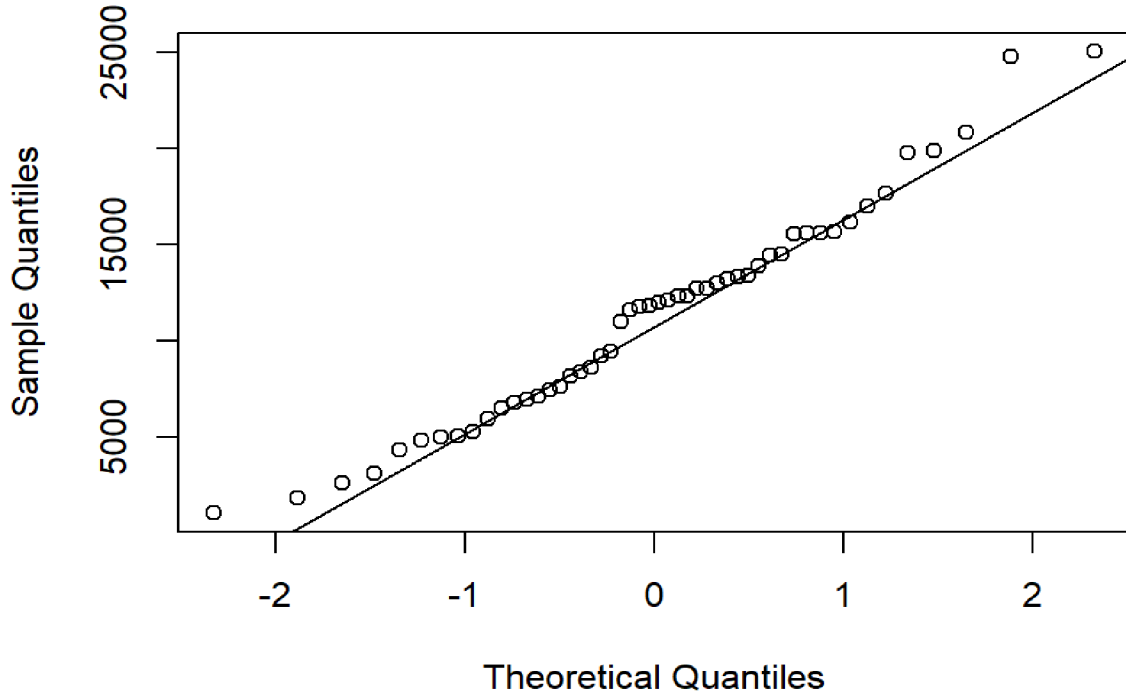
Graf 10: Weber tmel – histogram standard. měsíční spotřeby od března do prosince v letech 2017 až 2021 – dle RStudia



(zdroj: vlastní zpracování)

Histogram byl vytvořen v softwaru RStudio za pomoci funkce `hist`. Jelikož jsou modely řízení zásob v případě nejisté poptávky založeny na předpokladu, že spotřeba sleduje normální rozdělení, tak byl vytvořen tzv. Q-Q graf porovnávající kvantily normálního rozdělení a kvantily rozdělení dat z našeho vzorku:

Graf 11: Weber tmel – Q-Q graf standard. měs. spotřeby od března do prosince – 2017 až 2021 – normální rozdělení



(zdroj: vlastní zpracování)

Q-Q graf byl vytvořen v programu RStudio prostřednictvím funkcí `qqnorm` a `qqline`. Na jeho základě nemůžeme na první pohled zamítnout předpoklad normality dat, i přesto si ale lze všimnout tzv. těžkých chvostů. Jejich odklonění od hodnot teoretických kvantilů

normálního rozdělení pravděpodobně nebude příliš významné. Ke statistickému ověření normality využijeme Shapirov–Wilkův test, který pracuje s hypotézou H_0 : Data pocházejí z normálního rozdělení. Test byl také proveden v softwaru RStudio s 5% hladinou významnosti testu, na jehož základě nezamítáme nulovou hypotézu. Odhad průměrné standardizované měsíční spotřeby od března do prosince činí zaokrouhleně 11 302 kg, kdy na základě jednovýběrového t-testu můžeme otestovat, zdali je tento odhad správný. Nulová hypotéza byla stanovena jako H_0 : Průměrná měsíční spotřeba = 11 302 kg. Výsledná p-hodnota je téměř rovna jedné, a tak nezamítáme nulovou hypotézu. Vypočteme-li výběrovou směrodatnou odchylku, pak získáme zaokrouhleně 5 600 kg. Pro úplnost můžeme nyní otestovat, zdali se standardizovaná měsíční spotřeba v tomto období řídí normálním rozdělením s výše vypočtenou střední hodnotou a směrodatnou odchylkou. K tomuto účelu byl využit Kolmogorův–Smirnov test s nulovou hypotézou H_0 : Data pocházejí z $N(11302; 5600^2)$, na jehož základě nebyla nulová hypotéza zamítnuta. Použité funkce pro všechny výše zmíněné testy jsou uvedeny v příloze 2. Budeme tak dále pracovat s předpokladem, že měsíční spotřeba v období od března do prosince sleduje toto normální rozdělení.

8.1.1 Aplikace P-systému na položku Weber tmel

První přístup, jenž se jeví jako vhodný k optimalizaci řízení položky Weber tmel, je P-systém, který je založen na objednávání různého množství vždy ve stejný časový okamžik. Jelikož stav zásob není zaznamenáván při každém pohybu a můžeme se spolehnout pouze na stav zásob evidovaný ke konci měsíce, pak je vhodné uskutečňovat objednávky každý měsíc. Vezmeme ale také v úvahu, jak by se změnila výše objednávek v případě, kdy by bylo žádoucí prodloužit periodu objednávek na dva měsíce. Dále nesmíme opomenout do modelu zahrnout délku dodací lhůty. Jelikož by vyčíslení nákladů z nedostatku bylo velmi obtížné, tak k výpočtu výše optimální objednávky využijeme vzorec (XLIX) z kapitoly 5.3.2, do kterého dosadíme proměnné vztažené k jednotnému časovému období jeden pracovní den. Průměrnou měsíční spotřebu vydělíme dříve stanoveným počtem pracovních dní (21), čímž získáme průměrnou denní spotřebu. Poté ze směrodatné odchylky měsíční spotřeby vyjádříme rozptyl, jenž také vydělíme standardizovaným počtem pracovních dní a výsledný denní rozptyl převedeme zpět na denní směrodatnou odchylku spotřeby.

Budou-li objednávky prováděny jednou za měsíc, pak optimální výši objednávky vypočteme dle následujícího dosazení:

$$\hat{q}_{opt} = 538,19(21 + 1) + [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]1222,02\sqrt{21 + 1} - z(\tau), \quad (L)$$

přičemž výsledné hodnoty pro různě stanovené úrovně služeb zobrazuje následující tabulka:

Tabulka 7: Weber tmel – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a měsíční periody objednávek

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Maximální hladina zásob [kg]	25 174	21 268	19 186	16 664
Pojistná zásoba [kg]	13 334	9 428	7 346	4 824

(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Množství objednaných zásob pak bude v každém měsíci dáno rozdílem vypočtené maximální hladiny zásob a disponibilní zásoby na skladě v době realizace objednávky. Tento model však nepostihuje případy, kdy je náhodná nejen spotřeba, ale i délka dodací lhůty. Řídí-li se délka dodací lhůty normálním rozdělením se střední hodnotou r a směrodatnou odchylkou σ_r , pak výše zmíněný vztah rozšíříme obdobným způsobem jako ve vzorci (XLVII), a to následovně:

$$\hat{q}_{opt} = g(t + T_r) + [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]\sqrt{\sigma_g^2(t + T_r) + \sigma_r^2 g^2} - z(\tau). \quad (LI)$$

Jak by se změnil náš příklad v případě, že by směrodatná odchylka dodací lhůty byla dva dny? Jelikož by pojistná zásoba musela částečně pokrýt také nejistotu spotřeby v případě výkyvů dodací lhůty, tak můžeme očekávat její zvýšení. Za tohoto předpokladu bude pojistná zásoba pro různé úrovně služeb následující:

Tabulka 8: Weber tmel – P-systém za předpokladu proměnné dodací lhůty a měsíční periody objednávek

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Maximální hladina zásob [kg]	25 407	21 433	19 314	16 749
Pojistná zásoba [kg]	13 567	9 593	7 474	4 908

(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Můžeme si všimnout, že pojistná zásoba se sice zvýšila ale pouze o necelé 2 % z původní hodnoty. Nyní ještě prověřme, jak by se změnila výše pojistné zásoby v případě, kdy by firma chtěla prodloužit dobu mezi dvěma objednávkami na dva měsíce. Opět můžeme očekávat její zvýšení, a to konkrétně pro různé úrovně služeb na:

Tabulka 9: Weber tmel – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a dvouměsíční periody objednávek

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Maximální hladina zásob [kg]	41 784	36 323	33 412	29 886
Pojistná zásoba [kg]	18 642	13 181	10 269	6 744

(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Pojistná zásoba se nyní zvýšila markantně, a to o téměř 40 % od prvního modelu. V případě, že by po dvou měsících došlo k úplnému vyčerpání skladu, pak při 99% úrovni služeb by bylo potřeba uskutečnit objednávku za 254 465 Kč, což by mohlo být pro firmu finančně náročné. Z tohoto důvodu by bylo pravděpodobně vhodnější ponechat měsíční periodu mezi objednávkami. Pro úplnost ale ještě v další části práce prověříme vhodnost prodloužené periody objednávek na základě nákladů na zásobování.

8.1.2 Aplikace Q-systému na položku Weber tmel

Druhý přístup, který bychom zde mohli uplatnit, je Q-systém založený na konstantním objednávacím množství, kdy se objednávka uskutečňuje při poklesu skladové zásoby na signální hladinu. Aby byla firma schopna sledovat aktuální stav zásob, tak by bylo nezbytné jejich pohyby zaznamenávat do systému okamžitě při každém výdeji a příjmu.

K aplikaci Q-systému bude potřeba vyčíslit náklady vstupující do modelu. Nejprve se budeme zabývat náklady na pořízení zásob, které stanovíme na základě nákladů připadajících na všechny zaměstnance, kteří připravují, vystavují, odesílají objednávky a zpracovávají faktury. Tuto sumu následně vydělíme počtem vystavených objednávek za stejné období. Od společnosti ASARKO s.r.o. nám byly poskytnuty údaje pouze za roky 2020 a 2021, jelikož starší údaje jsou uloženy v archivu a nelze je snadno získat z podnikového informačního systému. Pro naše potřeby však budou tyto údaje dostačující, budeme-li předpokládat, že v průběhu let se příliš nemění. Náklady na tyto zaměstnance, tj. hrubá mzda, sociální a zdravotní pojištění, činily celkem 114 060 Kč. Z účtu 501 – Spotřeba materiálu v účetním deníku bylo zjištěno, že za toto období bylo na zásoby vystaveno celkem 1 140 faktur za nákup materiálu. Náklady na jednu objednávku pak činí 100 Kč.

Dále je třeba určit náklady na držení zásob, kdy průměrné roční náklady na provoz skladu stanovila účetní společnosti následovně:

Tabulka 10: Vyčíslení nákladů na provoz skladu

Poměrná část pojištění vztahující se ke skladovým prostorům	90 000 Kč
Náklady na zaměstnance pracující ve skladu (hrubá mzda + sociální a zdravotní pojištění)	792 000 Kč
Náklady na skladová zařízení, údržbu, opravy a energie	82 000 Kč
Odpisy budov a zařízení	200 000 Kč
Suma celkem	1 164 000 Kč

(zdroj: vlastní zpracování)

Z účetních závěrek byly získány vykazované stavy zásob v korunách ke konci roku 2016 až 2021. Z těchto hodnot byl vypočten průměr, který činí 1 522 000 Kč. Pak průměrné relativní roční náklady na provoz skladu jsou 76,48 % z nákupní ceny zásob.

K ohodnocení vázanosti kapitálu v zásobách lze vycházet z rentability kapitálu, která se vypočte jako poměr zisku k průměrné výši kapitálu během roku. Chceme-li získat rentabilitu celkového kapitálu, pak do čitatele dosadíme součet účetního zisku a zaplacených úroků za cizí kapitál. Průměrná roční rentabilita ve sledovaném období činí 8,09 %. (Horáková & Kubát, 1996)

Také můžeme vycházet z průměrných nákladů na kapitál, které vypočteme dle následujícího vzorce:

$$wacc = r_D(1 - T_c) \frac{D}{V} + r_\varepsilon \frac{E}{V}, \quad (\text{LII})$$

kde:

T_c – daň z příjmu,

r_D – náklady dluhu,

r_ε – náklad na vlastní jmění,

$\frac{D}{V}$ – poměr dluhu k celkovému kapitálu,

$\frac{E}{V}$ – poměr vlastního jmění k celkovému kapitálu. (Brealey & Myers, 2000)

V našem případě byly náklady dluhu stanoveny ve výši 2,9 %. Odhad nákladů na vlastní jmění lze získat z benchmarkingového diagnostického systému finančních indikátorů INFA na stránkách Ministerstva průmyslu a obchodu. Po dosažení potřebných hodnot z účetních výkazů jsme získali následující náklady na vlastní jmění:

Tabulka 11: Vyčíslení nákladů na vlastní jmění

Rok	r_ϵ
2017	19,71 %
2018	20,62 %
2019	24,55 %

(zdroj: vlastní zpracování dle Ministerstvo průmyslu a obchodu, c2005-2023)

Kdy hodnoty za roky 2020 a 2021 nejsou na těchto stránkách k dispozici. Proto budeme průměrný náklad na kapitál počítat pouze za roky 2017 až 2019 za předpokladu, že se v následujících letech hodnoty příliš nemění. Pak průměrný náklad ve sledovaném období činí 8,97 %. Na základě těchto dvou výpočtů stanovíme náklady na kapitál vázaný v zásobách ve výši 8,5 %. Pak celkové roční náklady na držení zásob jsou 84,98 % z jejich nákupní ceny.

Optimální velikost objednávky lze vypočítat dle vzorce (XLI). V našem případě platí:

$$\hat{q}_{opt} = \sqrt{\frac{2 * 11302 * 10 * 100}{(0,8498 * 4,09) * \left(\frac{10}{12}\right)}} \doteq 2794 \text{ kg.} \quad (\text{LIII})$$

Průměrná nákupní cena položky Weber tmel je 4,09 Kč za kg, a jelikož je dodávána v balení o váze 25 kg, tak je žádoucí optimální výši objednávky zaokrouhlit na 2 800 kg. Pak cena jedné objednávky je v průměru 11 452 Kč. V tomto případě ale nelze uplatnit nárok na bezplatnou dopravu, proto by bylo vhodné uvažovat buďto o navýšení objednávaného množství nebo zahrnou do jedné objednávky vícero položek. Tyto varianty budou prověřeny v následující části práce prostřednictvím nákladů na zásobování.

V případě vlastní dopravy je odběrné místo dodavatele vzdálené 12 km od sídla firmy. Uvažujeme-li že průměrná cena za 1 km jízdy je 5 Kč, průměrná doba potřebná na cestu k dodavateli a zpět je 35 minut a hodinový náklad na zaměstnance je 200 Kč, pak celková cena dopravy dosahuje 237 Kč. Optimální objednávka je tedy ve výši:

$$\hat{q}_{opt} = \sqrt{\frac{2 * 11302 * 10 * 337}{(0,8498 * 4,09) * \left(\frac{10}{12}\right)}} \doteq 5128 \text{ kg.} \quad (\text{LIV})$$

Celková cena objednávky bude v tomto případě 20 974 Kč, čímž se vracíme opět k bezplatné dopravě od dodavatele.

Úroveň signální hladiny a pojistné zásoby určíme dle vztahu (XLVI) a pro různě stanovené úrovně služeb získáme následující hodnoty:

Tabulka 12: Weber tmel – Q-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Signální hladina [kg]	3 381	2 548	2 104	1 567
Pojistná zásoba [kg]	2 843	2 010	1 566	1 028

(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.3, výše pojistné zásoby je v případě Q-systému nižší, jelikož má pokrýt výkyvy poptávky pouze během dodací lhůty.

Než se přesuneme k dalším kapitolám této práce, tak nesmíme opomenout, že z analýzy byly vyjmuty první dva měsíce u všech zkoumaných let. Lednová a únorová spotřeba byla v jednotlivých letech následující:

Tabulka 13: Weber tmel – agregovaná lednová a únorová spotřeba v letech 2017 až 2021

Rok	Měsíc	Spotřeba [Kg]
2017	I	5 800
	II	0
2018	I	0
	II	0
2019	I	0
	II	5 950
2020	I	0
	II	13 750
2021	I	0
	II	0

(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Na základě tohoto období by se dalo říci, že nulová lednová spotřeba nastane s pravděpodobností 80 % a únorová s pravděpodobností 60 %. Nicméně máme poměrně málo dat, proto by bylo vhodnější ponechat si na tyto měsíce nějakou rezervu. Bude-li rezerva například ve výši 5 800 kg, pak náklady na její udržování po dobu dvou měsíců, v případě, že nebude čerpána, dosahují 3 360 Kč. Je tedy na zvážení společnosti, zdali raději podstoupí riziko nedostatku, nebo si stanoví pro ni přijatelnou rezervu dle nákladů na skladování.

8.1.3 Komparace nákladů v případě jednoduktových objednávek položky Weber tmel

V roce 2021 objednávala společnost ASARKO s.r.o. položku Weber tmel pouze samostatně, konkrétně:

Tabulka 14: Weber tmel – provedené objednávky v roce 2021

Datum dodávky	Množství [kg]	Cena objednávky [Kč]
14. 7. 2021	23 100	94 479
19. 8. 2021	5 250	21 473
13. 9. 2021	10 500	42 945
22. 10. 2021	10 500	42 945
1. 12. 2021	5 250	21 473

(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

Přičemž první objednávka byla provedena až v polovině července. Důvodem může být skutečnost, že na konci roku 2020 bylo na skladě poměrně vysoké množství zásoby, a to 49 675 kg. Celkem bylo provedeno pět objednávek s využitím bezplatné dopravy od dodavatele. Pak roční náklady na objednání jsou ve výši 500 Kč. Dále byla vypočtena průměrná zásoba na skladě ve sledovaném období, která činí zaokrouhleně 23 528 kg. Celkové náklady na skladování a objednání zásob jsou tedy ve výši **82 274 Kč**.

Nyní se zaměříme na náklady, které by vznikly v tomto období v případě využití P-systému řízení zásob. Jelikož do začátku roku vstupujeme s velmi vysokým stavem na skladě, tak nyní není nezbytné zabývat se potřebnou zásobou na lednové a únorové výdeje. Pro jednotlivé úrovně služeb vznikají dle navrženého řízení zásob následující náklady:

Tabulka 15: Weber tmel – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému řízení zásob

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Roční náklady na objednání [Kč]	1 037	937	937	600
Roční náklady na skladování [Kč]	99 150	90 643	86 415	81 691
Celkové náklady [Kč]	100 187	91 580	87 352	82 291

(zdroj: příloha 4; vlastní zpracování)

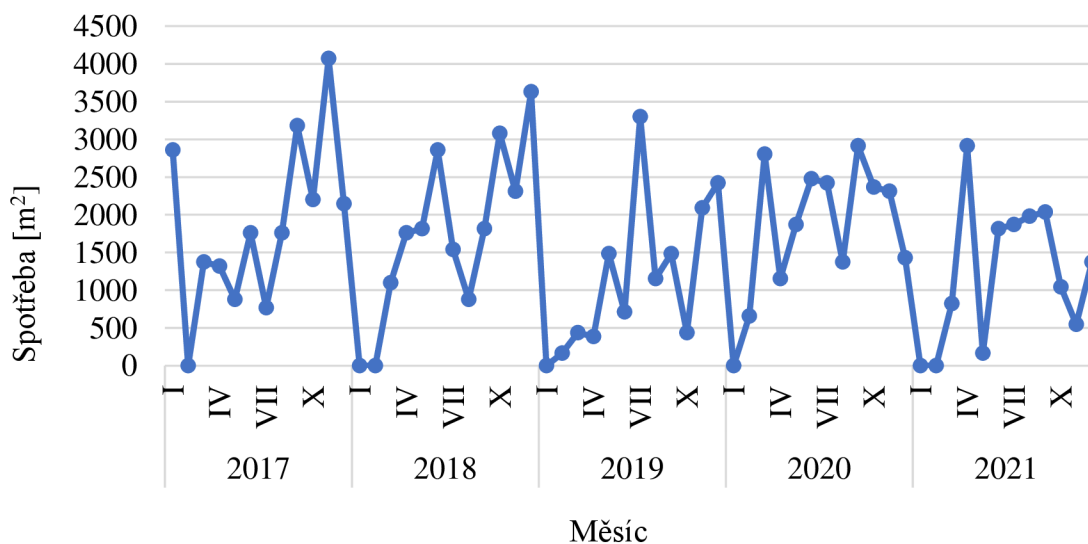
Přičemž výše objednávek byla zaokrouhlena takovým způsobem, aby se vždy objednávalo celé balení. V případě, kdy by firma v tomto roce využila řízení zásob s 80%

úrovni služeb, pak by vzniklé náklady byly srovnatelné se zavedeným způsobem řízení zásob. Bylo by tedy na zvážení, zdali nestanovit ještě nižší úroveň služeb, která by vedla k nižším nákladům. Jelikož v případě nedostatku je schopna obstarat tuto položku se zvýšenými náklady na dopravu téměř okamžitě, pak lze o nižší úrovni služeb uvažovat. Dále byly také prověřeny vzniklé náklady v případě využívání pouze bezplatné dopravy od dodavatele či provádění objednávek každé dva měsíce. V těchto případech ale byly, pro všechny zkoumané úrovně služeb, vzniklé náklady značně vyšší než ve výše zmíněném případě.

8.2 Analýza spotřeby položky Síťovina R117

Jedná se o materiál, který se používá například k vyztužení omítek či fasád. Je dodáván v rolích obsahujících 55 m² síťoviny. Podmínky dodávek jsou obdobné jako u položky Weber tmel. Jednotlivé pohyby byly získány ze skladové karty v PIS. Následně byla data upravena stejně jako v případě položky Weber tmel. Zaměříme-li se na měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021, pak následující graf zobrazuje expertní odhad hodnoty její výše v jednotlivých měsících:

Graf 12: Síťovina R117 – agregovaná měsíční spotřeba v letech 2017 až 2021

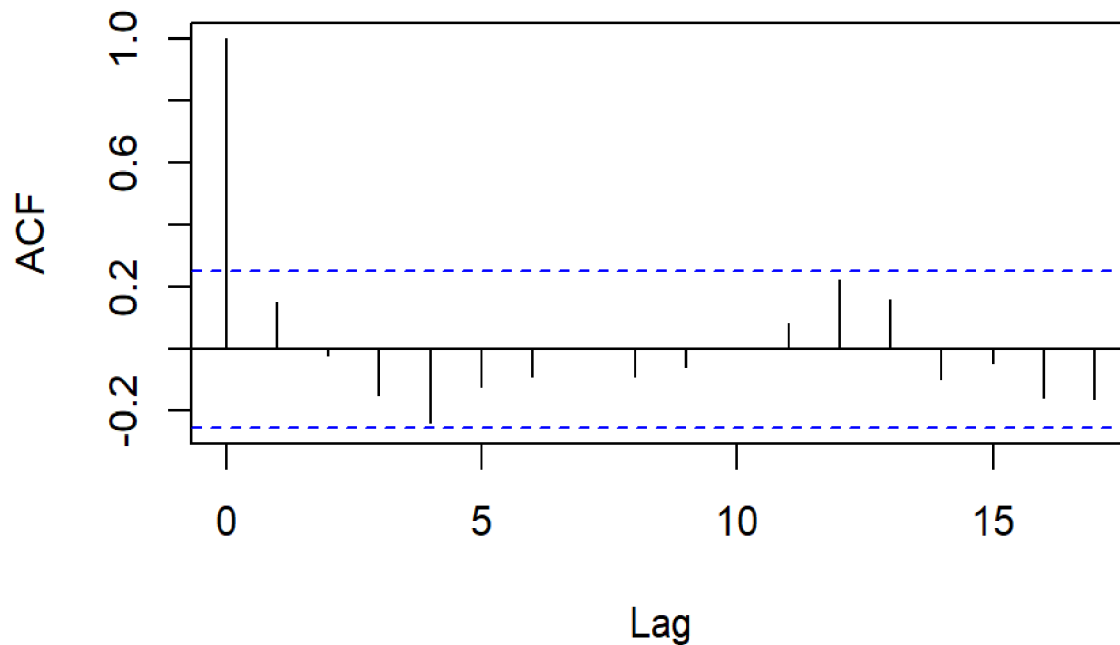


(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Přepočteme-li průměrnou denní spotřebu uvedenou v tabulce 6, pak denní výdej činí cca 789 Kč, z čehož lze odvodit průměrný denní výdej připadající na pohyby, jež nejdou přes sklad ve výši 29 Kč. Podle zaměstnanců spotřebu neovlivnila světová pandemie. Stejně jako v případě předešlé zkoumané zásoby jsou lednové a únorové spotřeby značně

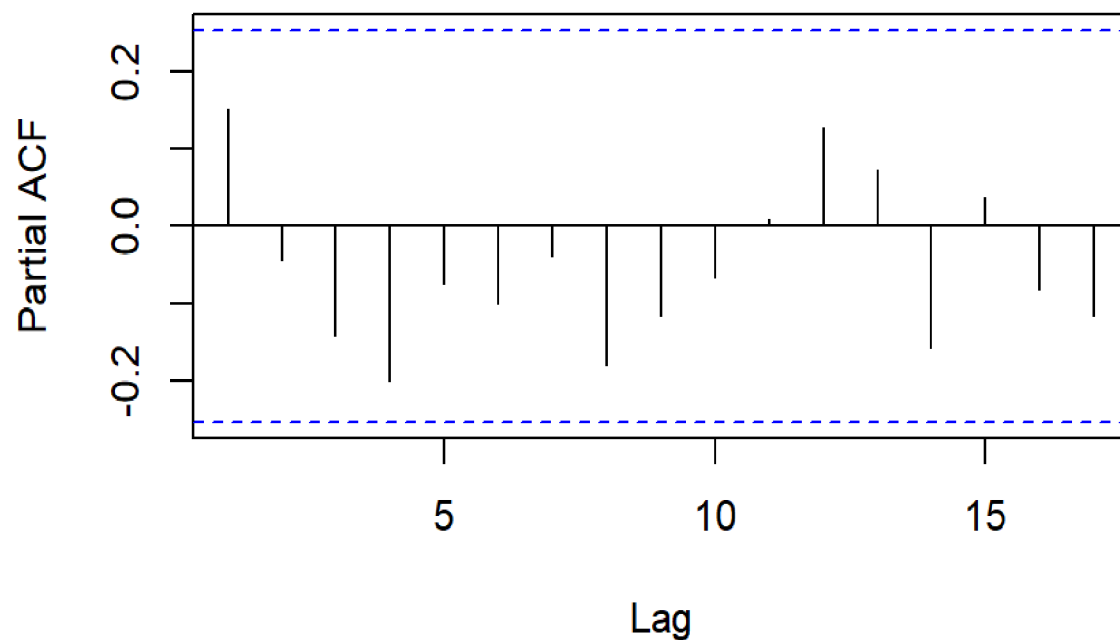
nižší než v průběhu roku, proto se nejdříve zaměříme na období od března do prosince. Rovněž budeme předpokládat náhodnost spotřeby, kdy autokorelační a parciální autokorelační funkce, pro celé období mezi roky 2017 až 2021, mají tvar:

Graf 13: Síťovina R117 – autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021



(zdroj: vlastní zpracování)

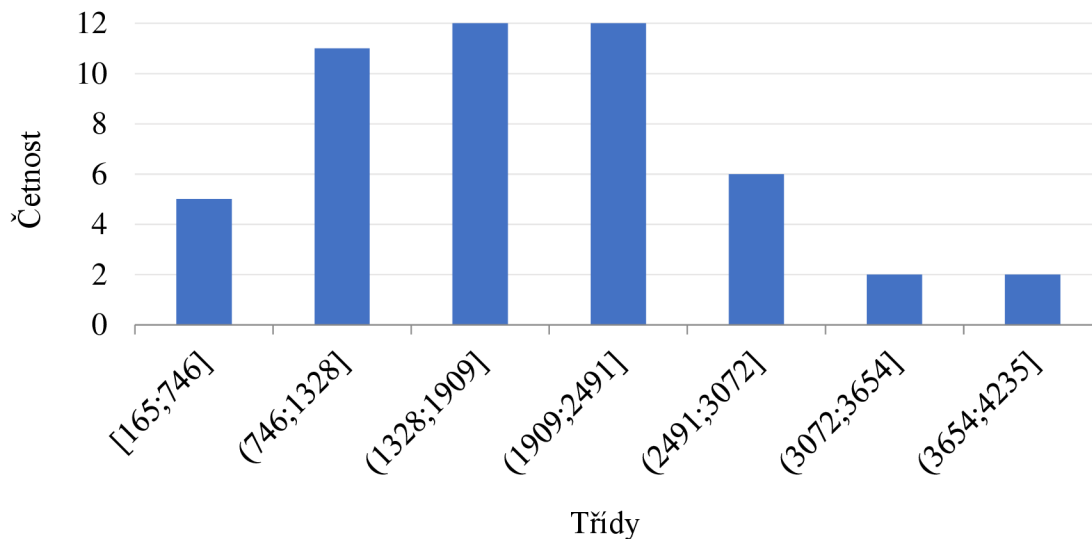
Graf 14: Síťovina R117 – parciální autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021



(zdroj: vlastní zpracování)

Nyní můžeme provést standardizaci dle počtu pracovních dní v daném měsíci příslušného roku a následně zobrazit histogram agregovaných měsíčních spotřeb od března do prosince v letech 2017 až 2021 dle Sturgesova pravidla:

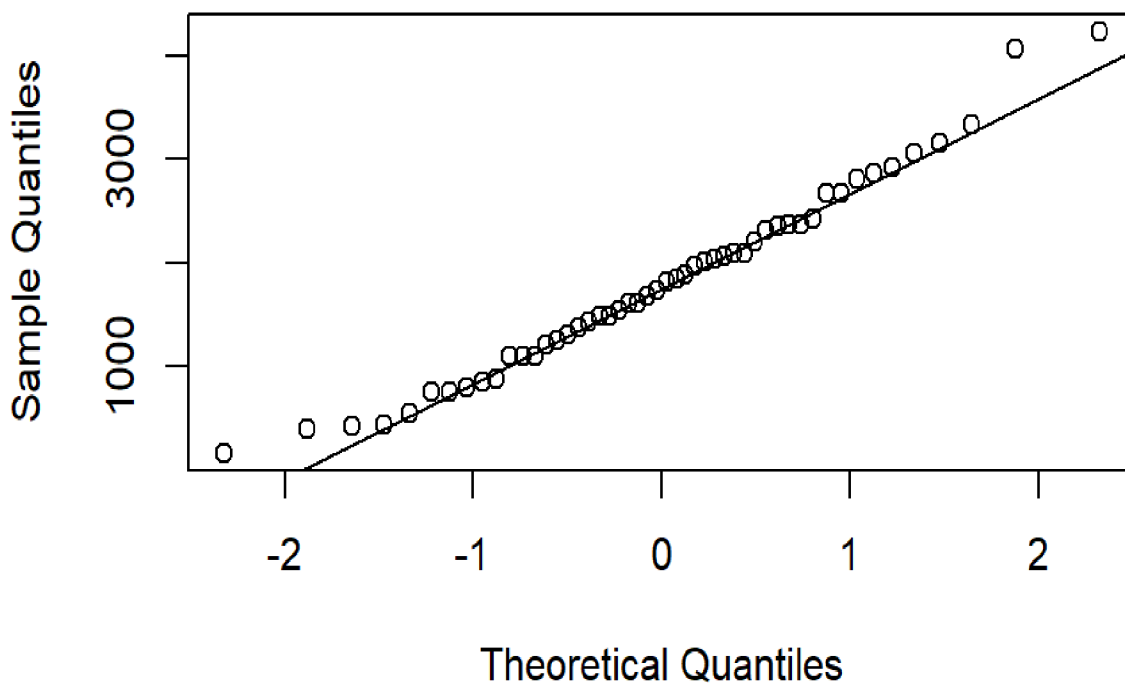
Graf 15: Síťovina R117 – histogram standardizované měsíční spotřeby od března do prosince v letech 2017 až 2021



(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Na jeho základě se můžeme domnívat, že se měsíční spotřeba řídí normálním rozdělením. Proto nejprve zobrazme již výše popsany Q-Q graf:

Graf 16: Síťovina R117 – Q-Q graf standard. měs. spotřeby od března do prosince – 2017 až 2021 – normální rozdělení



(zdroj: vlastní zpracování)

Opět jsou patrné tzv. těžké chvosty, přičemž vychýlených pozorování není mnoho a jejich odklonění od normálního rozdělení pravděpodobně nebude příliš významné. K ověření normality byl aplikován dříve zmíněný Shapirův–Wilkův test, na jehož základě nebyla zamítnuta hypotéza normality dat. Vypočteme-li průměrnou měsíční spotřebu, pak získáme zaokrouhlenou hodnotu 1 814 m², kterou můžeme otestovat jednovýběrovým t-testem. Výběrová směrodatná odchylka činí 924 m². Pak na základě Kolmogorova–Smirnova testu lze otestovat, zdali měsíční spotřeba sleduje N(1814; 924²). Výsledná p-hodnota testu je velmi blízká 1, a tak budeme dále předpokládat, že spotřeba se řídí tímto rozdělením. Výstupy z výše zmíněných testů jsou uvedeny v příloze 3.

8.2.1 Aplikace P-systému na položku Sítovina R117

Budou-li objednávky prováděny na konci měsíce, pak na základě vzorce (XLIX) získáme pro různě stanovené úrovně služeb následující hodnoty pojistné zásoby a maximální hladiny zásob:

Tabulka 16: Sítovina R117 – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a měsíční periody objednávek

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Maximální hladina zásob [m ²]	4 101	3 456	3 112	2 696
Pojistná zásoba [m ²]	2 200	1 556	1 212	796

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Taktéž můžeme hodnoty upravit pro případ, že bude žádoucí prodloužit dobu mezi dvěma objednávkami na dva měsíce, pak:

Tabulka 17: Sítovina R117 – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a dvouměsíční periody objednávek

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Maximální hladina zásob [m ²]	6 790	5 889	5 409	4 827
Pojistná zásoba [m ²]	3 076	2 175	1 694	1 113

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Pojistná zásoba se tak zvýší o téměř 40 %, stejně jako v případě položky Weber tmel.

8.2.2 Aplikace Q-systému na položku Sítovina R117

Bylo-li by možné sledovat stav zásob průběžně, pak lze aplikovat Q-systém s konstantní výší objednávek, která byla stanovena dle vzorce (XLI). Pro tento případ platí:

$$\hat{q}_{opt} = \sqrt{\frac{2 * 1814 * 10 * 100}{(0,8498 * 12,75) * \left(\frac{10}{12}\right)}} \doteq 634 \text{ m}^2. \quad (\text{LV})$$

Přičemž průměrná nákupní cena položky Síťovina R117 je 12,75 Kč za m², a tedy nákupní cena jedné objednávky by v tomto případě byla 8 084 Kč. Zaokrouhlíme-li výši objednávek tak, aby bylo nakupováno celé balení, pak je optimální objednávka ve výši 660 m². Nedosáhli bychom tak na bezplatnou dopravu od dodavatele, proto by bylo vhodné uvažovat o víceproduktových objednávkách či navýšení objednávaného množství. Pokud by byla využívána doprava vlastním dodávkovým vozem, pak vzrostou náklady na objednání a dojde ke změně optimální výše objednávky dle:

$$\hat{q}_{opt} = \sqrt{\frac{2 * 1814 * 10 * 337}{(0,8498 * 12,75) * \left(\frac{10}{12}\right)}} \doteq 1\,164 \text{ m}^2. \quad (\text{LVI})$$

Nákupní cena jedné objednávky by byla 14 841 Kč. Úroveň signální hladiny a pojistné zásoby stanovíme dle vzorce (XLVI), kdy pro různě stanovené úrovně služeb získáme následující hodnoty:

Tabulka 18: Síťovina R117 – Q-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Signální hladina [m ²]	555	418	345	256
Pojistná zásoba [m ²]	469	332	258	170

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Opět si můžeme povšimnout velkého poklesu výše pojistné zásoby oproti P-systému, která se snížila o téměř 80 %.

Dříve než přejdeme ke komparaci nákladů, zaměříme se nyní na lednové a únorové spotřeby ve sledovaném období (viz. tabulka 19). Pravděpodobnost nulové spotřeby je stejná jako u položky Weber tmel. Byla-li by rezerva na tyto měsíce například ve výši 700 m², pak by náklady na její dvouměsíční udržování, v případě, že nebude vůbec čerpána, dosahovaly 1 264 Kč.

Tabulka 19: Síťovina R117 – agregovaná lednová a únorová spotřeba v letech 2017 až 2021

Rok	Měsíc	Spotřeba [m ²]
2017	I	2 860
	II	0
2018	I	0
	II	0
2019	I	0
	II	165
2020	I	0
	II	660
2021	I	0
	II	0

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

8.2.3 Komparace nákladů v případě jednoduktových objednávek položky Síťovina R117

Tato položka byla v roce 2021 taktéž objednávana pouze samostatně, konkrétně:

Tabulka 20: Síťovina R117 – provedené objednávky v roce 2021

Datum dodávky	Množství [m ²]	Cena objednávky [Kč]
31. 3. 2021	1 815	23 141
26. 4. 2021	1 815	23 141
6. 5. 2021	1 815	23 141
8. 7. 2021	1 815	23 141
13. 8. 2021	1 815	23 141
9. 9. 2021	3 630	46 283

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Celkem bylo provedeno šest objednávek s využitím bezplatné dopravy od dodavatele. Ke stanovení celkových nákladů na zásobování byla vypočtena průměrná zásoba, která činí 5 326 m², pak tyto náklady jsou ve výši **58 310 Kč**.

Bylo-li by v tomto roce řízení zásob prováděno dle P-systému, pak by vzniklé náklady pro různé úrovně služeb dosahovaly:

Tabulka 21: Síťovina R117 – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému řízení zásob

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Roční náklady na objednání [Kč]	1 511	1 511	1 511	1 748
Roční náklady na skladování [Kč]	40 881	36 121	33 740	30 963
Celkové náklady [Kč]	42 392	37 632	35 251	32 711

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Opět byly jednotlivé objednávky stanoveny v takové výši, aby bylo objednáno celé balení. Z tabulky je patrné, že i v případě, kdy by byla úroveň služeb stanovena velmi vysoko, tak by při využití tohoto systému objednávek mohla společnost značně snížit náklady.

Dále byla prověřena i možnost, že by byly objednávky navýšeny takovým způsobem, aby vždy vznikl nárok na bezplatnou dopravu, pak náklady dosahují:

Tabulka 22: Síťovina R117 – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému s navýšenými objednávkami

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Roční náklady na objednání [Kč]	700	700	700	700
Roční náklady na skladování [Kč]	45 417	40 656	38 276	31 298
Celkové náklady [Kč]	46 117	41 356	38 976	31 998

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

I v tomto případě by došlo u všech úrovní služeb ke snížení nákladů, navíc v případě 80% úrovní služeb dosahují náklady nejnižší hodnotu ze všech. Pro úplnost ještě uvedme situaci, kdy dojde k prodloužení periody objednávek na dva měsíce:

Tabulka 23: Síťovina R117 – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému s 2měsíční periodou objednávek

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Roční náklady na objednání [Kč]	500	737	737	400
Roční náklady na skladování [Kč]	59 216	51 223	46 726	41 848
Celkové náklady [Kč]	59 716	51 960	47 463	42 248

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Náklady plynoucí z P-systému řízení zásob jsou tak téměř ve všech zkoumaných variantách nižší než v případě zavedeného systému.

8.3 Komparace nákladů v případě dvouproduktových objednávek

Nejprve se zaměříme na rok 2021, kdy náklady na zásobování položek Weber tmel a Síťovina R117 dosahovaly celkem **140 584 Kč**. Pokud by bylo v tomto roce využito řízení zásob založené na P-systému, pak by roční náklady pro různě stanovené úrovně služeb činily:

Tabulka 24: Dvouproduktové objednávky – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému řízení zásob

Úroveň služeb [%]	99	95	90	80
Skladovací náklady – Síťovina R117 [Kč]	40 881	36 121	33 740	30 963
Skladovací náklady – Weber tmel [Kč]	99 150	90 643	86 415	81 691
Náklady na objednání [Kč]	800	1037	1 037	1 274
Celkové náklady [Kč]	140 831	127 801	121 192	113 928

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

V případě 99% úrovně služeb by vzniklé náklady byly poměrně srovnatelné se zavedeným způsobem zásobování. Přistoupila-li by ale společnost na vyšší pravděpodobnost nedostatku, pak by mohla náklady značně snížit.

Dále byl prověřen rok 2018, ve kterém společnost ASARKO s.r.o. provedla následující objednávky těchto položek:

Tabulka 25: Provedené objednávky v roce 2018

Datum dodávky	Množství	Položka	Celková cena za položku [Kč]	Celková cena objednávky [Kč]
1. 2. 2018	5 250	Tmel [kg]	21 473	44 614
	1 815	Sít'ovina [m2]	23 141	
29. 3. 2018	11 550	Tmel [kg]	47 240	70 381
	1 815	Sít'ovina [m2]	23 141	
26. 4. 2018	11 550	Tmel [kg]	47 240	70 381
	1 815	Sít'ovina [m2]	23 141	
29. 5. 2018	6 300	Tmel [kg]	25 767	25 767
29. 6. 2018	17 850	Tmel [kg]	73 007	122 094
	3 850	Sít'ovina [m2]	49 088	
25. 7. 2018	11 700	Tmel [kg]	47 853	63 982
	1 265	Sít'ovina [m2]	16 129	
1. 8. 2018	1 815	Sít'ovina [m2]	23141	23 141
4. 9. 2018	8 400	Tmel [kg]	34 356	42 771
	660	Sít'ovina [m2]	8 415	
26. 9. 2018	4 200	Tmel [kg]	17 178	17 178
12. 10. 2018	3 630	Sít'ovina [m2]	46 283	46 283
26. 10. 2018	7 350	Tmel [kg]	30 062	30 062
8. 11. 2018	5 250	Tmel [kg]	21 473	28 485
	550	Sít'ovina [m2]	7 013	
19. 11. 2018	1 815	Sít'ovina [m2]	23 141	23 141
18. 12. 2018	15 750	Tmel [kg]	64 418	64 418

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Přičemž ve většině případů bylo využito bezplatné dopravy od dodavatele a náklady na objednání tak činily 1 637 Kč. Skladovací náklady položky Sít'ovina R117 dosahovaly 52 651 Kč a pro Weber tmel 41 083 Kč. Celkové náklady jsou pak ve výši **95 371 Kč**.

Nyní se zaměříme na náklady, jež by vznikly v tomto roce v případě využití P-systému řízení zásob. Byla-li by stanovena nižší úroveň služeb než 99 %, pak by se vyskytla neuspokojená poptávka u položky Sít'ovina R117. Proto nejprve prověříme 99% úroveň

služeb, kdy by bylo provedeno celkem deset objednávek s nárokem na bezplatnou dopravu. Skladovací náklady položky Síťovina R117 by dosahovaly 36 871 Kč a pro Weber tmel 60 832 Kč. Celkové náklady by pak byly ve výši **98 703 Kč**. V případě Síťoviny R117 bychom, stejně jako v roce 2021, ušetřili značnou výši nákladů již při vysoké úrovni služeb. Proto prověříme, jak se změní náklady v případě, kdy pro ni nastavíme 99% úroveň služeb a pro položku Weber tmel budeme úroveň služeb snižovat. Pak vzniklé náklady dosahují:

Tabulka 26: Dvouproduktové objednávky – náklady na zásobování za rok 2018 při využití P-systému řízení zásob

Úroveň služeb položky Weber tmel [%]	99	95	90	80
Skladovací náklady – Síťovina R117 [Kč]	36 871	36 871	36 871	36 871
Skladovací náklady – Weber tmel [Kč]	60 832	50 044	44 304	37 319
Náklady na objednání [Kč]	1 000	1 000	1 000	1 000
Celkové náklady [Kč]	98 703	87 915	82 175	75 190

(zdroj: příloha 5; vlastní zpracování)

Dle celkových nákladů můžeme usuzovat, že snížení úrovně služeb položky Weber tmel by mohlo být vhodnou cestou k redukci nákladů. Dále byla také zkoumána možnost prodloužení doby mezi dvěma objednávkami na dva měsíce. V tomto případě by ale skladovací náklady dosahovaly velmi vysokých hodnot.

9 Závěr a doporučení

Cílem diplomové práce bylo navrhnout optimalizaci zásobování ve vybraném podniku. K těmto účelům byly, na základě ABC analýzy s přihlédnutím k hodnotám obrátkovosti, vybrány dvě skladované položky, které jsou dodávány od jednoho dodavatele. Konkrétně se jednalo o položku Weber tmel a Síťovina R117, ke kterým byly získány odhady agregovaných měsíčních spotřeb mezi roky 2017 až 2021. Ty byly blíže analyzovány, případně upravovány (např. provedení standardizace dle počtu pracovních dní) a na základě statistických testů (např. Shapirův–Wilkův test, Kolmogorův–Smirnov test) bylo rozhodnuto o aplikaci stochastických modelů teorie zásob za předpokladu, že poptávka sleduje normální rozdělení. Jelikož stav na skladě byl znám pouze ke konci měsíce, tak byl za nejvhodnější model označen P-systém řízení zásob. Pokud by firma umožnila sledování stavu zásob průběžně, pak je uvedena jako nadstavba i aplikace Q-systému řízení zásob.

Navrhovaná optimalizace provedená dle P-systému řízení zásob byla porovnána se zavedeným způsobem zásobování na základě nákladů z nich plynoucích. Zkoumány byly jak jednoduktové tak dvouproduktové objednávky. V případě položky Weber tmel lze na základě provedených analýz a výpočtů konstatovat, že současný způsob zásobování je ve firmě poměrně vhodně nastaven. Snížení nákladů s využitím P-systému řízení zásob by bylo možné pouze v případě stanovení nižší úrovně služeb (cca 80%). Naopak u položky Síťovina R117 by bylo vhodné její objednávky optimalizovat. Aplikace P-systému řízení zásob by vedla k poměrně značnému snížení nákladů již při vysoké 99% úrovni služeb. Jako příklad můžeme uvést rok 2018, ve kterém by využití dvouproduktového P-systému řízení zásob s 99% úrovní služeb u položky Síťovina R117 a 80% u položky Weber tmel vedlo ke snížení ročních nákladů na zásobování o více než 20 000 Kč. Podnikem zavedený způsob zásobování tedy lze u vybraných položek zásob optimalizovat s využitím metod operačního výzkumu.

Zásadní problém společnosti ASARKO s.r.o. v oblasti zásobování lze nalézt v evidenci pohybů zásob. Zásoby jsou evidovány nepřesně a se zpožděním. Z tohoto důvodu aktuálně nelze provádět objednávky dle dat v podnikovém informačním systému. Řešením by mohlo být stanovení jedné osoby, která bude mít odpovědnost nejen za vydávání a příjem zásob na sklad, ale i za evidenci do systému. Díky této změně by bylo možné sledovat aktuální stav na skladě v kterémkoli okamžiku. Také by došlo

ke zpřesnění evidence zásob, přičemž by pak bylo možné na řízení zásob využít nejen P-systémy, ale například i Q-systémy řízení zásob.

Dále by bylo vhodné v podnikovém informačním systému oddělit pohyby, které nejdou přes sklad. K tomu účelu lze v programu, který společnost využívá k evidenci zásob, vytvořit další, v tomto případě jakýsi virtuální, sklad. Tam by se zaznamenávaly pohyby zásob, které jsou objednávány přímo k zákazníkovi či na jednotlivé stavby.

Poslední změnu, kterou by bylo vhodné aplikovat, je provést v systému pravidelnou každoroční uzávěrku skladu. Pak by se dalo využívat vícero funkcí programu, jako je například výpočet obrátkovosti za jednotlivé roky.

I Summary and keywords

The diploma thesis deals with the optimization of inventory management with the help of operational research methods. The aim is to appropriately select and apply the inventory management method in a real company. To provide a broader view of this issue, the work begins with a brief presentation of logistics. In addition, stocks are described and classified together with the costs associated with them. Then the possibilities of inventory management in the company are presented. A brief description of the mathematical modeling is later followed by the selected inventory management methods, which are specified in more detail. In the second half of the thesis, a construction company is introduced. In the company, the ABC analysis of stocks was carried out, taking into account turnover values. Stocks were selected for optimization based on the results. Their recorded historical consumption was analyzed and, if necessary, adjusted to enable application of inventory management methods. The P-system of inventory management was applied to the selected stocks. The proposed supply solution was compared with the currently implemented system based on the resulting costs. The conclusion of the thesis contains an evaluation of the proposed optimization and other recommendations that the company should apply.

Keywords: inventory, inventory management, optimization methods, models of inventory, ABC analysis

II Seznam použitých zdrojů

Asarko. (2021). ASARKO: Rekonstrukce budov, zateplování budov, obklady, dlažby, sádrokartóny, zámkové dlažby [Online]. Retrieved March 6, 2023, from <https://www.asarko.cz/index.html>

Brealey, R. A., & Myers, S. C. (2000). *Teorie a praxe firemních financí*. Praha: Computer Press.

Devarajan, D., & Jayamohan, M. S. (2016). Stock control in a Chemical Firm: Combined FSN and XYZ Analysis [Online]. *Procedia Technology*, 24, 562-567. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.111>

Fábry, J. (2011). *Matematické modelování*. Praha: Professional Publishing.

Hebák, P., & Hustopecký, J. (1990). *Průvodce moderními statistickými metodami*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to Operations Research* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Horáková, H., & Kubát, J. (1996). *Řízení zásob: Logistické pojetí, metody, aplikace, praktické úlohy* (2. upravené vydání). Praha: SEKURKON.

Hušek, R., & Samek, J. (1971). *Modely řízení zásob*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.

Jablonský, J. (1999). *Operační výzkum* (2. vyd). Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze.

Jurová, M. (2016). *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing.

Kumar, A., & Shukla, A. C. (2022). Selective Inventory Control Using ABC And FSN Analysis in Retail Sector: A Case Study [Online]. *International Journal For Research In Applied Science & Engineering Technology (Ijraset)*, 10(5), 4810-4818. <https://doi.org/10.22214>

Lambert, D. M., & Ellram, L. M. (2000). *Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží*. Praha: Computer Press.

Lukáš, L. (2012). *Pravděpodobnostní modely v managementu: teorie zásob a statistický popis poptávky*. Praha: Academia.

Ministerstvo financí. (c2010-2023). § 9 vyhlášky č. 500/2002 Sb., vyhláška, kterou se provádějí některá ustanovení zákona č. 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů, pro účetní jednotky, které jsou podnikateli účtujícími v soustavě podvojného účetnictví – znění od 1. 1. 2018 [Online]. Retrieved March 6, 2023, from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-500#p9>

Ministerstvo průmyslu a obchodu. (c2005-2023). Benchmarkingový diagnostický systém finančních indikátorů INFA [klasifikace CZ-NACE] [Online]. Retrieved March 19, 2023, from <https://www.mpo.cz/benchmarking/infa.html>

Ministerstvo spravedlnosti České republiky. ([2022]). Veřejný rejstřík a Sběrka listin [Online]. Retrieved March 6, 2023, from <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=77414>

Mulačová, V., Mulač, P., Bednářová, P., Kučera, L., Simotová, V., & Slabá, M. (2013). *Obchodní podnikání ve 21. století*. Praha: Grada.

Oudová, A. (2016). *Logistika: základy logistiky* (Aktualizované 2. vydání). Prostějov: Computer Media.

Pandya, B., & Thakkar, H. (2016). A Review on Inventory Management Control Techniques: ABC-XYZ Analysis [Online]. *Rest Journal On Emerging Trends In Modelling And Manufacturing*, 2(3), 82-86. Retrieved from <http://restpublisher.com/wp-content/uploads/2016/09/A-Review-on-Inventory-Management-Control-Techniques-ABC-XYZ-Analysis.pdf>

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). *The handbook of logistics and distribution management* (5th ed). London: Chartered Institute of Logistics and Transport.

Sixta, J., & Žižka, M. (2009). *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. Brno: Computer Press.

Taylor, B. W. (2004). *Introduction to Management Science*. New Jersey: Pearson Education.

III Seznam tabulek, grafů a schémat

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled analýz diferencovaného řízení zásob	18
Tabulka 2: Dvou- a trojdimenzionální modely klasifikace zásob	19
Tabulka 3: Metoda ABC – rozčlenění do skupin dle kumulované hodnoty a procentního zastoupení	20
Tabulka 4: Aplikace ABC analýzy – rozčlenění do skupin	44
Tabulka 5: Aplikace ABC analýzy – výpis zásob ze skupiny A	44
Tabulka 6: Výpis zásob se společným dodavatelem	45
Tabulka 7: Weber tmel – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a měsíční periody objednávek	53
Tabulka 8: Weber tmel – P-systém za předpokladu proměnné dodací lhůty a měsíční periody objednávek	53
Tabulka 9: Weber tmel – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a dvouměsíční periody objednávek	54
Tabulka 10: Vyčíslení nákladů na provoz skladu	55
Tabulka 11: Vyčíslení nákladů na vlastní jmění	56
Tabulka 12: Weber tmel – Q-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty	57
Tabulka 13: Weber tmel – agregovaná lednová a únorová spotřeba v letech 2017 až 2021	57
Tabulka 14: Weber tmel – provedené objednávky v roce 2021	58
Tabulka 15: Weber tmel – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému řízení zásob	58
Tabulka 16: Sít'ovina R117 – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a měsíční periody objednávek	62
Tabulka 17: Sít'ovina R117 – P-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty a dvouměsíční periody objednávek	62
Tabulka 18: Sít'ovina R117 – Q-systém za předpokladu konstantní dodací lhůty	63

Tabulka 19: Síťovina R117 – agregovaná lednová a únorová spotřeba v letech 2017 až 2021	64
Tabulka 20: Síťovina R117 – provedené objednávky v roce 2021	64
Tabulka 21: Síťovina R117 – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému řízení zásob	65
Tabulka 22: Síťovina R117 – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému s navýšenými objednávkami	65
Tabulka 23: Síťovina R117 – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému s 2měsíční periodou objednávek	65
Tabulka 24: Dvouproduktové objednávky – náklady na zásobování za rok 2021 při využití P-systému řízení zásob	66
Tabulka 25: Provedené objednávky v roce 2018	67
Tabulka 26: Dvouproduktové objednávky – náklady na zásobování za rok 2018 při využití P-systému řízení zásob	68

Seznam grafů

Graf 1: Funkce $z(\tau)$ pro EOQ model	27
Graf 2: Funkce $z(\tau)$ pro POQ model	32
Graf 3: Funkce $z(\tau)$ v dynamickém stochastickém modelu s konstantní velikostí dodávky	37
Graf 4: Weber tmel – agregovaná roční spotřeba v letech 2011 až 2021	46
Graf 5: Weber tmel – agregovaná měsíční spotřeba v letech 2012 až 2014	47
Graf 6: Weber tmel – agregovaná měsíční spotřeba v letech 2017 až 2021	48
Graf 7: Weber tmel – autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021	49
Graf 8: Weber tmel – parciální autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021	49
Graf 9: Weber tmel – histogram standardizované měsíční spotřeby od března do prosince v letech 2017 až 2021	50

Graf 10: Weber tmel – histogram standard. měsíční spotřeby od března do prosince v letech 2017 až 2021 – dle RStudia	51
Graf 11: Weber tmel – Q-Q graf standard. měs. spotřeby od března do prosince – 2017 až 2021 – normální rozdělení	51
Graf 12: Síťovina R117 – agregovaná měsíční spotřeba v letech 2017 až 2021	59
Graf 13: Síťovina R117 – autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021	60
Graf 14: Síťovina R117 – parciální autokorelační funkce pro agregovanou měsíční spotřebu v letech 2017 až 2021	60
Graf 15: Síťovina R117 – histogram standardizované měsíční spotřeby od března do prosince v letech 2017 až 2021	61
Graf 16: Síťovina R117 – Q-Q graf standard. měs. spotřeby od března do prosince – 2017 až 2021 – normální rozdělení	61

Seznam schémat

Schéma 1: Logistika podniku a její členění	10
Schéma 2: Charakter poptávky	16
Schéma 3: Průběh rozhodovacího procesu.....	22

IV Seznam příloh

Příloha 1: Výpis skladovaných položek.....	78
Příloha 2: Výstupy z programu RStudio při analýze spotřeby položky Weber tmel.....	80
Příloha 3: Výstupy z programu RStudio při analýze spotřeby položky Síťovina R117.	81

Přílohy volně vložené

Příloha 4: Zdrojová data a provedené výpočty pro položku Weber tmel

Příloha 5: Zdrojová data a provedené výpočty pro položku Síťovina R117 a dvouproduktové modely řízení zásob

V Přílohy

Příloha I: Výpis skladovaných položek

Kód položky	Obrátkovost	Průměrná denní spotřeba [Kč]
WEBER TMEL	400,00	1107,60
MINERAL VATA 120MM	131,58	835,00
SITOVINA R 117	434,78	818,50
MINERAL VATA 140MM	23,09	751,77
STO LEVELL BASIC	3,00	486,79
ELASTIK 720	500,00	437,67
MINERAL VATA FRONTS100MM	9,96	415,65
KOOLTHERM 80	161,29	398,65
EPS 70F TL 120MM	172,41	381,55
SITOVINA VT-1 STO	1,36	380,12
EPS STYROTHERM 140 70	41,32	350,70
MINERAL VATA FRONTS150MM	103,09	271,60
PENETRACE W 000	149,25	218,05
LISTA KOMBI 100X2,5	14,97	213,43
EPS 100 TL 120MM	75,19	200,25
SOKLOVA DESKA TL 100MM	55,56	157,43
ELASTIK 720Z	33,78	150,26
EPS 70F TL 80MM	188,68	140,07
NABOJKA	153,85	129,53
PENA PIST MEGA DEN B	22,08	120,78
KOOLTHERM 20	1,97	118,86
CEMIX OMITKA JADR RUC JE	80,65	116,34
WEBER THERM PLUS	55,25	90,12
HMOZDINKA 8 X 290	40,32	87,63
490386 PASKA PAP II 50	45,05	79,17
IZOLACNI PRICHYTKA 100	34,72	77,10
MINERZATKA	117,65	76,06
EPS 70F TL 30MM	123,46	74,88
LISTA OKENNI PVC 2M	4,15	71,23
IZOLACNI PRYCHYTKA 80	104,17	69,55
PENETRACE STOMIX	1,25	68,06
HMOZDINKA 8 X 150CN	78,74	58,87
LISTA OKENNI OKAP 2MLTO	147,06	55,04
PENETRACE L 000	31,55	54,93
MINERAL VATA 40MM	7,45	51,31
EPS 70F TL 20MM	88,50	49,28
CEMIX STUK VNITRNI	21,14	47,19
96265019 PASKA KAUČUK 50	4,18	46,27
EPS GREYWALL 150CM	0,60	44,25
MINERAL VATA 80MM	3,16	42,42
491950 PASKA PVC 50	61,35	40,87

Kód položky	Obrátkovost	Průměrná denní spotřeba [Kč]
EPS ZATKA 65MM SEDA	50,00	30,80
PENETRACE O 000	27,40	29,14
WEBER THERM -7	14,04	28,22
EPS 70F TL 40MM	44,84	27,01
SOKLOVA DESKA TL 30MM	49,26	26,32
EPS STYROTHERM 100	7,34	23,40
96910010 ZAKRYVACI FOLIE	5,67	23,35
TEVAMIN 7	9,94	21,97
WEBER MIX	24,39	15,84
WEBER THERM MIN	22,88	14,94
SOKLOVA DESKA TL 20MM	14,66	14,30
MINERAL VATA 60MM	4,46	13,91
SOKLOVA DESKA SDTL 50MM	4,89	13,30
ODSTRANOVAC MECH LISEJNI	2,85	12,71
EPS 70F TL 10MM	44,25	12,00
TERC	8,01	11,91
IZOLACNI PRICHYTKA 60	51,81	11,27
PENA PISTOLOVA	21,74	10,05
EPS 70F TL 70MM	30,03	10,00
WEBER CLIMA	17,04	9,40
SOKLOVA DESKA TL 40MM	38,61	9,36
317610 SPACHTLE STUK 100	21,69	8,36
FASADNI CISTICI PROSTRED	2,00	8,20
491930 PASKA PVC 30	12,45	7,20
PROFIL DILATACNI 153	7,36	7,20
TERRA LZS 730 25	11,00	6,60
OP W 25	0,37	6,19
EPS GREYWALL 100MM	0,25	5,76
SILIKON TRANSP 280	0,55	4,47
AKRYL TMEL	46,95	4,08
SOKLOVA DESKA SDTL 60MM	1,21	4,04
PROFIL DILATACNI 143	2,50	3,64
CEPEL	62,50	2,99
EPS STYROTHERM 30	3,28	2,10
PROFIL DILATACNI 53	1,00	1,47
CEPEL VELKA	3,74	0,70
PODLOZKA TL 8MM	19,05	0,42
LISTA ALU UKON 13/24 90	0,56	0,15

(zdroj: PIS)

Příloha 2: Výstupy z programu RStudio při analýze spotřeby položky Weber tmel

```
> library(diptest)
> dip.test(Stand.Vydej)

      Hartigans' dip test for unimodality / multimodality

data:  Stand.Vydej
D = 0.045689, p-value = 0.6239
alternative hypothesis: non-unimodal, i.e., at least bimodal
```

```
> library(LaplacesDemon)
> is.unimodal(Stand.Vydej)
[1] TRUE
> is.bimodal(Stand.Vydej)
[1] FALSE
> shapiro.test(Stand.Vydej)
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data:  Stand.Vydej
W = 0.97579, p-value = 0.3911
> t.test(Stand.Vydej,mu=11302)
```

One Sample t-test

```
data:  Stand.Vydej
t = 0.00051443, df = 49, p-value = 0.9996
alternative hypothesis: true mean is not equal to 11302
95 percent confidence interval:
 9710.818 12893.997
sample estimates:
mean of x
11302.41
> ks.test(Stand.Vydej, "pnorm",11302,5600)
```

Exact one-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data:  Stand.Vydej
D = 0.082755, p-value = 0.8553
alternative hypothesis: two-sided
```


Příloha 3: Výstupy z programu RStudio při analýze spotřeby položky Síťovina R117

```
> shapiro.test(Stand.Vydej)
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: Stand.Vydej  
W = 0.97728, p-value = 0.4437  
> t.test(Stand.Vydej,mu=1814)
```

One Sample t-test

```
data: Stand.Vydej  
t = -0.00045488, df = 49, p-value = 0.9996  
alternative hypothesis: true mean is not equal to 1814  
95 percent confidence interval:  
 1551.347 2076.534  
sample estimates:  
mean of x  
 1813.941  
> ks.test(Stand.Vydej, "pnorm",1814,924)
```

Asymptotic one-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: Stand.Vydej  
D = 0.058462, p-value = 0.9956  
alternative hypothesis: two-sided
```