

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
Provozně ekonomická fakulta

ÚSTAV STATISTIKY A OPERAČNÍHO VÝZKUMU



Optimalizace řízení zásob ve firmě POEX Velké Meziříčí a.s.

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Kolman, Ph.D.

Bc. Kateřina Třeštíková

Brno 2015

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu Ing. Pavlu Kolmanovi, Ph.D., za odborné vedení, ochotu, cenné rady a vstřícný přístup po celou dobu zpracovávání diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat společnosti POEX Velké Meziříčí a.s. za poskytnuté informace, bez nichž bych práci nemohla zrealizovat, a také své rodině a přáteli za jejich podporu a trpělivost během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Optimalizace řízení zásob ve firmě POEX Velké Meziříčí a.s.*“ zpracovala samostatně dle pokynů vedoucího práce a s využitím zdrojů, jež jsou uvedeny v seznamu literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 3. Ledna 2015

ABSTRACT

Třeštíková, K. Inventory optimalization in POEX Velké Meziříčí JSC. Diploma thesis. Brno, 2015

This diploma thesis deals with inventory optimalization in Poex Velké Meziříčí JSC which operates on food markets. The main goal is to evaluate current company's situation based on collected data and with help of mathematical models propose steps leading to higher efficiency of company's supply chain. Another goal is to create model which will help to predict future demand based on the data of its past development.

Keywords

Supplies, deterministic and stochastic demand, inventory management, inventory strategies, warehouses, time series, trend and seasonality of time series.

ABSTRAKT

Třeštíková, K. Optimalizace řízení zásob ve firmě POEX Velké Meziříčí a.s. Diplomová práce. Brno, 2015

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci zásob ve firmě POEX Velké Meziříčí a.s., jenž působí na trhu v oblasti potravinářského průmyslu. Cílem práce je na základě získaných informací vyhodnotit stávající situaci společnosti, pomocí matematických modelů navrhnout kroky vedoucí k vyšší efektivnosti zásobování a také vytvořit model, díky kterému bude možné předpovídat budoucí poptávku na základě jejího vývoje v minulosti.

Klíčová slova

Zásoby, deterministická a stochastická poptávka, modely řízení zásob, strategie řízení zásob, sklady, časové řady, trend a sezónnost časových řad

OBSAH

1. Úvod a cíl práce	13
1.1 Úvod	13
1.2 Cíl práce	14
2. Teoretická Část	15
2.1 Charakteristika zásob	15
2.1.1 Druhy zásob	16
2.2 Metody Řízení zásob	16
2.2.1 Metoda ABC	16
2.2.2 Metoda Just in time	17
2.3 Závislá vers. nezávislá poptávka.....	18
2.4 Strategie Řízení zásob	18
2.5 Poptávka	20
2.5.1 Deterministická – rovnoměrná poptávka	20
2.5.2 Stochastická – náhodná poptávka	24
2.6 Sklady a skladovací systémy.....	26
2.6.1 Druhy skladů	26
2.6.2 Náklady spojené se zásobami podniku.....	28
3. Metodika	30
3.1 Časové řady	30
3.1.1 Popisné charakteristiky časových řad	30
3.1.2 Dekompozice časových řad	31
3.1.3 Předpovědi v časových řadách.....	35
4. Praktická část	37
4.1 Charakteristika společnosti POEX Velké Meziříčí a.s.	37
4.2 Příprava dat a stanovení předpokladů.....	37
4.3 ABC klasifikace	38

4.4	KOKOS STROUHANÝ	39
4.4.1	VOLBA VHODNÉHO TRENDU	39
4.4.2	TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ.....	46
4.4.3	PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014	49
4.4.4	APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB	50
4.4.5	Optimalizace pro předpovídané hodnoty roku 2014	53
4.4.6	Dílčí závěry pro kokos	54
4.5	MANDLE	55
4.5.1	VOLBA VHODNÉHO TRENDU	56
4.5.2	TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ.....	61
4.5.3	PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014	64
4.5.4	APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB	65
4.5.5	Optimalizace pro předpovídané hodnoty roku 2014	67
4.5.6	Dílčí závěry pro mandle	68
4.6	MÁK MODRÝ	69
4.6.1	VOLBA VHODNÉHO TRENDU	70
4.6.2	TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ.....	75
4.6.3	PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014	78
4.6.4	APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB	79
4.6.5	Optimalizace pro předpovídané hodnoty roku 2014	81
4.6.6	Dílčí závěry pro mák modrý	82
4.7	ROZINKY	83
4.7.1	VOLBA VHODNÉHO TRENDU	84
4.7.2	TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ.....	89
4.7.3	PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014	92
4.7.4	APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB	93
4.7.5	Optimalizace pro předpovídané hodnoty roku 2014	94
4.7.6	Dílčí závěry pro rozinky	96
4.8	LÍSKOVÁ JÁDRA	97
4.8.1	VOLBA VHODNÉHO TRENDU	98

4.8.2	TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ.....	103
4.8.3	PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014.....	105
4.8.4	APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB	106
4.8.5	Optimalizace pro předpovídané hodnoty roku 2014.....	108
4.8.6	Dílčí závěry pro lísková jádra.....	110
5.	Závěr	111
6.	Literatura	113
	Přílohy	116

Seznam obrázků

Obr. 1	Lorenzova křivka znázorňující ABC analýzu	17
Obr. 2	Pojetí metody JIT	18
Obr. 3	Strategie tahu a tlaku	19
Obr. 4	Dodávkové cykly modelu EOQ	20
Obr. 5	Grafické znázornění nákladové funkce $N(q)$	21
Obr. 6	Dodávkové cykly v modelu s přechodným neuspokojením poptávky	23
Obr. 7	Výrobní a spotřební cyklus v modelu POQ	24
Obr. 8	Závislost stavu zásoby na čase při stochastické poptávce	25
Obr. 9	Druhy skladů	27
Obr. 10	Rozdělení nákladů na udržování zásob	29
Obr. 11	Rozdíl mezi proporcionální a konstantní sezónností	33
Obr. 12	Podíl jednotlivých surovin na nákladech	38
Obr. 13	Charakteristiky modelů – výstup z programu	43
Obr. 14	Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl	45
Obr. 15	Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl	59
Obr. 16	Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl	60
Obr. 17	Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl	73
Obr. 18	Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl	74
Obr. 19	Grafické srovnání trendů	75
Obr. 20	Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl	87
Obr. 21	Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl	88
Obr. 22	Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl	100
Obr. 23	Analýza ANOVA pro exponenciální trend – výstup z programu Gretl	102

Seznam tabulek

Tab. 1	ABC klasifikace surovin dle podílu na finančních nákladech	38
Tab. 2	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1	40
Tab. 3	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2	41
Tab. 4	Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'	41
Tab. 5	Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely	44
Tab. 6	Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletí	47
Tab. 7	Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky	47
Tab. 8	Sezónní indexy	48
Tab. 9	Průměrné měsíční indexy sezónnosti	49
Tab. 10	Předpověď hodnot pro rok 2014	49
Tab. 11	Poptávka v jednotlivých čtvrtletích	50
Tab. 12	Výpočty pro rok 2013	51
Tab. 13	Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013	53
Tab. 14	Poptávka v jednotlivých čtvrtletí v letech 2009 – 2014	53
Tab. 15	Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014	54
Tab. 16	Výsledky pro rok 2014	54
Tab. 17	Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013	55
Tab. 18	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1	56
Tab. 19	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2	57
Tab. 20	Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'	57
Tab. 21	Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely	59
Tab. 22	Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletí	61
Tab. 23	Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky	62
Tab. 24	Sezónní indexy	63
Tab. 25	Průměrné měsíční indexy sezónnosti	63
Tab. 26	Předpověď hodnot pro rok 2014	64
Tab. 27	Poptávka v jednotlivých čtvrtletích	65
Tab. 28	Výpočty pro rok 2013	66

Tab. 29	Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013	67
Tab. 30	Poptávka v jednotlivých čtvrtletí v letech 2009 – 2014	67
Tab. 31	Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014	68
Tab. 32	Výsledky pro rok 2014	68
Tab. 33	Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013	69
Tab. 34	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1	70
Tab. 35	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2	71
Tab. 36	Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'	72
Tab. 37	Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely	73
Tab. 38	Průměrné hodnoty jednotlivých čtvrtletí	75
Tab. 39	Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky	76
Tab. 40	Sezónní indexy	77
Tab. 41	Průměrné měsíční indexy sezónnosti	77
Tab. 42	Výpočet budoucích hodnot pro rok 2014	78
Tab. 43	Poptávka v jednotlivých čtvrtletích	79
Tab. 44	Výpočty pro rok 2013.	80
Tab. 45	Výsledky pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013	81
Tab. 46	Poptávka v jednotlivých čtvrtletí od roku 2009 - 2014	81
Tab. 47	Výpočty pro jednotlivý čtvrtletí roku 2014	82
Tab. 48	Výsledky pro rok 2014	82
Tab. 49	Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013	83
Tab. 50	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1	84
Tab. 51	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2	85
Tab. 52	Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'	85
Tab. 53	Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely	87
Tab. 54	Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletí	89
Tab. 55	Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky	90
Tab. 56	Sezónní indexy	91
Tab. 57	Průměrné měsíční indexy sezónnosti	91
Tab. 58	Výpočet budoucích hodnot pro rok 2014	92

Tab. 59	Poptávka v jednotlivých čtvrtletích	93
Tab. 60	Výpočty pro rok 2013	94
Tab. 61	Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013	94
Tab. 62	Poptávka v jednotlivých čtvrtletí v letech 2009 – 2014	95
Tab. 63	Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014	95
Tab. 64	Výsledky pro rok 2014	96
Tab. 65	Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013	96
Tab. 66	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1	98
Tab. 67	Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2	99
Tab. 68	Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'	99
Tab. 69	Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely	101
Tab. 70	Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletí	103
Tab. 71	Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky	103
Tab. 72	Sezónní indexy	104
Tab. 73	Průměrné měsíční indexy sezónnosti	105
Tab. 74	Výpočet budoucích hodnot pro rok 2014	105
Tab. 75	Poptávka v jednotlivých čtvrtletích	106
Tab. 76	Výpočty pro rok 2013	107
Tab. 77	Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013	108
Tab. 78	Poptávka v jednotlivých čtvrtletí v letech 2009 – 2014	108
Tab. 79	Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014	109
Tab. 80	Výsledky pro rok 2014	109
Tab. 81	Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013	110

Seznam grafů

Graf 1: Časová řada nákupů kokosu v letech 2009 - 2013.....	39
Graf 2: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro kokos.....	46
Graf 3: Předpovídané hodnoty pro rok 2014	50
Graf 4: Časová řada nákupů mandlí v letech 2009 - 2013	56
Graf 5: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro mandle.....	61
Graf 6: Předpovídané hodnoty pro rok 2014	64
Graf 7 Časová řada nákupů máku modrého v letech 2009 - 2013	70
Graf 8: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro mák modrý ..	75
Graf 9: Předpovídané hodnoty pro rok 2014	79
Graf 10: Časová řada nákupů rozinek v letech 2009 - 2013	84
Graf 11: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro rozinky	89
Graf 12: Předpovídané hodnoty pro rok 2014	92
Graf 13: Časová řada nákupů lískových jader v letech 2009 - 2013.....	97
Graf 14: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro lísk. jádra..	102
Graf 15: Předpovídané hodnoty pro rok 2014	106

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

1.1 ÚVOD

Český trh se stává stále více a více rozvinutým a konkurence na něm neustále roste. Pro stávající podniky je obtížné udržet si na trhu své místo a prosperitu, ještě těžší je pro nově vzniklé podniky na trh vůbec vstoupit. Proto je pro každou společnost nezbytné zajistit pokud možno bezchybný chod všech procesů uvnitř podniku. Jedním z těchto procesů je i zásobování.

Ekonomické subjekty jsou při své obchodní činnosti vystaveny určitému riziku ze strany dodavatele – dodané zboží nemusí odpovídat požadované kvalitě, dodací lhůta se může nečekaně prodloužit, velikost dodávky může být nedostatečná apod. Tyto nepříznivé události omezují činnost i plynulý chod společnosti, což v silně konkurenčním prostředí může vést v důsledku až ke ztrátě zákazníků. Je tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost právě oblasti zásobování a udržovat zásoby na optimální úrovni. Co ale je optimální úroveň? Na tuto otázku nelze odpovědět jednoznačně. Každý podnik je jinak velký, zabývá se jinou činností, má odlišné prostorové uspořádání, různý počet zaměstnanců, atd. Dvě věci však mají všechny podniky společné. Zaprvé, pokud je výše zásob příliš nízká, může dojít k jejímu předčasnému vyčerpání, čímž vzniká riziko z neuspokojení požadavků svých zákazníků. Za druhé, je-li stav zásob naopak příliš vysoký, jsou s tím spojeny vyšší náklady. Zásoby totiž váží velké množství finančních prostředků, které by mohly být využity jiným, efektivnějším způsobem – jedná se o tzv. náklady obětovaných příležitostí. Optimalizací zásob mohou firmy dosáhnout lepšího cash-flow i návratnosti investic.

Zásoby mohou mít na chod podniku jak pozitivní, tak i negativní vliv. Na jednu stranu řeší časový, místní a sortimentní nesoulad mezi výrobou a spotřebou a slouží ke krytí nepředvídatelných výkyvů a poruch, na druhou stranu s sebou nesou riziko spojené se znehodnocením, nepoužitelností či neprodejností a kapitál investovaný do zásob může chybět při financování technického rozvoje nebo snižovat likviditu.

Firma POEX Velké Meziříčí a.s., jejíž zásoby jsou v této diplomové práci analyzovány, spadá svojí činností do oblasti potravinářského průmyslu. V tomto odvětví je skladovací proces poněkud odlišný než například v odvětví elektroniky. Potravinu totiž podléhá kazivosti a mají určenou expirační dobu, do kdy je lze spotřebovat.

1.2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je provést optimalizace zásob ve firmě POEX Velké Meziříčí a.s. V první řadě bude nutné získat od společnosti potřebné informace. Na základě těchto informací bude provedena analýza současné situace ve společnosti, odhaleny silné a slabé stránky celého procesu skladování. Pomocí matematických modelů budou navrhнуты postupy, vedoucí k zefektivnění celého zásobovacího procesu. Hlavním cílem je tedy odpovědět na otázku jaké množství zásob nakupovat, jak často nakupovat a při jakých optimálních nákladech.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 CHARAKTERISTIKA ZÁSOb

„Zásobami rozumíme libovolný pohotový ekonomický zdroj, který není v daném časovém intervalu trojce plně využíván, avšak jehož výše je stanovena tak, aby umožňoval z ekonomického hlediska co nejvýhodnější krytí budoucí poptávky po tomto zdroji. Pohyb zásob je určen z jedné strany poptávkou po zásobách a ze strany druhé způsobem jejich doplňování, což znamená stanovení okamžiku a výše objednávky k doplnění zásoby.“ (Dudorkin J., 2002, s. 169).

Jiným způsobem lze definovat zásobování jako činnost podniku, při níž podnik zajišťuje potřebné suroviny a materiál v požadovaném množství a kvalitě, ve stanovené době a při výhodných cenách. Tyto suroviny a materiál potom využívá pro svoji podnikatelskou činnost. Hlavním cílem je vytvářet optimální zásobu, která zajistí plynulý chod podniku. Držení zásob dále vyplývá z funkcí, které zásoby v podniku plní. Plevný a Žižka (2005) rozdělují zásoby do tří hlavních kategorií dle jejich funkce:

1. Geografická funkce, kdy zásoby umožňují místní odloučení výroby a spotřeby a optimální rozmístění výrobních kapacit z hlediska zdrojů surovin, energií a pracovníků
2. Vyrovnávací a technologická funkce, která spočívá v zabezpečení plynulosti výrobního procesu a eliminaci neočekávaných výkyvů v poptávce a dodávkách
3. Spekulativní funkce, jejímž cílem je dosažení mimořádného zisku prostřednictvím výhodného nákupu zboží za nižší cenu a jeho následným prodejem za cenu vyšší.

Němec F. (2002, s. 127) stanovuje pět důvodů, díky kterým v podniku existují zásoby:

- umožňují podniku dosáhnout úspor, založených na rozsahu výroby
- vyrovnávají nesoulad mezi nabídkou a poptávkou
- umožňují podniku specializaci výroby
- zajišťují ochranu před nečekanými výkyvy v poptávce a během cyklu objednávky
- poskytují nárazník mezi kritickými místy distribučního řetězce

Zásoby členíme do 5 hlavních skupin:

1. materiálové zásoby – závislé na povaze hlavní činnosti podniku
 - a) základní suroviny (kov, dřevo,...)
 - b) pomocné materiály (barvy, maziva,...)
 - c) obaly (plechovky, kartony,...)
 - d) pohonné hmoty (benzin, nafta,...)
 - e) drobné nářadí (vrtačky, šroubováky,...)

- f) kancelářské potřeby (papíry, tužky,...)
- 2. nedokončená výroba – výrobky, které jsou rozpracované a prozatím nejsou určeny k prodeji
- 3. polotovary – rozpracované výrobky, z hlediska některého technologického stupně již dokončeny a určeny k prodeji (hřebík, deska dřeva,...)
- 4. hotové výrobky – dokončené výrobky připravené k prodeji
- 5. a zboží – výrobky nakoupené za účelem dalšího prodeje (v nezměněném stavu)

2.1.1 DRUHY ZÁSOB

Plevný a Žížka (2005, s. 264) rozlišují několik druhů zásob

- **Pojistná zásoba** slouží k tlumení náhodných výkyvů jak na straně vstupu do podniku (velikost a interval dodávek), tak na straně výstupu (velikost a interval čerpání zásob)
- **Technologická zásoba** vzniká ve chvíli, kdy je proces výroby již ukončen, ale výrobek ještě vyžaduje jistou dobu skladování, než bude schopen uspokojit poptávku zákazníka. Např. pivo, víno, sýry, atd.
- **Běžná zásoba** kryje potřeby podniku v období mezi dvěma dodávkami. Jelikož její stav v průběhu dodávkového cyklu kolísá, pracuje se při výpočtech obvykle s průměrnou obratovou zásobou.
- **Sezónní zásoba** (zásoba pro předzásobení) vyrovnává předpokládané větší výkyvy na vstupu nebo na výstupu. Jedná se o zvýšenou spotřebu výrobku např. v období vánoc, kdy podnik začne plánovitě vytvářet zásobu již v polovině roku a předpokládá, že takto vytvořenou zásobu na konci roku prodá.
- **Havarijní zásoba** zajišťuje plynulé fungování podniku při nepředvídatelných událostech, jako jsou stávky, konflikty apod.

2.2 METODY ŘÍZENÍ ZÁSOB

2.2.1 METODA ABC

„Základem této metody je Paretova zákonitost, že ve většině případů je osmdesát procent důsledků vyvoláno pouze dvaceti procenty všech možných příčin“ (Vaněček D. 2008, str. 101)

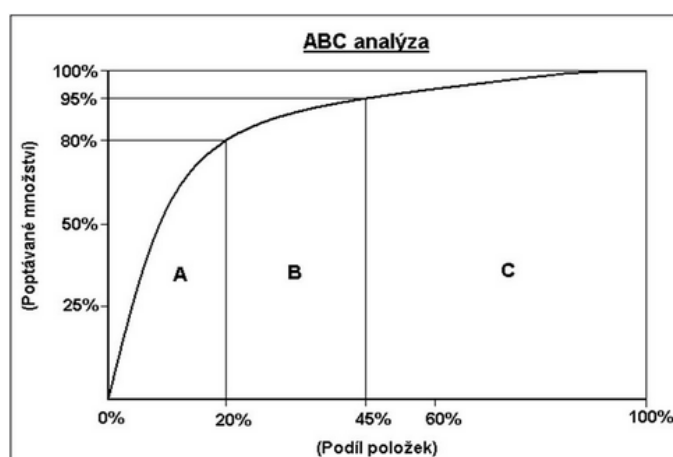
Metoda ABC spočívá v rozdělení skladových zásob na tři kategorie – kategorie A, B a C. V praxi se někdy využívá jemnější členění na čtyři kategorie, v takovém případě mluvíme o analýze ABCD.

Do **kategorie A** řadíme položky, které reprezentují 80% hodnoty spotřeby nebo prodeje. Jsou to nejdůležitější skladové položky a sledují se takřka denně. Pro tyto položky je vhodné využití tzv. Q - systému řízení zásob¹.

Do **sekce B** spadají položky s podílem 15% na hodnotě spotřeby nebo prodeje. Tyto položky se sledují méně často a je vhodné u nich využít tzv. P – systém řízení zásob².

Kategorie C je reprezentována málo důležitými položkami, které představují cca 5-ti % podíl na hodnotě spotřeby nebo prodeje. V tomto případě je uplatňován nejčastěji systém dvou zásobníků³

Při podrobnějším dělení se vyčleňuje ještě **kategorie D**, která zahrnuje tzv. „mrtvé“ položky zásob. Ty je nutné prodat buď za sníženou cenu, nebo je odepsat.



Obr. 1 Lorenzova křivka znázorňující ABC analýzu

Zdroj: Sixta, Žižka; Logistika, používané metody; 2009

2.2.2 METODA JUST IN TIME

Metodu Just-In-Time (JIT) charakterizuje Němec F. (2002, s. 68) jako „systém, ve kterém jsou potřebné materiály dodávány právě včas, tj. přesně v době, kdy jsou potřebné a v množství, které je právě zapotřebí.“ Správné uplatňování metody JIT vede ke snížení nákladů, zlepšení produktivity, snížení stavu zásob a zvýšení kvality výrobků. Při implementaci metody JIT je nutné vycházet jednak z celkové, ale především z výrobní strategie firmy. Keřkovský (2001, s. 62) uvádí tři způsoby pojetí této metody:

- 1) Výrobní filozofie

¹ Q – systém pracuje s pevnými velikostmi objednávek a kolísání ve spotřebě vyrovnává změnami frekvence objednávek

² P – systém naopak od Q – systému má pevně stanovenou intenzitu objednávek, ale liší se jejich velikostí.

³ Systém dvou zásobníků spočívá v rozdělení zásoby, kdy běžná zásoba je skladována ve velkém zásobníku a pojistná zásoba v malém zásobníku. Po vyčerpání zásoby z velkého zásobníku je vystavena objednávka a prozatím je poptávka kryta malým zásobníkem.

- 2) Soubor technik vytvářející podmínky pro produktivní práci
- 3) Řízení výroby zahrnuje i plánovací principy JIT



Obr. 2 Pojetí metody JIT

Zdroj: Keřkovský; Moderní přístupy k řízení výroby; 2001

2.3 ZÁVISLÁ VERS. NEZÁVISLÁ POPTÁVKA

„Závislou a nezávislou poptávku po zásobách rozlišujeme podle toho, jestli poptávka po určité položce závisí na poptávce po něčem jiném. Nezávislou položkou zásob je například hotový výrobek, zatímco závislými položkami zásob jsou suroviny a díly, ze kterých se tento hotový výrobek vyrábí. Poptávka po surovinách a dílech se odvozuje od poptávky po hotovém výrobku. Potřebu závislých položek zásob není potřeba prognózovat. Lze ji kalkulovat na základě výrobního programu hotových výrobků. Potřebu výroby hotových výrobků je možno prognózovat nebo vycházet z poptávky a objednávek zákazníků.“ (Lambert, 2005, s. 123)

2.4 STRATEGIE ŘÍZENÍ ZÁSOB

1. Řízení poptávkou

Jinými slovy se jedná o tzv. tažný, neboli „pull“ princip. Tato strategie je spojena s nutností reagovat na požadavky zákazníků. V souvislosti s pull strategií hovoříme o nezávislé poptávce a řízení zásob pak probíhá v podmínkách nejistoty.

Daněk (2005, str. 91) stanovuje následující podmínky zajišťující správné fungování této strategie:

- Všichni zákazníci a výrobky jsou rovnocenní z hlediska dosažení zisku dodavatele
- Existuje neomezená zásoba výrobků u dodavatele (předpokládá to i neomezenou kapacitu jejich výrobců, aby byli schopni vyrobit potřebné množství v okamžiku vzniku potřeby na trhu)
- Poptávka je relativně stabilní, případné odchylky mají známé rozdělení
- Konkrétní dodávky musí být větší než poptávka v průběhu dodacího cyklu

- Délka dodacího cyklu nesmí být závislá na velikosti poptávky, aby bylo možno kvantifikovat výkyvy v poptávce

2. Řízení plánem

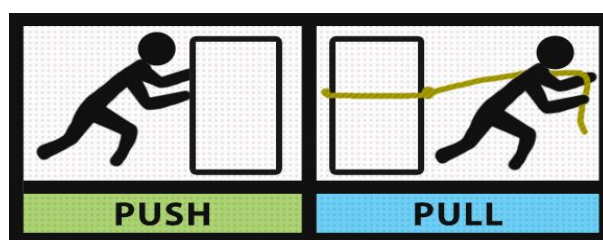
Při strategii řízení plánem je velikost zásob i jejich pohyb předem plánován, a to bez ohledu na aktuální požadavky zákazníků. Název metody vychází z anglického označení „push“, což znamená tlak, tlačit. Podstatou strategie je podrobný plán požadavků na distribuci a přehled o požadavcích na zásoby v jednotlivých plánovacích horizontech (nejčastěji týdnech). Aby nedocházelo ke zbytečně velkým finančním ztrátám, je třeba pro každý časový úsek určit:

- Požadavky na odběr odpovídající požadavkům zákazníků
- Plánované příjmy dodávek do skladů
- Plánované doplňovací objednávky
- Stav zásob na skladě v jednotlivých časových obdobích.

3. Pružná metoda řízení

Poslední strategií je pružná metoda řízení, která využívá jak princip „pull“, tak i princip „push“, podle toho, která se za daných podmínek jeví jako vhodnější. Daněk (2005, s. 92) stanovuje čtyři pravidla, sloužící k rozhodnutí o tom, jaký princip bude v příslušném období použit:

- Rentability segmentů trhu a jejich stálost
- Závislost či nezávislost poptávky
- Rizika z nejistoty v distribučním řetězci
- Kapacita zařízení v distribučním řetězci



Obr. 3 Strategie tahu a tlaku

Zdroj: Google.cz – internetové stránky

2.5 POPTÁVKA A MODEL Y ŘÍZENÍ ZÁSOb

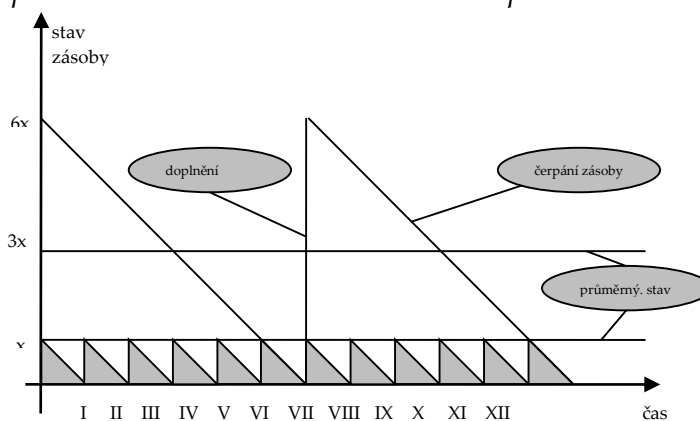
2.5.1 DETERMINISTICKÁ – ROVNOMĚRNÁ POPTÁVKA

Model EOQ

Tento model byl poprvé zformulován v roce 1915 a zaměřuje se na optimální velikost objednávky. Jablonský (2007, s. 213) stanovuje následující základní předpoklady modelu:

- Poptávka je známá a konstantní (deterministická) – označíme ji symbolem Q
- Čerpání zásob ze skladu je rovnoměrné
- Pořizovací lhůta dodávek je známá a konstantní
- Velikost všech dodávek je konstantní – označíme symbolem q
- Nákupní cena je nezávislá na velikosti objednávky (neuvažujeme množstevní rabaty)
- Není připuštěn vznik nedostatku zásoby (k doplnění skladu dochází v okamžiku jeho vyčerpání)
- K doplnění skladu dochází v jednom časovém okamžiku

Dále dle Jablonského dochází v uvedeném modelu k pravidelnému opakování shodných dodávkových cyklů. Délku každého cyklu, tj. interval mezi dvěma dodávkami, označíme symbolem t . Každý cyklus se přitom skládá z fáze čerpání zásoby a fáze doplnění skladu dodávkou o velikosti q .



Obr. 4 Dodávkové cykly modelu EOQ

Zdroj: Jablonský; Operační výzkum; 2002

Model EOQ uvažuje dvě možné strategie doplňování skladu. První strategie spočívá v malém počtu objednávek (např. jednou až dvakrát do roka). Z tohoto důvodu jsou pro tuto strategii charakteristické vysoké skladovací náklady a naopak nízké fixní náklady. Druhá strategie, počítá s velkým množstvím objednávek (např. každý měsíc.). S tím souvisejí nízké skladovací a vysoké fixní náklady.

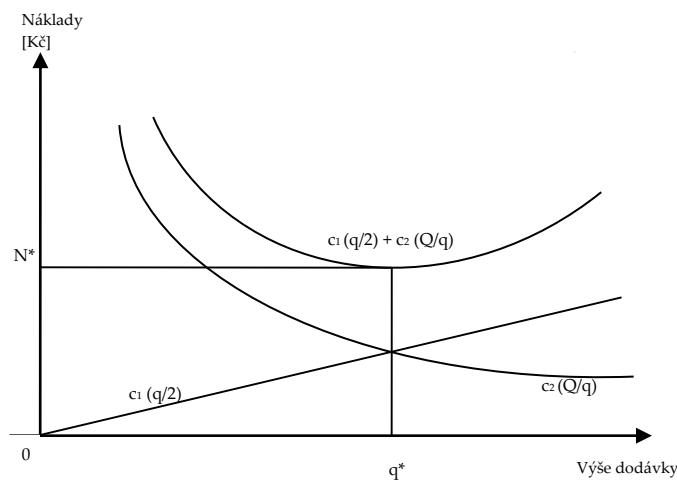
Janová a Kolman uvádějí, že celkové náklady se v tomto modelu skládají ze dvou částí. První jsou náklady na skladování, které jsou vyčísleny jako $c_1 \cdot q/2$, jelikož průměrný stav zásob je stanoven jako $q/2$. Druhou část tvoří náklady spojené s pořízením jedné dodávky a jsou určeny jako součin nákladů na pořízení jedné dodávky a počtu dodávkových cyklů. Celkové náklady lze tedy vyjádřit pomocí následujícího vztahu:

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

kde

- c_1 jednotkové skladovací náklady za rok
- c_2 pořizovací náklady jedné dodávky
- q velikost jedné dodávky
- Q velikost poptávky za rok
- $q/2$ průměrná velikost zásoby
- Q/q počet dodávkových cyklů

Celkové náklady $N(q)$ lze podle Jablonského rozložit do dvou funkcí. Jedna z nich je funkcí lineární - $c_1 \cdot (q/2)$ – vyjadřující přímou závislost skladovacích nákladů na objemu dodávky q . Druhou funkcí je hyperbola – $c_2 \cdot (Q/q)$ -vyjadřující naopak nepřímou závislost fixních nákladů na objemu dodávky q . Po zakreslení obou funkcí do grafu zjistíme optimální úroveň objednávky q^* s minimálními náklady N^* jak je patrné z obrázku č. 5.



Obr. 5 Grafické znázornění nákladové funkce $N(q)$

Zdroj: Janová, Kolman; Vybrané kapitoly z operačního výzkumu; 2011

Optimální velikost dodávky zjistíme pomocí první derivace funkce $N(q)$, kterou položíme rovnu nule:

$$\frac{\partial N}{\partial q} = \frac{c_1}{2} - \frac{c_2 Q}{q^2} = 0 \quad (2)$$

potom

$$q^* = \sqrt{\frac{2Qc_2}{c_1}} \quad (3)$$

kde q^* je optimální velikost dodávky.

Po dosažení q^* do nákladové funkce získáme po úpravách optimální hodnotu celkových nákladů:

$$N^* = \sqrt{2Qc_1c_2} \quad (4)$$

Optimální délku dodávkového cyklu t^* vyjádříme jako

$$t^* = \frac{q^*}{Q} = \sqrt{\frac{2c_2}{Qc_1}} \quad (5)$$

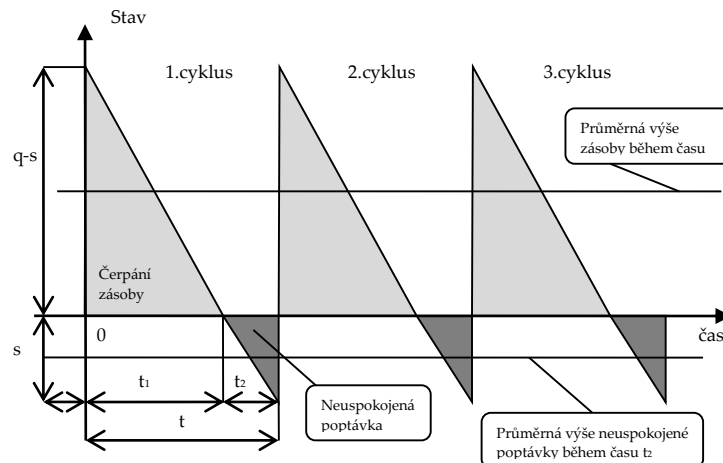
Jablonský dále označuje symbolem r^* bod znovuobjednávky, který udává, při jakém počtu jednotek ve skladu je třeba vystavit objednávku tak, aby k doplnění skladu došlo v požadovaném okamžiku – v okamžiku vyčerpání zásoby ve skladu.

$$r^* = (Q \times d) \bmod q^* \quad (6)$$

Model s přechodným neuspokojením poptávky

Model s přechodným neuspokojením poptávky vychází z modelu předcházejícího, ovšem s tím rozdílem, že připouští přechodný nedostatek zásoby ve skladu. Tzn., že poptávka po jednotkách zásoby může být neuspokojená. Jablonský navíc zmiňuje dvě dodatečné charakteristiky tohoto modelu:

1. Dodávkový cyklus se rozpadá na dva intervaly. První cyklus označujeme t_1 . Zásoba je ve skladu a dochází k jejímu vyčerpání. Druhý cyklus t_2 vychází již z nulové zásoby. Délka dodávkového cyklu je potom prostým součtem prvního a druhého cyklu, tedy $t = t_1 + t_2$.
2. Neuspokojenou poptávku v intervalu t_2 označíme symbolem s . Tato poptávka bude uspokojena okamžitě po obdržení nejbližší dodávky na sklad. Z celkového objemu q jednotek bude tedy s jednotek ihned použito na uspokojení čekající poptávky a zbytek ve výši $(q-s)$ jednotek bude umístěn do skladu.



Obr. 6 Dodávkové cykly v modelu s přechodným neuspokojením poptávky
Zdroj: Jablonský; Operační výzkum; 2002

V tomto modelu se vyskytují tři kategorie nákladů:

- skladovací náklady (pouze pokud jsou nějaké zásoby na skladu)

$$c_1 \cdot \frac{q-s}{2} \cdot t_1 \quad (7)$$

- pořizovací náklady

- a náklady z nedostatku zásoby

$$c_3 \cdot \frac{s}{2} \cdot t_2 \quad (8)$$

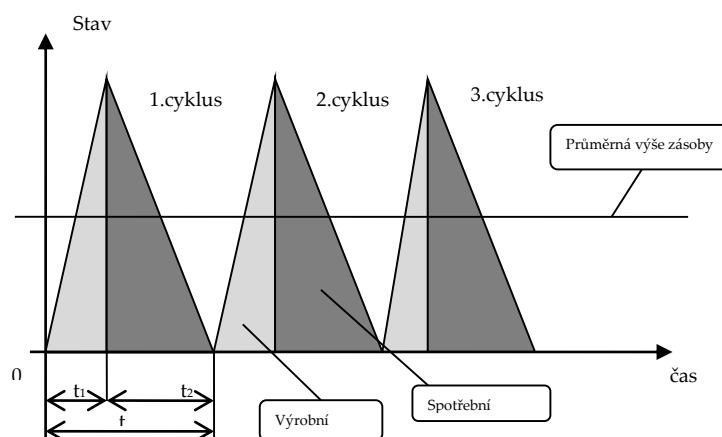
Z výše uvedeného snadno sestavíme nákladovou funkci

$$N(q, s) = (c_1 \cdot \frac{q-s}{2} \cdot t_1 + c_2 + c_3 \cdot \frac{s}{2} \cdot t_2) \cdot \frac{Q}{q} \quad (9)$$

Produkčně spotřební model – POQ

Produkční model POQ (production order quantity) se od modelu EOQ liší ve způsobu doplňování skladu. Zatímco model EOQ předpokládá doplnění skladu v jednom okamžiku, u produkčního modelu se dodávkový cyklus rozpadá na dvě části – výrobní a spotřební. Ve výrobním cyklu se sklad rovnoměrně doplňuje a zároveň se z něj čerpá. Ve spotřební fázi dochází už pouze k čerpání zásob ze skladu, přičemž se nepřipouští možnost vzniku nedostatku zásob. Celkové náklady se skládají z nákladů fixních a variabilních (skladovacích).

Průběh závislosti stavu zásob na času v modelu EOQ je zachycen na obrázku 7.



Obr. 7 Výrobní a spotřební cyklus v modelu POQ

Zdroj: Jablonský; Operační výzkum; 2002

Množstevní rabaty

Posledním z deterministických modelů jsou množstevní rabaty. Na rozdíl od předchozích modelů jsou v tomto modelu uvažovány situace, kdy dodavatel nabízí množstevní slevy při objednávce v určité výši. Dojde tedy ke snížení nákupní ceny, což povede také k nižším skladovacím nákladům (neboť ty jsou vyjádřeny procentem z nákupní ceny). Nákladová funkce u množstevních rabatů vypadá následovně:

$$N(q) = c_1 \times \frac{q}{2} + c_2 \times \frac{Q}{q} + c_q Q \quad (10)$$

kde

c_q nákupní cena jednotky zásoby při objednávce o objemu q

2.5.2 STOCHASTICKÁ – NÁHODNÁ POPTÁVKA

Model se stochastickou spojitou poptávkou

Janová a Kolman charakterizují poptávku po skladovaném zboží jako náhodnou veličinu s normálním rozdělením $N[\mu_Q, \sigma_Q^2]$ s danou střední hodnotou μ_Q a směrodatnou odchylkou σ_Q^2 . Ve chvíli, kdy stav zásoby klesne na stanovenou mez r (bod znovuoobjednávky), je objednána nová dodávka o velikosti q . Dodací lhůta d je přitom pevně dána. U poptávky během pořizovací lhůty předpokládáme opět normální rozdělení s parametry $\mu_d = d\mu_Q$ a $\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2$.

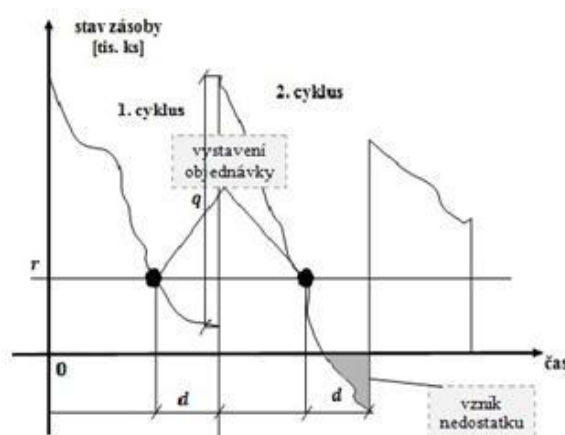
Model opět vychází z modelu EOQ, pouze s tím rozdílem, že namísto deterministické poptávky je použita její střední hodnota. Tedy:

$$q^* = \sqrt{\frac{2\mu_Q c_2}{c_1}} \quad (11)$$

$$N^* = \sqrt{2\mu_Q c_1 c_2} \quad (12)$$

Jablonský stanovuje dva případy, ke kterým může v tomto modelu dojít:

- 1) Nová dodávka přijde do skladu v okamžiku, kdy je stav skladu kladný – nedochází k neuspokojení požadavků (obr. 8 – 1. cyklus)
- 2) Zásoby na skladě jsou vyčerpány a dochází tedy k částečnému neuspokojení požadavků (obr. 8 – 2. cyklus)



Obr. 8 Závislost stavu zásoby na čase při stochastické poptávce
Zdroj: Jablonský; Operační výzkum; 2002

„Pravděpodobnost, že dojde k uspokojení požadavků, nazýváme úroveň obsluhy“ (Janová a Kolman, 2013, s. 87) a označujeme ji symbolem γ .

Úroveň obsluhy je možné zvýšit tím, že je objednávka vystavena v okamžiku, kdy je zásoba na vyšší úrovni než r . Bod znovuobjednávky, odpovídající této úrovni označíme r_γ a platí:

$$r_\gamma = r^* + w \quad (13)$$

kde w charakterizuje **pojistnou zásobu**.

„Pojistná zásoba je dodatečná zásoba, která umožňuje krýt převis poptávky v rámci pořizovací lhůty dodávky, V této souvislosti je nutné si uvědomit, že **vyšší pojistná zásoba vede sice k vyšší úrovni obsluhy, ale za cenu vyšších skladovacích nákladů.**“ (Jablonský, 2002, s. 229)

2.6 SKLADY A SKLADOVACÍ SYSTÉMY

„Sklad je objekt, článek logistického řetězce, popřípadě prostor používaný ke skladování, vybavený skladovací technikou a zařízením, který poskytuje managementu informace o podmínkách a rozmístění skladovaných produktů“ (Vaněček, 2008, s. 110)

„Funkce skladu je schopnost přijímat zásoby, uchovávat, popřípadě vytvářet nebo dotvářet jejich užitné hodnoty, vydávat požadované zásoby a provádět potřebné skladové manipulace“ (Vaněček, 2008, s. 110)

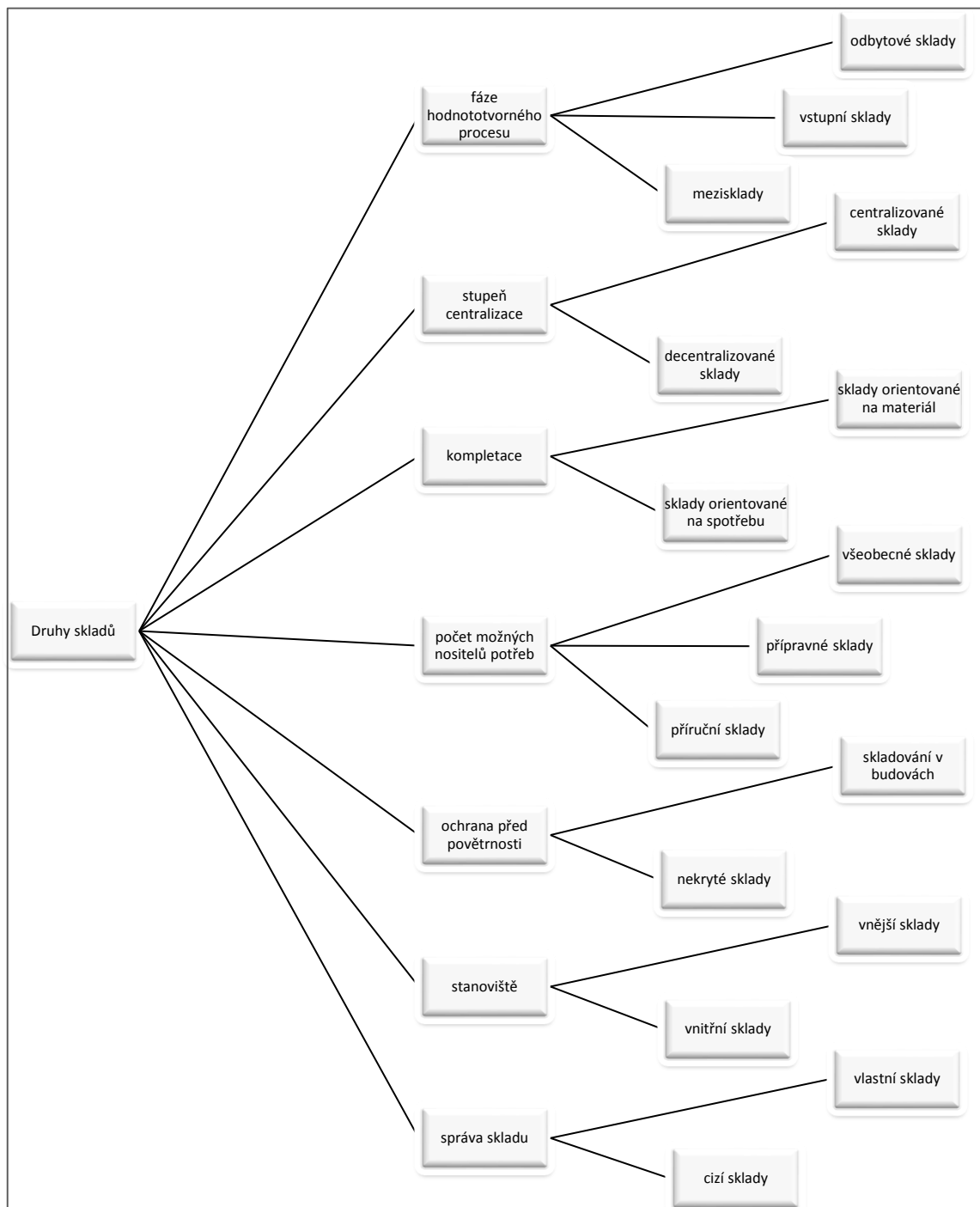
Vaněček (2008, s. 111) dále uvádí následující funkce skladování:

1. Příjem zboží – zahrnuje fyzické vyložení (vybalení) zboží z dopravního prostředku, aktualizaci skladových záznamů, kontrolu stavu zboží a kontrolu fyzického počtu položek s údaji na dokumentaci.
2. Transfer nebo ukládání zboží – fyzický přesun produktů do skladu a jejich uskladnění nebo přesuny produktů do místa výstupní expedice
3. Překládka zboží (cross-docking) – překládka zboží z místa příjmu přímo do místa expedice
4. Odesílání (expedice) zboží – zahrnuje zabalení zásilek, jejich naložení do dopravního prostředku a úpravu skladové dokumentace

2.6.1 DRUHY SKLADŮ

- a) Sklady předvýrobní – zde jsou uskladněny suroviny, materiál a komponenty, které se využívají pro následnou fázi výroby
- b) Sklady distribuční – slouží pro skladování a distribuci již hotové produkce pro další fázi výroby, obchod a spotřebu
- c) Sklady kombinované – jsou kombinací skladů předvýrobních a distribučních

Kromě výše uvedeného je možné sklady dělit podle řady dalších kritérií, jak je vidět na obrázku č. 9.



Obr. 9 Druhy skladů

Zdroj: Sixta, Mačát; Logistika – teorie a praxe; 2010

2.6.2 NÁKLADY SPOJENÉ SE ZÁSOBAMI PODNIKU

1) Náklady spojené s pořízením zásob

V případě nákupu zásob od externích dodavatelů do této kategorie spadají všechny náklady spojené s objednáním zboží a jeho dodáním do skladu. Dále jsou to náklady na vystavení vnitřní výrobní zakázky nebo náklady na seřízení strojů.

2) Náklady na udržování zásob

Do této skupiny nákladů řadíme především náklady kapitálu, náklady na služby, náklady na skladovací prostory a náklady rizika a znehodnocení zásob. Podrobnější členění je patrné z obrázku č. 10.

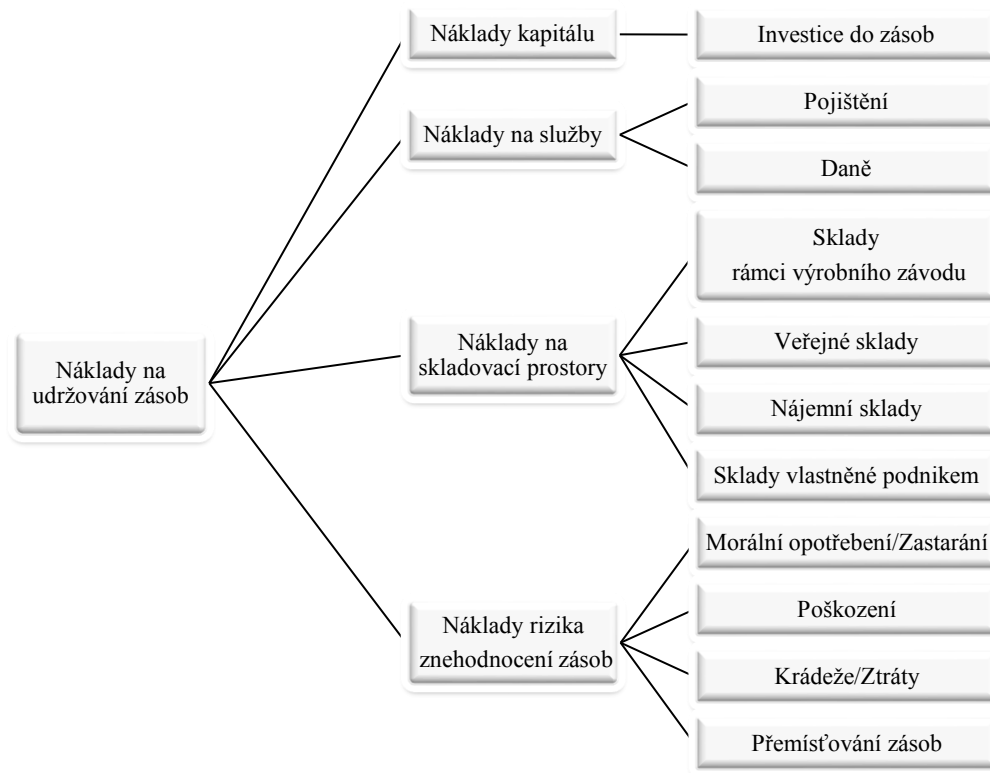
3) Náklady z nedostatku pohotových zásob

Tyto náklady vznikají při neuspokojení poptávky po zásobě. Nejčastěji sem řadíme náklady dodatečné objednávky a náklady ztracené prodejní příležitosti (ušlý zisk). Ve výrobních podnicích jsou to potom náklady dodatečné zakázky a náklady související s chyběním položky, kterou nelze dodatečně pořídit.

4) Náklady na zpracování informací potřebných pro funkci skladového hospodářství

Jedná se o náklady vynaložené na sběr a zpracování informací pro řízení skladového systému (např. průzkum trhu, nové informační systémy, atd.).

Mimo výše uvedené existují ještě další dvě protichůdné skupiny nákladů. První z nich jsou náklady, které s velikostí udržovaných zásob rostou (např. náklady na udržování zásob), druhou skupinou jsou náklady, které naopak s velikostí udržovaných zásob klesají (např. náklady z nedostatku zásoby). Hlavním úkolem teorie řízení zásob je tedy zajistit fungování zásobovacího systému a minimálními celkovými náklady.



Obr. 10 Rozdělení nákladů na udržování zásob
Zdroj: Lamber; Logistika; 2005

3. METODIKA

3.1 ČASOVÉ ŘADY

„Pojmem časová řada rozumíme statistickou časovou řadu, např. typu $y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t$, kde t označuje čas, β_0 a β_1 jsou parametry tzv. lineárního trendu a ε_t je náhodná veličina. Analýza časové řady slouží k poznání metod, které vznik těchto řad popisují, a k predikci jejich budoucích hodnot.“ (Cipra T., 1986, s. 10)

Podle Budíkové (2005, s. 29) „Časovou řadou rozumíme řadu hodnot y_1, \dots, y_n určitého ukazatele uspořádanou podle přirozené časové posloupnosti $t_1 < \dots < t_n$. Přitom je nutné dbát na to, aby věcná náplň ukazatele i jeho prostorové vymezení byly shodné v celém sledovaném časovém období. Jsou-li časové intervaly $(t_1, t_2), \dots, (t_{n-1}, t_n)$ stejně dlouhé (ekvidistantní), zjednodušeně zapisujeme časovou řadu jako y_1, \dots, y_n “

Budíková dále rozlišuje dva typy časových řad. Prvním typem jsou časové řady okamžikové, které udávají, kolik jevů existuje v daném časovém okamžiku – např. počet obyvatel k určitému datu. Druhým typem jsou **intervalové časové řady**, které zase říkají, kolik jevů vzniklo či zaniklo v určitém časovém intervalu – např. počet sňatků během roku

3.1.1 POPISNÉ CHARAKTERISTIKY ČASOVÝCH ŘAD

1. Charakteristiky polohy (průměry)

- Prostý aritmetický průměr:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} \quad (14)$$

- Vážený aritmetický průměr:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n v_t y_t}{\sum_{t=1}^n v_t} \quad (15)$$

kde v_t je váha ukazatele y_t v čase t

- Vážený chronologický průměr:

$$\bar{y}_{ch} = \frac{\frac{y_1 + y_2}{2} d_2 + \frac{y_2 + y_3}{2} d_3 + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} d_n}{d_2 + d_3 + \dots + d_n} \quad (16)$$

kde d_t je délka jednotlivých časových intervalů

2. Charakteristiky variability

- Rozptyl – aritmetický průměr kvadrátů odchylek od aritmetického průměru

$$s_r^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2 \quad (17)$$

- Směrodatná odchylka – odmocnina z rozptylu

$$s_y = \sqrt{s_r^2} \quad (18)$$

3. Míry dynamiky

- Absolutní přírůstek

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \quad (19)$$

- Koeficient růstu

$$k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}}, \text{ kde } t = 2, \dots, n, \quad (20)$$

- Meziroční koeficient růstu např. u čtvrtletní časové řady

$$k_{(4)t} = \frac{y_t}{y_{t-4}}, \text{ kde } t = 5, 6, \dots, n \quad (21)$$

- Relativní přírůstek

$$\delta_1 = \frac{\Delta y_t}{y_{t-1}} \quad (22)$$

4. Korelace

Korelace vyjadřuje relativní míru závislosti vývoje dvou časových řad x a y a je dána vztahem

$$s_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \cdot (y_t - \bar{y})}{s_x \cdot s_y} \in \langle -1; 1 \rangle \quad (23)$$

Hodnota korelačního koeficientu -1 značí zcela nepřímou závislost, naopak hodnota koeficientu $+1$ znamená zcela přímou závislost. Pokud je hodnota korelačního koeficientu rovna 0 , není mezi časovými řadami žádná statisticky zjištělná lineární závislost.

3.1.2 DEKOMPOZICE ČASOVÝCH ŘAD

Dekompozice časových řad vychází z předpokladu, že časová řada obsahuje systematické složky, na které je možné ji rozložit. Těmito složkami jsou:

- Trendová složka T_t
- Sezónní složka S_t
- Cyklická složka C_t
- Náhodná ε_t

Příčemž časová řada nemusí obsahovat všechny uvedené složky najednou.

1. Trendová složka

Trendová složka zachycuje dlouhodobé změny v chování časové řady. K modelování trendové složky je možné využít matematické křivky. V takovém případě předpokládáme, že trend se charakteru trendu v průběhu času nemění. Pokud dochází ke změnám charakteru trendu, je vhodné využít tzv. adaptivní postupy. Mezi nejpoužívanější adaptivní postupy patří metody klouzavých průměrů a exponenciálního vyrovnávání.

Typy trendových křivek

- Konstantní trend

Pro tento typ trendu platí

$$Tr_t = \beta_0, t = 1, \dots, n,$$

kde n je počet pozorování

Dostáváme jednoduchý odhad b_0 parametru β_0 , totiž

$$b_0 = \bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} \quad (24)$$

- Lineární trend

Přímka lineárního trendu má tvar

$$Tr_t = \beta_0 + \beta_1 t, t = 1, \dots, n$$

Dostáváme pro odhady b_0 a b_1 parametrů β_0 a β_1 následující soustavu rovnic

$$b_0 n + b_1 \sum_{t=1}^n t = \sum_{t=1}^n y_t \quad (25)$$

$$b_0 \sum_{t=1}^n t + b_1 \sum_{t=1}^n t^2 = \sum_{t=1}^n t y_t \quad (26)$$

Zavedením předpokladu, že $\sum t = 0$, získáme zjednodušený tvar rovnic v podobě

$$b_0 = \frac{\sum_{t=1}^n y}{n} \quad (27)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{t=1}^n y t}{\sum_{t=1}^n t^2} \quad (28)$$

- Kvadratický trend

Kvadratický trend (parabola) má funkční předpis ve tvaru

$$Tr_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2, t = 1, \dots, n$$

Pro odhady b_0 , b_1 a b_2 dostaneme soustavu normálních rovnic

$$b_0 n + b_1 \sum_{t=1}^n t + b_2 \sum_{t=1}^n t^2 = \sum_{t=1}^n y_t \quad (29)$$

$$b_0 \sum_{t=1}^n t + b_1 \sum_{t=1}^n t^2 + b_2 \sum_{t=1}^n t^3 = \sum_{t=1}^n t y_t \quad (30)$$

$$b_0 \sum_{t=1}^n t^2 + b_1 \sum_{t=1}^n t^3 + b_2 \sum_{t=1}^n t^4 = \sum_{t=1}^n t^2 y_t \quad (31)$$

Za stejného předpokladu jako u lineárního trendu, tedy že $\sum t = 0$, dostáváme zjednodušený tvar rovnic v podobě

$$b_0 = \frac{\sum y \times \sum t^4 - \sum t^2 \times \sum y t^2}{n \sum t^4 - [\sum t^2]^2} \quad (32)$$

$$b_1 = \frac{\sum t y}{\sum t^2} \quad (33)$$

$$b_2 = \frac{n \sum t^2 y - \sum y \sum t^2}{n \sum t^4 - [\sum t^2]^2} \quad (34)$$

- Exponenciální trend

Pro exponenciální trend lze zapsat funkční formu ve tvaru:

$$Tr_t = \alpha \beta^t, t = 1, \dots, n, (\beta > 0)$$

Pro odhad parametrů exponenciálního trendu jej musíme nejprve převést na trend lineární. K tomu využijeme logaritmy a získáme rovnici:

$$\ln Tr_t = \ln \alpha + t \ln \beta \quad (35)$$

Abychom z lineární rovnice získali zpět exponenciální předpis, zavedeme následujících substituční vztahy:

$$Tr'_t = \ln Tr_t \quad (36)$$

$$\alpha' = \ln \alpha \quad (37)$$

$$\beta' = \ln \beta \quad (38)$$

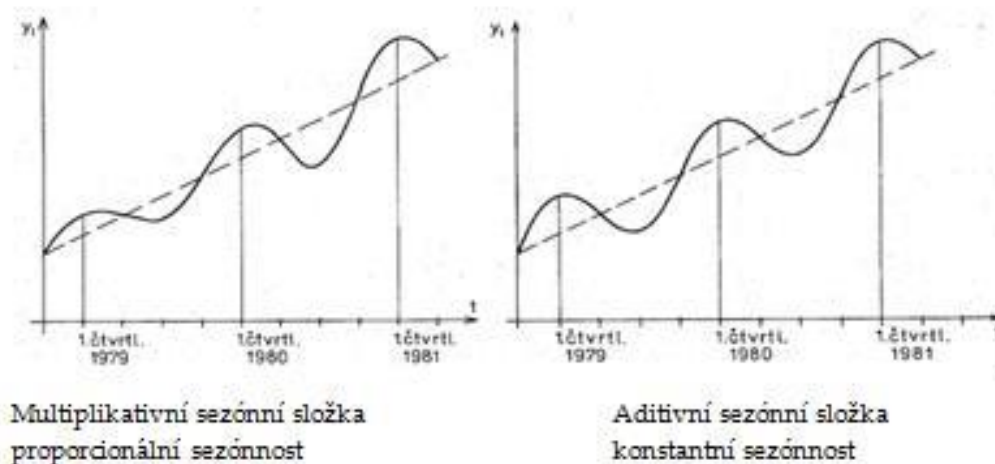
Odhady α' a β' parametrů α a β spočítáme podle následujících vzorců

$$\alpha' = \frac{\sum y_t}{n}, \beta' = \frac{\sum y_t t}{\sum t^2} \quad (39) \text{ a } (40)$$

$$\begin{aligned} \text{Potom: } \alpha &= e^{\alpha'} \\ \beta &= e^{\beta'} \end{aligned}$$

2. Sezónní složka

Sezónní složka popisuje periodické změny v časové řadě, které nastávají v rámci jednoho kalendářního roku a každý rok se opakují. Nejčastěji pozorujeme sezónnost u měsíčních a čtvrtletních časových řad. Časové řady mohou vykazovat buď multiplikativní, nebo aditivní sezónní složku. V případě multiplikativní sezónní složky je amplituda sezónního pohybu úměrná průměrné úrovni řady. Hovoříme o proporcionální sezónnosti. U aditivní složky je amplituda sezónního pohybu nezávislá na průměrné úrovni řady. Potom se jedná o tzv. konstantní sezónnost (Cípra, 1986).



Obr. 11 Rozdíl mezi proporcionální a konstantní sezónností

Zdroj: Cípra, T.; Analýza časových řad, 1986

Proportionální sezónnost vychází z předpokladu, že se sezónní výkyvy mění přímo úměrně dosažené úrovni trendové složky. Tuto skutečnost lze formulovat jako:

$$S_{mr} = \gamma_r Tr_{mr}$$

kde γ_r označujeme jako sezónní parametr

$m = 1, \dots, i$ pro označení časových intervalů (roků)

$r = 1, \dots, j$ pro označení dílčích časových období (čtvrtletí, měsíců, ...)

Časovou řadu potom zapíšeme ve tvaru:

$$y_{mr} = Tr_{mr} + S_{mr} + E_{mr} = Tr_{mr} + \gamma_r Tr_{mr} + E_{mr} = (1 + \gamma_r)Tr_{mr} + E_{mr}.$$

Výraz

$$(1 + \gamma_r) = \frac{Y_{mr}}{Tr_{mr}} \quad (41)$$

označujeme jako sezónní index a je to bezrozměrné číslo, které vyjadřuje vztah úrovně sezónnosti vzhledem k vývoji trendu časové řady, a pro který platí

$$\sum_{r=1}^j (1 + \gamma_r) = j \quad (42)$$

Jestliže v r -té sezóně $\gamma_r > 0 \rightarrow$ sezónní vzestup

Jestliže v r -té sezóně $\gamma_r < 0 \rightarrow$ sezónní pokles

Jestliže v r -té sezóně $\gamma_r = 0 \rightarrow$ v dané sezóně nepůsobí sezónní vlivy

Sezónně očištěné hodnoty pak získáme jako podíl skutečně naměřených hodnot a sezónních indexů, tedy

$$\hat{Y}_{mr} = \frac{T_{mr}}{Sz_r} \quad (43)$$

Konstantní sezónnost vychází z předpokladu, že se během jednotlivých roků sezónní výkyvy nemění a jejich absolutní výše se pravidelně opakuje v každém dílčím období. Matematicky lze tento předpoklad zapsat:

$$Sz_{mr} = \beta_{mr} \quad (44)$$

Dalším předpokladem je, že sezónní výkyvy se v rámci jednoho roku kompenzují, tedy:

$$\sum Sz_r = 0 \quad (45)$$

Sezónně očištěné hodnoty získáme jako rozdíl skutečně naměřených hodnot a příslušných sezónních indexů.

$$\hat{Y}_{mr} = T_{mr} - Sz_r \quad (46)$$

Testování hypotézy o existenci sezónnosti

Testování existence sezónnosti slouží k určení, zda jsou výkyvy v časové řadě významné. K takovému testování využijeme nulovou hypotézu, která předpokládá, že všechny sezónní indexy v řadě jsou nulové, a alternativní hypotézu, která tvrdí, že alespoň jeden index nulový není. Matematicky zapsáno:

$$H_0: (1 + \gamma_r) = 0, r = 1, \dots, j$$

$$H_1: (1 + \gamma_r) \neq 0, r = 1, \dots, j$$

Jako testovací kritérium použijeme F statistiku

$$F = \frac{i \sum_{r=1}^j (\bar{y}_r - \bar{y})^2}{(j-1)\sigma^2} \quad (47)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{m=1}^i \sum_{r=1}^j (y_{mr} - \bar{y})^2 - j \sum_{m=1}^i (\bar{y}_m - \bar{y})^2 - i \sum_{r=1}^j (\bar{y}_r - \bar{y})^2}{(j-1)(i-1)} \quad (48)$$

- i počet časových intervalů (let)
 j počet dílčích časových období (sezón)
 \bar{y} průměrná hodnota časového intervalu
 \bar{y}_r průměrná hodnota v r-té sezóně
 \bar{y}_m průměrná hodnota v m-tém časovém intervalu

Platí-li $|F| < F_{1-\alpha}[(r-1); (r-1)(m-1)] \rightarrow H_0$ zamítáme a přijímáme H_1

Neplatí-li $|F| < F_{1-\alpha}[(r-1); (r-1)(m-1)] \rightarrow H_1$ zamítáme a přijímáme H_0

3.1.3 PŘEDPOVĚDI V ČASOVÝCH ŘADÁCH

„Předpověď (predikce) je výrok o události, kterou očekáváme v budoucnosti. Protože budoucnost nelze stoprocentně předvídat, musíme všechny tyto výroky formulovat jen s určitou pravděpodobností. V logistice potřebujeme predikci především pro odhad budoucí poptávky.“ (Vaněček D., Logistika, s. 99)

1. Bodová předpověď je hodnota, která představuje odhad budoucí hodnoty uvažované časové řady, tj. odhad hodnoty v jistém stanoveném okamžiku

Konstantní trend

$$\hat{y}_t = b_0 \quad (49)$$

Lineární trend

$$\hat{y}_t = b_0 + b_1 t \quad (50)$$

Kvadratický trend

$$\hat{y}_t = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 \quad (51)$$

Exponenciální trend

$$\hat{y}_t = \alpha' \beta^t \quad (52)$$

2. Intervalová předpověď udává dolní a horní mez, mezi nimiž bude ležet příslušná budoucí hodnota sledované řady s určitou pravděpodobností

Konstantní trend

$$(b_0 - t_{n-1}(p)s\sqrt{1 + \frac{1}{n}}, b_0 + t_{n-1}(p)s\sqrt{1 + \frac{1}{n}}) \quad (53)$$

kde

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (54)$$

Lineární trend

$$(b_0 + b_1 t - t_{n-2}(p)s f_t, b_0 + b_1 t + t_{n-2}(p)s f_t) \quad (55)$$

kde

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n y_t^2 - \sum_{t=1}^n \hat{y}_t^2}{n-2}}, f_t = \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(t-\bar{t})^2}{\sum_{t=1}^n t^2 - n\bar{t}^2}} \quad (56) \text{ a } (57)$$

$1-p$...stanovená pravděpodobnost. Například 95-ti procentní interval pro $p = 0,05$.

Kvadratický trend

$$(\bar{y}_t - t_{n-3}(p)sf_t, \bar{y}_t + t_{n-3}(p)sf_t) \quad (58)$$

kde

$$s = \sqrt{\frac{\sum y_t^2 - \sum \hat{y}_t^2}{n-3}}, f_T = \sqrt{1 + (1, T, T^2)(X X)^{-1}(1, T, T^2)'}, X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 \\ 1 & n & n^2 \end{bmatrix} \quad (59)$$

4. PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 CHARAKTERISTIKA SPOLEČNOSTI POEX VELKÉ MEZIŘÍČÍ A.S.

„Být finančně zdravá společnost, která uspokojuje potřeby zákazníka a udržuje růst trhu pomocí rozšiřování svého produktového portfolia.“ Takto zní motto společnosti POEX Velké Meziříčí a.s. která vznikla v roce 1998 přeměnou ze společnosti POEX Velké Meziříčí s.r.o., jenž bez likvidace zanikla. Společnost POEX Velké Meziříčí s.r.o. byla založena v roce 1993 s původním názvem BIOMEZ s.r.o. a začala podnikat v roce 1994. Hlavním předmětem její činnosti bylo balení potravin. Postupem času se činnost firmy začala rozšiřovat a v roce 1997 společníci rozhodli o navýšení základního kapitálu a o přeměně společnosti na akciovou společnost. O rok později firma rozšířila činnost o výrobu extrudovaných snacksů a cereálních výrobků, oříšků a ovoce v čokoládě, čokoládových mincích, cukrovin, bezlepkových potravin, zdravé výživy, balením suchých plodů a dražováním. K dalšímu navýšení základního kapitálu došlo o další dva roky později, v roce 2000, a to na celkovou částku 10 000 000,- Kč. V roce 2004 Obchodní rejstřík u Krajského soudu v Brně zapsal zvýšení základního kapitálu o 10 000 000,- Kč na celkovou částku 20 000 000,- Kč.

Za hospodářský rok, na který společnost přešla a který trval patnáct kalendářních měsíců, od 1. 1. 2001 do 31. 3. 2002, bylo dosaženo historického obratu ve výši 276 174 444,- Kč. Zatím nejvyššího obratu společnosti bylo dosaženo v roce 2011, kdy se výnosy vyšplhaly na celkovou výši 708 mil. Kč. V roce 2012 byl celkový počet zaměstnanců akciové společnosti 221. Několik výrobků společnosti bylo oceněno Ministerstvem zemědělství České republiky značkou Klasa za splnění sedmi nadstandardních kritérií. Podnik se při své činnosti zaměřuje na dosažení co nejvyšší intenzity výroby, produktivity práce a na snižování nákladů na jednotku produkce. Těchto cílů dosahuje prostřednictvím nejmodernější technologie.

4.1.1 PŘÍPRAVA DAT A STANOVENÍ PŘEDPOKLADŮ

Jak již bylo zmíněno, sortiment nabízených produktů společnosti POEX je poměrně rozsáhlý. Po konzultaci s vedením firmy POEX bylo vybráno pět hlavních produktů, které jsou pro společnost nejvýznamnější a které budeme nadále uvažovat. Jedná se o kokos strouhaný, mák modrý, rozinky, mandle, lísková jádra. Od společnosti byly získány informace ohledně nákupů těchto pěti surovin a to v období od ledna 2009 do prosince 2013, tedy za pět let. Poptávka po těchto pěti produktech je přitom během roku značně nestabilní. Zpravidla začíná narůstat začátkem podzimu, přičemž svého vrcholu dosahuje koncem září a během října. To je způsobeno rostoucím zájmem o tyto suroviny s blížícím se obdobím vánočních svátků, kdy spousta lidí peče cukroví a jiné pokrmy. Naopak po skončení svátků, tedy začátkem nového roku, je poptávka značně nižší. Je

tedy sezónně ovlivňována, čemuž odpovídá odlišný způsob zásobování v jednotlivých obdobích roku.

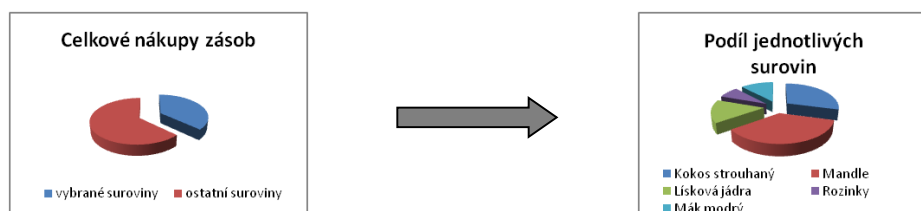
4.2 ABC KLASIFIKACE

Kokos, mandle, mák, rozinky a lískové ořechy tvoří souhrnně přibližně 37% veškerých nakupovaných zásob. Využitím ABC metody seřadíme těchto pět produktů podle jejich finančního podílu na celkových nakupovaných zásobách. K tomu potřebujeme znát nákupní cenu jednotlivých surovin a objem nakupovaného množství. Výpočty jsou uvedeny v následující tabulce a výsledky znázorněny v grafech pod tabulkou.

Tab. 1 ABC klasifikace surovin dle podílu na finančních nákladech

Surovina	Nakoupené množství za rok 2013 [kg]	Průměrná nákupní cena za kg [Kč]	Roční finanční náklady na nákup suroviny	Podíl na finančních nákladech
Kokos strouhaný	955 482	85	81215970	29,153
Mandle	1004902	100	100490200	36,072
Lísková jádra	421 639	100	42163900	15,135
Rozinky	305 219	70	21365330	7,669
Mák modrý	370 518	90	33346620	11,970
celkem	2789347	-	278582020	100%

Na základě výše uvedených výsledků za rok 2013 jsme zjistili, že největší podíl na finančních nákladech, z hlediska nakupování zásob, mají mandle (přes 36 %), jichž bylo nakoupeno přes 1 000 tun. Tento větší podíl je způsoben také vyšší nákupní cenou mandlí, která se v roce 2013 pohybovala kolem 100 Kč/kg. Naopak nejmenšího podílu na nákladech dosahují rozinky (necelých 8%), jejichž celkové nakoupené množství bylo něco málo přes 300 tun za průměrnou cenu 70 Kč/kg.



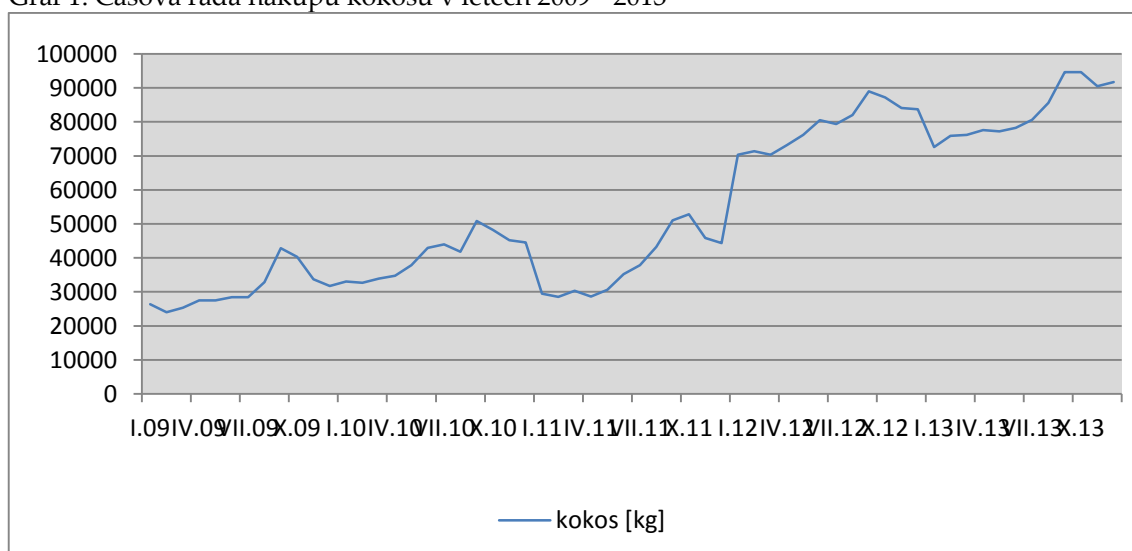
Obr. 12 Podíl jednotlivých surovin na nákladech

Zdroj: Data společnosti POEX Velké Meziříčí a.s., vlastní zpracování

4.3 KOKOS STROUHANÝ

Kokos je podle ABC analýzy druhou nejvýznamnější surovinou pro společnost. Měsíční nákupy této suroviny od roku 2009 do roku 2013 jsou uvedeny v příloze a právě z těchto dat jsou získány veškeré výsledky – viz dále. Z následujícího grafu č. 1, ve kterém je modře znázorněn časový průběh těchto nákupů, lze vyčíst určitý trend časové řady. Jako první zjistíme, která z trendových funkcí je pro danou časovou řadu nejvhodnější. Přitom bude brán v úvahu trend lineární, parabolický a exponenciální. Ke srovnávání vhodnosti trendů využijeme koeficient determinace a další statistická kritéria, jako jsou střední chyba odhadu (Mean Error) M. E., střední čtvercová chyba odhadu (Mean Squared Error) M. S. E., střední absolutní chyba odhadu (Mean Absolute Error) M. A. E., střední procentní chyba odhadu (Mean Percentage Error) M. P. E. a střední absolutní procentní chyba odhadu (Mean Absolute Percentage Error) M. A. P. E.

Graf 1: Časová řada nákupů kokosu v letech 2009 - 2013



4.3.1 VOLBA VHODNÉHO TRENDU

Lineární trend

Rovnice lineárního trendu vypadá následovně:

$T = b_0 + b_1 t$, kde T jsou očekávané hodnoty, t je časová proměnná b_0 a b_1 jsou neznámé parametry, přičemž platí:

$$b_0 = \frac{\sum_{t=1}^n y}{n} \quad (60)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{t=1}^n yt}{\sum_{t=1}^n t^2} \quad (61)$$

kde n je počet pozorování

Při výpočtech parametrů b_0 a b_1 vycházíme z následující tabulky č. 2. Pozorované měsíční hodnoty jsou za pět let, celkem tedy $n=60$. Pro časovou proměnnou t stanovíme předpoklad $\Sigma t = 0$, potom pro šedesát pozorování platí $t = -29,5; -28,5, -27,5, \dots, 27,5; 28,5; 29,5$.

Tab. 2 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1

ΣY	Σt	Σt^2	$\Sigma Y \cdot t$	n
3259316	0,0	17995	21760004	60

Po dosazení hodnot z tabulky do výrazů uvedených výše získáváme:

$$b_0 = \frac{3259316}{60} = 54\,322$$

$$b_1 = \frac{21760004}{17995} = 1\,209$$

Dostáváme lineární předpis ve tvaru $T = 54\,322 + 1\,209 t$. Dosazováním hodnot časové proměnné t ($-29,5; \dots, 29,5$) do předpisu pak získáme očekávané hodnoty pro jednotlivá období. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 54\,322 + 1\,209 \cdot (-29,5) = 18\,650$$

$$\text{únor 2009: } T = 54\,322 + 1\,209 \cdot (-28,5) = 19\,859 \text{ apod.}$$

Vyrovnané hodnoty (tzv. rezidua) získáme jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Vypočtené výsledky reziduí jsou uvedeny opět v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y' = 26\,411 - 18\,650 = 7\,761 \text{ apod.}$$

Kvadratický trend (parabola)

Rovnice kvadratického trendu má podobu:

$$T = b_0 + b_1 t + b_2 t^2$$

Máme zde tři neznámé parametry b_0 , b_1 a b_2 , které vypočítáme dle následujících vztahů:

$$b_0 = \frac{\Sigma y \times \Sigma t^4 - \Sigma t^2 \times \Sigma y t^2}{n \Sigma t^4 - [\Sigma t^2]^2} \quad (62)$$

$$b_1 = \frac{\Sigma t y}{\Sigma t^2} \quad (63)$$

$$b_2 = \frac{n \Sigma t^2 y - \Sigma y \Sigma t^2}{n \Sigma t^4 - [\Sigma t^2]^2} \quad (64)$$

Při výpočtech parametrů b_0 , b_1 , a b_2 vycházíme z tabulky č. 3

Tab. 3 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2

Σy	Σt	Σt^2	Σt^4	Σyt	Σyt^2
3259316,0	0	17995	9711001,75	21760004	1037576381

Dosazením hodnot z tabulky do výše uvedených vzorců získáme:

$$b_0 = 50\,147$$

$$b_1 = 1\,209$$

$$b_2 = 13,92$$

Vypočítané hodnoty parametrů dosadíme do rovnice paraboly a dostaneme předpis ve tvaru $T = 50\,147 + 1\,209t + 13,92t^2$. Obdobně jako u lineárního trendu získáme dosazováním hodnot t a t^2 do předpisu funkce očekávané hodnoty, které jsou uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 50\,147 + 1\,209 \cdot (-29,5) + 13,92 \cdot (-29,5)^2 = 26\,589$$

$$\text{únor 2009: } T = 50\,147 + 1\,209 \cdot (-28,5) + 13,92 \cdot (-28,5)^2 = 26\,991 \text{ apod.}$$

Hodnoty reziduí vypočítáme jako rozdíl pozorovaných hodnot a hodnot očekávaných.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y = 26\,411 - 26\,589 = -178.$$

Exponenciální trend

Odhad průběhu exponenciálního trendové funkce lze zapsat rovnicí ve tvaru:

$$T_t = b_0 b_1^t$$

Zlogaritmováním této rovnice obdržíme vztah $\ln T_t = \ln b_0 + t \ln b_1$. Nyní zavedeme substituci, kdy

$$\bullet T_t' = \ln T_t \quad \bullet b_0' = \ln b_0 \quad \bullet b_1' = \ln b_1$$

Zavedením substituce jsme transformovali rovnici exponenciálního trendu do rovnice v podobě lineárního trendu. Nyní spočítáme koeficienty b_0' a b_1' podle následujících vztahů:

$$b_0' = \frac{\Sigma y_t}{n} \quad (65)$$

$$b_1' = \frac{\Sigma y_t t}{\Sigma t^2} \quad (66)$$

Při výpočtu koeficientů vycházíme z následující tabulky:

Tab. 4 Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'

Σy	$\Sigma y = \ln y$	Σt	Σt^2	$\Sigma t \cdot \ln y$	n
3259316	648,5	0	17995	411,048201	60

Dosazením dostaneme hodnoty

$$b_0' = \frac{648,5}{60} = 10,808$$

$$b_1' = \frac{411,048}{17996} = 0,0228$$

A potom s pomocí výše uvedené substituce vypočteme

$$b_0 = e^{b_0'} = e^{10,808} = \mathbf{49\ 448}$$

$$b_1 = e^{b_1'} = e^{0,0228} = \mathbf{1,0231}$$

Tímto jsme získali předpis pro exponenciální trendovou funkci v podobě $T = 49\ 448 * 1,0231^t$

Stejným způsobem jako u lineárního a parabolického trendu spočítáme dosazením do předpisu exponenciální trendové funkce očekávané hodnoty a následně hodnoty očištěné od trendu jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky výpočtů očekávaných hodnot i reziduí jsou uvedeny v příloze.

TESTOVÁNÍ PARAMETRŮ

Zda jsou vypočtené parametry b_0 , b_1 a b_2 významné můžeme otestovat pomocí *t-testu*. Nejdříve stanovíme hladinu významnosti α , nulovou hypotézu o statistické nevýznamnosti parametru a k ní hypotézu alternativní o statistické významnosti parametru. Tedy:

H₀: parametr není statisticky významný

H₁: parametr je statisticky významný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl, využívaného především při aplikaci nástrojů ekonometrické analýzy, získáme postupně *p-hodnoty* pro jednotlivé parametry lineárního, kvadratického a exponenciálního⁴ modelu – viz následující obrázky.

⁴ U exponenciálního modelu testujeme parametry b_0' a b_1'

Lineární model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	54321,9	1277,09	42,54	1,99e-045 ***
t	1209,23	73,7433	16,40	1,91e-023 ***

Model s parabolou				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	50146,9	1784,81	28,10	4,40e-035 ***
t	1209,23	68,6911	17,60	1,02e-024 ***
t2	13,9205	4,43646	3,138	0,0027 ***

Exponenciální model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	10,8087	0,0246004	439,4	7,41e-104 ***
t	0,0228424	0,00142050	16,08	4,85e-023 ***

Obr. 13 Charakteristiky modelů – výstup z programu

Platí: je-li $p\text{-hodnota} < \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li $p\text{-hodnota} > \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

U všech zkoumaných parametrů dosahuje $p\text{-hodnota}$ nižších hodnot než je stanovená hladina významnosti α . Na základě toho lze konstatovat, že parametry b_0 , b_1 a b_2 jsou ve všech testovaných modelech statisticky významné. Významnost potvrzují také tři hvězdičky v posledním sloupci tabulek, které program Gretl u statisticky významných parametrů automaticky vygeneruje.

TESTOVÁNÍ MODELU

V předchozím odstavci jsme otestovali, zda jsou významné jednotlivé parametry a nyní přistoupíme k testování vhodnosti celého modelu. Jako první provedeme testování pomocí koeficientu determinace R^2 , který vyjadřuje, jakou část celkové variability vysvětlované proměnné objasňuje regresní model. Čím větších hodnot tedy koeficient determinace dosahuje, tím je zvolený model vhodnější. Lze však využít i jiné způsoby testování, viz dále. Koeficient spočítáme podle následujícího vzorce:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y-T)^2}{\sum_{t=1}^n (y-\bar{y})^2} \quad (67)$$

Reziduální testy

Při tomto typu testování vycházíme z výše vypočítaných reziduí. Na rozdíl od koeficientu determinace, kde se snažíme dosáhnout co nejvyšší hodnoty, u výpočtu středních chyb hledáme hodnoty co nejnižší. Výsledky testů pro jednotlivé modely porovnáváme a na základě toho vybíráme nejvhodnější typ trendu.

- Střední chyba odhadu $M.E. = \frac{\sum(y-T)}{n}$ (68)

- Střední čtvercová chyba odhadu $M.S.E. = \frac{\sum(y-T)^2}{n}$ (69)

- Střední absolutní chyba odhadu $M.A.E. = \frac{\sum|y-T|}{n}$ (70)

- Střední procentní chyba odhadu $M.P.E. = \sum \left(\frac{y-T}{y} \right) \frac{100}{n}$ (71)(72)

- Střední absolutní procentní chyba odhadu $\sum \left(\frac{|y-T|}{y} \right) \frac{100}{n}$ (73)

Tab. 5 Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely

	přímka	parabola	exponenciála
R ²	0,8226	0,8487	0,8427
M.E.	0	0	912,96
M.S.E.	94 596 209	80 663 337	83 892 486
M.A.E.	7 527	7 134	7 076
M.P.E.	-3,3617	-3,5166	-1,8656
M.A.P.E.	17,344	14,7759	14,4257

F-test

Pro testování vhodnosti celkového modelu můžeme využít ještě F-test. Stejně jako u testování významnosti jednotlivých parametrů vycházíme z nulové a alternativní hypotézy a volíme hladinu významnosti α .

H_0 : model není statisticky průkazný

H_1 : model je statisticky průkazný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl provedeme analýzu rozptylu (tzv. ANOVA) a z ní získáme hodnotu F-statistiky a odpovídající p-hodnotu. Analýzy rozptylu pro jednotlivé modely jsou uvedeny na následujících třech obrázcích

Lineární trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	2,63127e+010	1	2,63127e+010
Reziduum	5,67577e+009	58	9,78581e+007
Úplné	3,19885e+010	59	5,42178e+008
R ² = 2,63127e+010 / 3,19885e+010 = 0,822568			
F(1, 58) = 2,63127e+010 / 9,78581e+007 = 268,887 [p-hodnota 1,91e-023]			

Kvadratický trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	2,71487e+010	2	1,35744e+010
Reziduum	4,8398e+009	57	8,49088e+007
Úplné	3,19885e+010	59	5,42178e+008
R ² = 2,71487e+010 / 3,19885e+010 = 0,848702			
F(2, 57) = 1,35744e+010 / 8,49088e+007 = 159,87 [p-hodnota 4,22e-024]			

Exponenciální trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	9,38931	1	9,38931
Reziduum	2,10602	58	0,0363108
Úplné	11,4953	59	0,194836
R ² = 9,38931 / 11,4953 = 0,816793			
F(1, 58) = 9,38931 / 0,0363108 = 258,582 [p-hodnota 4,85e-023]			

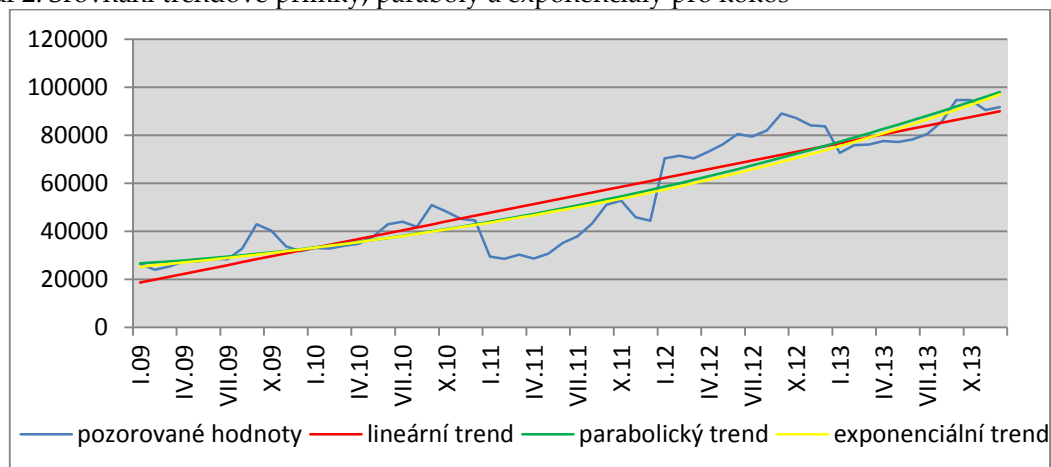
Obr. 14 Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl

Dále platí: je-li p -hodnota $< \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li p -hodnota $> \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

P -hodnota pro F -test nabývá u všech modelů menší hodnoty než je zvolená hladina významnosti 5 %. Na základě toho zamítáme nulovou hypotézu a konstatujeme, že všechny modely jsou statisticky průkazné.

Graf 2: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro kokos



SOUHRN VÝSLEDKŮ

Provedením t-testu jsme dokázali, že parametry všech tří modelů jsou statisticky významné a žádný z nich nemůžeme vynechat. F- testem jsme ověřili, že lineární, kvadratický i exponenciální model je statisticky průkazný. Dále přistoupíme ke srovnání modelů pomocí koeficientu determinace a reziduálních testů. Koeficient dosáhl nejvyšších hodnot v případě paraboly, téměř 85 %. Nepatrně nižší hodnoty dosahuje koeficient u exponenciálního trendu (84,27%) a ještě nižší hodnoty jsme vypočítali v modelu s trendem lineárním (82,26%). Při testování prostřednictvím střední chyby odhadu naopak hledáme hodnoty co nejnižší. Na základě výsledků testu M. S. E. a M. P. E. bychom rovněž vybrali model s parabolickým trendem, při testování pomocí M. A. E. a M. A. P. E. se jako vhodnější jeví trend exponenciální. Rozdíly mezi výsledky jednotlivých testů pro vybrané trendové funkce nejsou sice extrémní a jednoznačné, což je patrné také z grafu č. 2, na kterém křivky téměř splývají, ale přesto z většiny testů vyšla nejlépe parabola, se kterou budeme nadále pracovat.

4.3.2 TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ

Další komponentou časové řady, kterou budeme zkoumat, je sezónní složka. Pomocí F - statistiky ověříme, zda se v časové řadě sezónnost vyskytuje či nikoli. V prvním kroku opět zformulujeme dvojici hypotéz, přičemž:

- nulová hypotéza H_0 : v časové řadě se nevyskytuje sezónní složka,
- alternativní hypotéza H_1 : v časové řadě se vyskytuje sezónní složka.

Pro výpočet použijeme následující dva vzorce, které byly blíže popsány v metodice práce.

$$F = \frac{i \sum_{r=1}^j (\bar{y}_r - \bar{y})^2}{(j-1)\sigma^2} \quad (74)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{m=1}^i \sum_{r=1}^j (y_{mr} - \bar{y})^2 - j \sum_{m=1}^i (\bar{y}_m - \bar{y})^2 - i \sum_{r=1}^j (\bar{y}_r - \bar{y})^2}{(j-1)(i-1)} \quad (75)$$

Tab. 6 Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletí

	1Q	2Q	3Q	4Q	průměr
2009	25235	27793	34698	35227	30738
2010	33224	38519	45583	45974	40825
2011	29419	31453	44045	47684	38150
2012	70678	76617	83473	84990	78940
2013	74903	77688	86954	92282	82957
průměr	46692	50414	58951	61231	54322

Tab. 7 Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky

	1Q	2Q	3Q	4Q		$\Sigma(\bar{y}_i - \bar{y})^2$
2009	846 030 300	703 801 990	385 085 677	364 629 209		556 190 120
2010	445 136 856	249 743 237	76 363 130	69 682 426		182 167 209
2011	620 172 691	523 003 358	105 615 359	44 066 584		261 531 428
2012	267 531 821	497 069 998	849 784 688	940 530 313		606 028 692
2013	423 580 305	545 973 071	1 064 851 775	1 440 991 968		819 957 498
						$\Sigma 2 425 874 946$
$\Sigma(\bar{y}_i - \bar{y})^2$	58 218 935	15 273 506	21 425 789	47 740 730	$\Sigma 142 658 960$	$\Sigma 10 463 644 756$

Dosažením hodnot z tabulek do vzorců (73) a (74) dostaneme výsledek pro rozptyl. Tento výsledek dosadíme do druhého vzorce a získáme výsledek F-statistiky.

$$\sigma^2 = \frac{10463644756 - 4 \times 2425874946 - 5 \times 142658960}{12} = 3\,904\,181$$

$$F = \frac{5 \times 142\,658\,960}{3 \times 3\,904\,181} = 60,9$$

Hladinu významnosti α zvolíme 5%. Ze statistických tabulek zjistíme, že hodnota $F_{1-\alpha}$ pro (4-1) a (4-1) * (5-1) stupňů volnosti odpovídá hodnotě 3,49. Potom platí nerovnost $F > F_{0,95}(3; 12)$, tím pádem zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme hypotézu alternativní, tedy že se v časové řadě vyskytuje určitá sezónnost.

Existenci sezónní složky v časové řadě jsme již ověřili a nyní přistoupíme k její analýze. Vzhledem k charakteru časové řady využijeme model s proporcionální sezónností a zavedeme proměnnou $m = 1, 2, \dots, i$ pro označení časových intervalů (roků) a tyto

časové intervaly ještě dále rozčleníme na dílčí časová období – tzv. sezóny (měsíce), které označujeme $r = 1, 2, \dots, j$.

Vypočtené měsíční sezónní indexy jsou v tabulce. Například sezónní index pro leden jsme získali následovně:

1. Vypočetli jsme sezónní index pro každý měsíc během všech pěti let jako podíl pozorované a očekávané hodnoty v příslušném měsíci a roce
 $(1 + \gamma_r) = \frac{y_{mr}}{T_{mr}}$, $m = 1, \dots, 5$; $r = 1, \dots, 12$, čímž jsme získali celkem 60 různých indexů – viz tabulka č. 8.

Tab. 8 Sezónní indexy

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	0,9931	0,9931	0,6712	1,2001	0,9398
únor	0,8892	0,9624	0,6332	1,1895	0,9604
březen	0,9220	0,9761	0,6568	1,1443	0,9424
duben	0,9848	0,9777	0,6055	1,1629	0,9394
květen	0,9676	1,0407	0,6322	1,1836	0,9145
červen	0,9855	1,1541	0,7100	1,2211	0,9072
červenec	0,9658	1,1557	0,7464	1,1773	0,9140
srpen	1,0942	1,0729	0,8303	1,1880	0,9506
září	1,4010	1,2746	0,9585	1,2602	1,0292
říjen	1,2906	1,1792	0,9684	1,2064	1,0071
listopad	1,0564	1,0791	0,8200	1,1372	0,9430
prosinec	0,9748	1,0384	0,7755	1,1080	0,9367

2. Zprůměrovali jsme lednové hodnoty indexů

$$\frac{0,9931 + 0,9931 + 0,6712 + 1,2001 + 0,9398}{5} = 0,9595$$

čímž jsme získali průměrnou hodnotu lednového sezónního indexu.

Obdobným způsobem bychom vypočítali hodnoty pro všechny ostatní měsíce a dospěli bychom k výsledkům, které jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tab. 9 Průměrné měsíční indexy sezónnosti

Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index
leden	0,9595	květen	0,9477	září	1,1847
únor	0,9270	červen	0,9956	říjen	1,1303
březen	0,9283	červenec	0,9918	listopad	1,0072
duben	0,9340	srpen	1,0272	prosinec	0,9667

Sezónní indexy jsou v prvních sedmi měsících a v prosinci nižší než hodnota jedna. Znamená to, že se hodnoty v těchto obdobích nachází pod dlouhodobým normálem. Naopak od srpna do listopadu jsou indexy vyšší než jedna a hodnoty se nacházejí nad dlouhodobým normálem. Tyto skutečnosti vyplývají z charakteru poptávky, která začíná koncem letních měsíců narůstat a svého vrcholu zpravidla dosahuje na podzim.

4.3.3 PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014

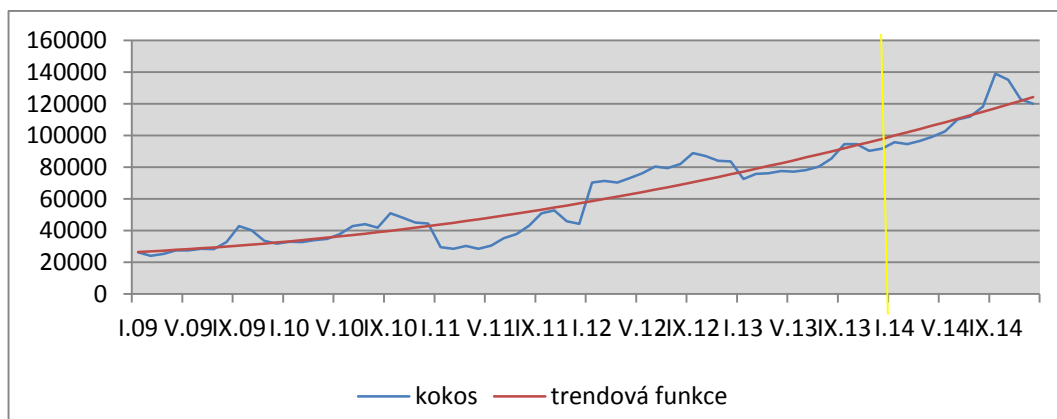
Vypočítané sezónní indexy ($1 + \gamma_r$) a očekávané hodnoty (T) nyní využijeme pro tvorbu předpovědi průběhu časové řady v následujícím roce 2014. Nejprve dosadíme t do předpisu funkce pro parabolu $T = 50\,147 + 1\,209t + 13,92t^2$, přičemž $t = 30,5; 31,5; \dots; 41,5$. Tedy pro leden 2014 dostáváme hodnotu $T = 50\,147 + 1\,209 \cdot 30,5 + 13,92 \cdot 30,5^2 = 99\,978$. Takto jsme získali očekávané hodnoty pro jednotlivé měsíce v roce 2014 (třetí sloupec tabulky). Tyto hodnoty nyní vynásobíme sezónním indexem pro příslušný měsíc a dostaneme hodnoty ovlivněné sezónností (poslední sloupec tabulky)

Tab. 10 Předpověď hodnot pro rok 2014

měsíc	t	T $T = 50\,147 + 1\,209t + 13,92t^2$	$(1 + \gamma_r)$	$T \cdot (1 + \gamma_r)$
Leden 2014	30,5	99978	0,9595	95925
Únor 2014	31,5	102050	0,9270	94596
Březen 2014	32,5	104150	0,9283	96685
Duben 2014	33,5	106278	0,9340	99268
Květen 2014	34,5	108434	0,9477	102765
Červen 2014	35,5	110618	0,9956	110128
Červenec 2014	36,5	112829	0,9918	111909
Srpen 2014	37,5	115069	1,0272	118201
Září 2014	38,5	117336	1,1847	139009
Říjen 2014	39,5	119631	1,1303	135222
Listopad 2014	40,5	121954	1,0072	122827
Prosinec 2014	41,5	124304	0,9667	120161

Výsledky jsme znázornili v grafu níže, kde modrá křivka představuje nákupy od ledna 2009 do prosince 2014, červená křivka je trendová parabola a žlutou přímkou jsou odděleny pozorované hodnoty v letech 2009 - 2013 a předpovídané hodnoty pro rok 2014.

Graf 3: Předpovídané hodnoty pro rok 2014



4.3.4 APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB

Model se stochastickou spojitou poptávkou

V teoretické části práce bylo popsáno několik modelů pro řízení zásob. Model EOQ předpokládá deterministickou poptávku, která je známá, čerpání zásob je rovnoměrné, velikost všech dodávek je stejná a dodávkové cykly jsou pravidelné. Vzhledem k charakteru činnosti společnosti POEX a jejímu způsobu zásobování není tento model vhodný a nebudeme se jím nadále zabývat. Druhým modelem byl model s přechodným neuspokojením poptávky. Tento model je postavený na obdobných předpokladech jako model EOQ a tudíž ani jeho využití není nejvhodnější. Nebudeme uvažovat ani POQ model, neboť nepředpokládáme, že by se podnik zásoboval vlastní výrobní činností. Využijeme pouze model se stochastickou spojitou poptávkou a provedeme optimalizaci na základě dat z roku 2013. Jelikož je poptávka během roku proměnlivá, rozdělili jsme roční hodnoty do období po třech měsících a budeme provádět optimalizace pro jednotlivá čtvrtletí.

Tab. 11 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013
1Q	68135	89704	79430	190832	198 550
2Q	75040	104000	84922	206866	211 300
3Q	93686	123075	118922	225377	237 800
4Q	95112	124131	128746	229473	266 200

Čtvrtletní střední hodnotu spočítáme jako aritmetický průměr jednotlivých čtvrtletí. V úvahu bereme jednotlivá čtvrtletí od roku 2009 až 2013, aby výsledky měli větší vypovídací hodnotu. Konkrétní hodnoty jsme od společnosti získali pouze pro rok 2013. Pro stanovení poptávky v letech 2009 až 2012 vycházíme ze skutečnosti, že společnost POEX prodala z celkového objemu čtvrtletně nakoupeného kokosu průměrně 90 %.

$$\mu = 147\,565 \frac{\text{kg}}{\text{čtvrtletí}}$$

Směrodatnou odchylku čtvrtletní poptávky získáme jako odmocninu z rozptylu
Rozptyl:

$$\sigma^2 = 4\,231\,031\,045$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 65\,046$$

Dalším krokem je vyčíslení nákladů. Skladovací náklady na 1 kg zboží zahrnují náklady fixní a variabilní. Mezi fixní náklady patří pronájem skladovacích prostorů, poplatky za energie a další zálohy apod. Měsíční fixní náklady společnost POEX vyčísluje přibližně na 260 000. Variabilní náklady spočítáme jako mzdy vyplácené skladníkům a dalším pracovníkům, kteří se o zásoby starají. Podnik v roce 2013 disponoval celkem 221 zaměstnanci, z nichž se zásobami a jejich skladováním pracovala zhruba jedna třetina (cca 75 zaměstnanců). Počítáme-li s hrubou měsíční mzdou těchto zaměstnanců ve výši 16 000 Kč měsíčně, vyčíslíme variabilní mzdové náklady takto:

$$VN = 16\,000 \times 75 = 1\,200\,000 \text{ Kč/měsíc} \rightarrow 3\,600\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

$$FN = 3 \times 260\,000 = 780\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

Čtvrtletní skladovací náklady = VN + FN = 4 380 000 Kč. Za první kvartál byly nakoupeny zásoby kokosu ve výši 224 709 kg. Skladovací náklady na 1 kg potom odpovídají hodnotě 4 380 000/224 709 = 19,5 Kč/kg. Náklady na pořízení jedné dodávky se pohybují v rozmezí od 5 000 až do 20 000 Kč v závislosti na tom, odkud je zboží dováženo. Průměrná cena na pořízení jedné dodávky kokosu se pohybuje okolo 16 000 Kč.

Dodávkový cyklus t se v jednotlivých obdobích mění podle poptávky. Zatímco v prvním čtvrtletí stačí objednávat zásoby průměrně jednou za dvacet dní, ke konci roku je délka dodávkového cyklu pouze 5 dní. Průměrná dodací lhůta jsou 4 dny. Velikost jedné dodávky spočítáme z objemu nakupovaných zásob pro jednotlivá čtvrtletí. Za první čtvrtletí bylo nakoupeno 224 709 kg kokosu. Počítáme-li s délkou dodávkového cyklu 20 dní, dostaneme velikost jedné dodávky přibližně 44 950 kg. Ve druhém čtvrtletí potom 38 844 kg, ve třetím 20 066 a v posledním čtvrtletí 15 380 kg.

Tab. 12 Výpočty pro rok 2013

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c ₁ [Kč]	c ₂ [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	224 709	44 950	19,5	16 000	20	4
2. Q	233 064	38 844	18,8	16 000	15	4
3. Q	260 862	20 066	16,8	16 000	7	4

4. Q	276 847	15 380	15,9	16 000	5	4
------	---------	--------	------	--------	---	---

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku ještě přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d . K tomu využijeme vzorce

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 147\,565 = \mathbf{1\,617\,kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 4\,231\,031\,045 = \mathbf{46\,367\,464\,kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{6\,809\,kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásoby dle vztahu $w = u_\gamma \sigma_d$, kde u_γ je γ -kvantil normovaného normálního rozdělení $N(0,1)$. Ze statistických tabulek zjistíme, že $u_{0,95} = 1,645$. Potom tedy velikost pojistné zásoby odpovídá: $w = 1,645 * 6\,809 = \mathbf{11\,201}$. Aby firma dosáhla úrovně obsluhy 95%, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 11 201 kg kokosu. Bod znovuobjednávky udává, při jakém množství zboží na skladu je vhodné objednat další dodávku, a vypočítáme jej následovně: $r^* = \mu_d + w = 1\,617 + 11\,201 = \mathbf{12\,818\,kg}$.

Výpočty jednotlivých ukazatelů pro rok 2013⁵

Skutečné náklady firmy N

$$N = 19,5 * \frac{44950}{2} + 16000 * \frac{198550}{44950} + 19,5 * 11\,201 = \mathbf{727\,356\,Kč}$$

Optimální velikost dodávky q^*

$$q^* = \sqrt{\frac{2 * 147\,565 * 16000}{19,5}} = \mathbf{15\,561\,Kg}$$

Optimální velikost nákladů N^*

$$N^* = \sqrt{2 * 147\,565 * 19,5 * 16000} = \mathbf{303\,448\,Kč}$$

Optimální délka dodávkového cyklu t^*

$$t^* = \frac{15561}{198550} = 0,0784 * \left(\frac{365}{4}\right) = \mathbf{8\,dní}$$

Optimální bod znovuobjednávky r^*

$$147\,565 * \frac{4}{365} + 11201 = \mathbf{12\,818\,kg}$$

Optimální počet dodávek D^*

$$D^* = \frac{198550}{15\,561} = \mathbf{12,76\,dodávek}$$

⁵ Pro první čtvrtletí

Podle výše uvedených vzorců spočítáme ukazatele také pro druhé, třetí a čtvrté čtvrtletí a dostaneme se k výsledkům, které jsou shrnuty v tabulce č. 13.

Tab. 13 Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	727356	662748	546345	577298
q*	15561	15848	16765	17233
N*	303448	297952	281657	274009
t*	8	7	7	6
r*	12818	12818	12818	12818
D*	13	13	14	15

4.3.5 OPTIMALIZACE PRO PŘEDPOVÍDANÉ HODNOTY ROKU 2014

Pro optimalizaci využijeme hodnoty z tabulky č. 10, které přepočítáme na hodnoty čtvrtletní. Stejně jako pro roky 2009 – 2012, kdy jsme počítali rozptyl a střední hodnotu poptávky, předpokládáme, že společnost prodá v roce 2014 90 % z nakoupených zásob.

Tab. 14 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích v letech 2009 – 2014

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1. Q	68135	89704	79430	190832	198 550	258485
2. Q	75040	104000	84922	206866	211 300	280945
3. Q	93686	123075	118922	225377	237 800	332207
4. Q	95112	124131	128746	229473	266 200	340389

Při výpočtu čtvrtletní střední hodnoty a rozptylu nyní vycházíme z hodnot z tabulky č. 14 a dostaneme

Střední hodnotu

$$\mu = 173\,472 \frac{kg}{\text{čtvrtletí}}$$

Rozptyl

$$\sigma^2 = 7\,202\,122\,187$$

A směrodatnou odchylku

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 84\,865$$

Náklady na pořízení jedné dodávky, dodávkový cyklus a délka dodací lhůty zůstávají nezměněny. Pro rok 2014 přepočítáme pouze velikost dodávky a skladovací jednotkové náklady. Dostaneme výsledky uvedené v tabulce č. 15.

Tab. 15 Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c ₁ [Kč]	c ₂ [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	287206	63 824	15,25	16 000	20	4
2. Q	312161	52 027	14	16 000	15	4
3. Q	369119	28 394	11,87	16 000	7	4
4. Q	378210	20 555	11,58	16 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku opět přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d .

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 173\,472 = \mathbf{1\,901\,kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 7\,202\,122\,187 = \mathbf{78\,927\,366\,kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{8\,884\,kg}$$

Úroveň obsluhy zůstává stanovena na 95% a spočítáme pojistnou zásoby dle vztahu $w = u_\gamma \sigma_d$. Ze statistických tabulek zjistíme, že $u_{0,95} = 1,645$. Potom velikost pojistné zásoby odpovídá: $w = 1,645 * 8\,884 = \mathbf{14\,614}$. Aby tedy firma dosáhla úrovně obsluhy 95%, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 14 614 kg kokosu. Bod znovuobjednávky vypočítáme následovně: $r^* = \mu_d + w = 1\,901 + 14\,614 = \mathbf{16\,515\,kg}$.

Tab. 16 Výsledky pro rok 2014

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	774321	655185	529185	553202
q*	19079	19912	21625	21895
N*	290954	278775	256694	253539
t*	7	7	6	6
r*	16515	16515	16515	16515
D*	14	14	15	16

4.3.6 DÍLČÍ ZÁVĚRY PRO KOKOS

V následující kapitole budou shrnuty výsledky, které jsme výše vypočítali. Pro časovou řadu „kokos“ jsme ze tří pozorovaných modelů vybrali kvadratický trend. Výsledky jednotlivých testů pro přímku, parabolu a exponenciálu však byly velmi podobné a tudíž by se dalo pracovat také s modelem lineárním či exponenciálním. Pomocí t-testu jsme zjistili, že všechny parametry parabolického trendu jsou statisticky významné, a provedením F-testu jsme potvrdili, že model je statisticky průkazný. Koeficient determinace jsme vypočítali v hodnotě téměř 0,85, což znamená, že kvadratický trend vysvětluje téměř 85 % variability časové řady, což je dobrý výsledek. Po testování vhodného trendu jsme přistoupili k testování sezónnosti a na základě F-statistiky jsme ověřili, že se v časové řadě sezónnost vyskytuje. Vzhledem k charakteru časové řady

byla zvolena sezónnost proporcionální, která se pozorované časové řadě více přibližuje. Na základě vypočítaných sezónních indexů a zvoleného trendu jsme vypočítali očekávané nákupy pro jednotlivé měsíce v roce 2014. Při optimalizaci jsme na nákupy zásob roku 2013 aplikovali model se stochastickou spojitou poptávkou. V tabulce níže, jsou pro srovnání v prvním sloupci uvedeny skutečné hodnoty jednotlivých parametrů a v druhém hodnoty optimální.

Tab. 17 Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013

		Skutečné hodnoty	Optimální hodnoty
1. Q	N – náklady	727 356	303 448
	q – velikost dodávky	44 950	15 561
	t – délka dodávkového cyklu	20	8
	D ⁶ – počet dodávek	5	13
2. Q	N – náklady	662 748	297 952
	q – velikost dodávky	38 844	15 848
	t – délka dodávkového cyklu	15	7
	D – počet dodávek	6	13
3. Q	N – náklady	546 345	28 1657
	q – velikost dodávky	20 066	16 765
	t – délka dodávkového cyklu	7	7
	D – počet dodávek	13	14
4. Q	N – náklady	577 298	274 009
	q – velikost dodávky	15 380	17 233
	t – délka dodávkového cyklu	5	6
	D – počet dodávek	18	15

U jednotlivých parametrů vidíme poměrně velký rozdíl mezi hodnotami optimálními a hodnotami skutečnými. Především v prvním a druhém kvartálu jsou rozdíly extrémní. Skutečné náklady i velikost jedné dodávky jsou oproti optimálnímu stavu více jak dvojnásobně vyšší. Optimálnímu stavu se hodnoty nejvíce přiblížily ve třetím a čtvrtém čtvrtletí. Pro první a druhý kvartál by bylo vhodnější snížit délku dodávkového cyklu, objednávat zboží častěji a v menším množství.

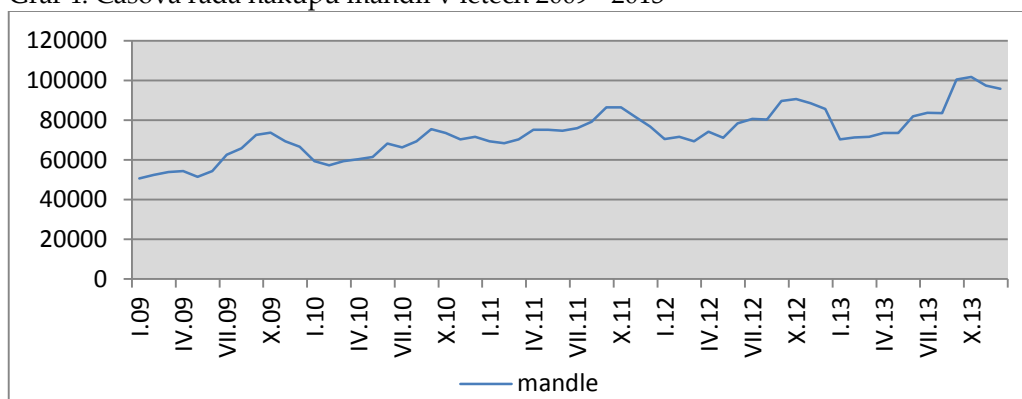
4.4 MANDLE

Z pěti sledovaných surovin jsou mandle pro společnost nejvýznamnější. Vyplývá to z nakupovaných objemů, které právě v případě mandlí dosahují nejvyšších hodnot.

⁶ Počet dodávek jsme získali jako podíl nakoupeného množství a velikosti jedné dodávky

Měsíční nákupy této suroviny od roku 2009 do roku 2013 jsou uvedeny v příloze. Časový průběh těchto nákupů je znázorněn v grafu č. 4 modrou křivkou. Při výběru vhodné trendové funkce budeme testovat rovněž trend lineární, exponenciální a parabolu a pro srovnání využijeme koeficient determinace, střední chybu odhadu M. E., střední čtvercová chybu odhadu M. S. E., střední absolutní chybu odhadu M. A. E., střední procentní chybu odhadu M. P. E. a střední absolutní procentní chybu odhadu M. A. P. E.

Graf 4: Časová řada nákupů mandlí v letech 2009 - 2013



4.4.1 VOLBA VHODNÉHO TRENDU

Lineární trend

Rovnice lineárního trendu: $T = b_0 + b_1 t$

Při výpočtech parametrů b_0 a b_1 vycházíme z tabulky č. 18. Pozorované měsíční hodnoty jsou za pět let, celkem tedy $n=60$. Pro časovou proměnnou t stanovíme předpoklad $\Sigma t = 0$, potom pro šedesát pozorování platí $t = -29,5; -28,5; -27,5; \dots; 27,5; 28,5; 29,5$.

Tab. 18 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1

ΣY	Σt	Σt^2	$\Sigma Y \cdot t$	n
4394699	0,0	17995	10000675	60

Po dosazení hodnot z tabulky do výrazů (60) a (61) získáváme:

$$b_0 = \frac{4394699}{60} = 73\,245$$

$$b_1 = \frac{10000675}{17995} = 556$$

A následně dostáváme lineární předpis ve tvaru $T = 73\,245 + 556 t$. Očekávané hodnoty vypočítáme postupným dosazováním hodnot časové proměnné t ($-29,5; \dots; 29,5$) do předpisu funkce. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulce v příloze.

Například:

leden 2009: $T = 73\,245 + 556 * (-29,5) = 56\,850$.

únor 2009: $T = 73\,245 + 556 * (-28,5) = 57\,406$

Vyrovnané hodnoty získáme jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky jsou opět uvedeny v příloze.

Například:

leden 2009: $Y' = 50\,613 - 56\,850 = -6\,237$ apod.

Kvadratický trend (parabola)

Rovnice kvadratického trendu má podobu: $T = b_0 + b_1t + b_2t^2$

Při výpočtech parametrů b_0 , b_1 , a b_2 vycházíme z tabulky č. 19.

Tab. 19 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2

Σy	Σt	Σt^2	Σt^4	Σyt	Σyt^2
4394699	0	17995	9711001,75	10000675	1309360963

Dosazením hodnot z tabulky do vzorců (62), (63) a (64) získáme:

$$b_0 = 73\,849$$

$$b_1 = 566$$

$$b_2 = -2,013$$

Vypočítané hodnoty parametrů dosadíme do rovnice paraboly a získáme předpis ve tvaru $T = 73849 + 556t - 2,013t^2$. Obdobně jako u lineárního trendu získáme dosazováním hodnot t a t^2 do předpisu funkce očekávané hodnoty, které jsou uvedeny v příloze v tabulce.

Například:

leden 2009: $T = 73849 + 556 * (-29,5) - 2,013 * (-29,5)^2 = 55\,703$

únor 2009: $T = 73849 + 556 * (-28,5) - 2,013 * (-28,5)^2 = 56\,375$ apod.

Hodnoty reziduí vypočítáme jako rozdíl pozorovaných hodnot a hodnot očekávaných. Všechny výsledky jsou opět uvedeny v příloze.

Například:

leden 2009: $Y' = 50\,613 - 55\,703 = -5090$.

Exponenciální trend

Odhad průběhu exponenciálního trendové funkce lze zapsat rovnicí ve tvaru: $T_i = b_0 b_1^t$

Při výpočtu koeficientů vycházíme z následující tabulky:

Tab. 20 Výchozí hodnoty pro výpočet b_0 a b_1

Σy	$\Sigma y = \ln y$	Σt	Σt^2	$\Sigma t * \ln y$	n
4394699	671,3	0	17995	138,9	60

Dosazením do výrazů (65) a (66) dostaneme hodnoty:

$$b_0' = \frac{671,3}{60} = 11,1884$$

$$b_1' = \frac{138,9}{17995} = 0,0077$$

A potom s pomocí substituce vypočteme:

$$b_0 = e^{b_0'} = e^{11,1884} = \mathbf{72\ 288}$$

$$b_1 = e^{b_1'} = e^{0,0077} = \mathbf{1,0078}$$

Tímto jsme získali předpis pro exponenciální trendovou funkci v podobě $T = 72\ 288 * 1,0078^t$

Stejným způsobem jako u lineárního a parabolického trendu spočítáme dosazením do předpisu exponenciální trendové funkce očekávané hodnoty a následně hodnoty očištěné od trendu jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky výpočtu očekávaných hodnot a reziduí jsou uvedeny v tabulkách v příloze.

TESTOVÁNÍ PARAMETRŮ

Zda jsou vypočtené parametry b_0 , b_1 a b_2 významné otestujeme pomocí *t-testu*. Stanovíme hladinu významnosti α , nulovou hypotézu o statistické nevýznamnosti parametru a k ní hypotézu alternativní o statistické významnosti parametru. Tedy:

H₀: parametr není statisticky významný

H₁: parametr je statisticky významný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl získáme p-hodnoty pro jednotlivé parametry lineárního, kvadratického a exponenciálního⁷ modelu – viz následující obrázky.

⁷ U exponenciálního modelu testujeme parametry b_0' a b_1'

Lineární model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	73245,0	901,799	81,22	1,94e-061 ***
t	555,747	52,0726	10,67	2,63e-015 ***

Model s parabolou				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	73848,6	1360,61	54,28	9,09e-051 ***
t	555,747	52,3650	10,61	4,06e-015 ***
t2	-2,01264	3,38202	-0,5951	0,5541

Exponenciální model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	11,1884	0,0122611	912,5	2,90e-122 ***
t	0,00771967	0,000707991	10,90	1,14e-015 ***

Obr. 15 Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl

Platí: je-li $p\text{-hodnota} < \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li $p\text{-hodnota} > \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

Téměř u všech zkoumaných parametrů dosahuje $p\text{-hodnota}$ nižších hodnot než je stanovená hladiny významnosti α . Jediný případ, kdy je tento předpoklad porušen je u parabolického trendu a parametru b_2 , u kterého $p\text{-hodnota}$ dosahuje hodnoty 0,5541. Na základě toho lze konstatovat, že parametr b_2 není statisticky významný a tudíž jej lze z modelu vynechat. Potom dostáváme předpis v lineárním tvaru. Parametry b_0 a b_1 jsou ve všech testovaných modelech statisticky významné. Významnost si můžeme také ověřit pomocí hvězdiček v posledním sloupci tabulky.

TESTOVÁNÍ MODELU

Pro testování vhodnosti celého modelu využijeme stejně jako u první suroviny koeficienty determinace a reziduální testy. Vzorce pro výpočty byly uvedeny výše, proto je zde znovu uvádět nebudeme a pouze shrneme výsledky.

Tab. 21 Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely

	přímka	parabola	exponenciála
R ²	0,6626	0,6647	0,6557
M.E.	0	0	309,533033
M.S.E.	47 167 989	46 876 744	48 127 426
M.A.E.	5 722	5 633	5 821

M.P.E.	-0,8629	-0,8377	-0,4376
M.A.P.E.	7,8487	7,6803	7,9899

F-test

Pro testování vhodnosti celkového modelu využijeme ještě F-test. Obdobně jako u testování významnosti jednotlivých parametrů vycházíme z nulové a alternativní hypotézy a volíme hladinu významnosti α .

H_0 : model není statisticky průkazný

H_1 : model je statisticky průkazný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl provedeme analýzu rozptylu (tzv. ANOVA) a z ní získáme hodnotu F-statistiky a odpovídající p-hodnotu. Jelikož jsme na základě t-testu u kvadratického trendu určili parametr b_2 jako nevýznamný, z modelu nám vypadáva člen b_2t^2 a tím se z parabolického předpisu stává předpis lineární. Analýzu rozptylu tedy provádíme pouze pro trend lineární a exponenciální.

Lineární trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	5,55785e+009	1	5,55785e+009
Reziduum	2,83008e+009	58	4,87945e+007
Úplné	8,38793e+009	59	1,42168e+008
R ² = 5,55785e+009 / 8,38793e+009 = 0,662601			
F(1, 58) = 5,55785e+009 / 4,87945e+007 = 113,903 [p-hodnota 2,63e-015]			

Exponenciální trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	1,07238	1	1,07238
Reziduum	0,52316	58	0,00902001
Úplné	1,59554	59	0,0270431
R ² = 1,07238 / 1,59554 = 0,672111			
F(1, 58) = 1,07238 / 0,00902001 = 118,889 [p-hodnota 1,14e-015]			

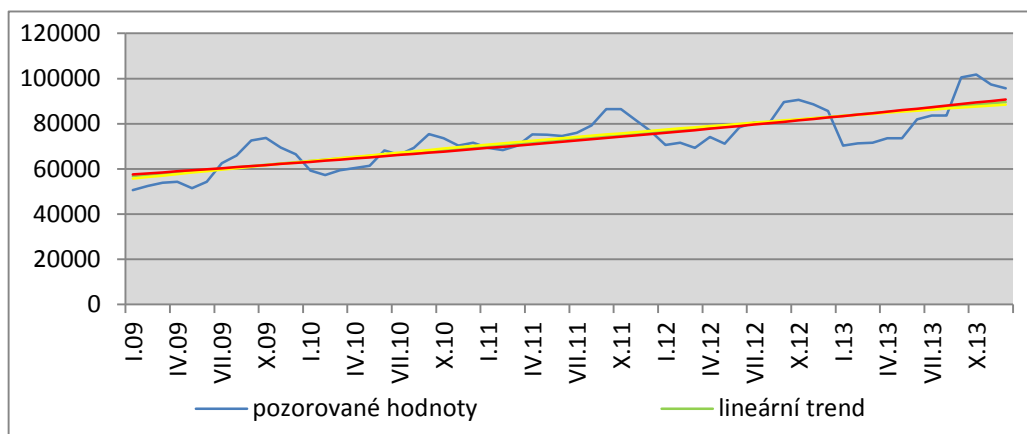
Obr. 16 Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl

Dále platí: je-li p-hodnota $< \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li p-hodnota $> \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

P-hodnoty pro F-test nabývají hodnot menších než je zvolená hladina významnosti 5 %. Na základě toho zamítáme nulovou hypotézu a konstatujeme, že modely jsou statisticky průkazné.

Graf 5: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro mandle



SOUHRN VÝSLEDKŮ

Provedením t-testu jsme zjistili, že parametr b_2 u kvadratického trendu není statisticky významný. Dále tedy bereme v úvahu pouze trend lineární a exponenciální. Podle F- testu jsou oba tyto modely statisticky průkazné, proto přistoupíme ke srovnání pomocí koeficientu determinace a reziduálních testů. Na základě výsledků testů bychom vybrali model s lineárním trendem, neboť vypočítané hodnoty byly ve všech případech nižší než u trendu exponenciálního. Také koeficient determinace dosáhl lepších hodnot v případě přímky, přes 66 %. Ačkoli tato hodnota není příliš vysoká, budeme nadále pracovat s lineárním modelem. Z grafu č. 5 je vidět, že křivky jednotlivých modelů téměř splývají. Je tomu tak z důvodu velmi podobných výsledků testů, které jsme provedli.

4.4.2 TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ

Další komponentou časové řady, kterou budeme zkoumat, je sezónní složka. Pomocí *F statistiky* ověříme, zda se v časové řadě sezónnost vyskytuje či nikoli. V prvním kroku opět zformulujeme dvojici hypotéz, přičemž:

- nulová hypotéza H_0 : v časové řadě se nevyskytuje sezónní složka,
- alternativní hypotéza H_1 : v časové řadě se vyskytuje sezónní složka.

Tab. 22 Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletí

	1Q	2Q	3Q	4Q	průměr
2009	52292	53393	67014	69870	60642
2010	58644	63345	70335	71812	66034
2011	69343	74990	80554	81564	76613
2012	70486	74565	83476	88249	79194
2013	71084	76346	89240	98298	83742
průměr	64370	68528	78124	81959	73245

Tab. 23 Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky

	1Q	2Q	3Q	4Q		$\Sigma(\bar{y}_i - \bar{y})^2$
2009	439 041 479	394 101 242	38 825 153	11 388 263		158 828 887
2010	213 178 980	98 003 070	8 469 943	2 053 441		51 997 079
2011	15 222 873	3 046 247	53 416 852	69 206 038		11 342 414
2012	7 611 989	1 742 444	104 673 702	225 110 514		35 389 808
2013	4 671 290	9 616 304	255 840 558	627 636 942		110 183 860
						$\Sigma 367 742 048$
$\Sigma(\bar{y}_i - \bar{y})^2$	78 768 879	22 250 561	23 801 551	75 925 954	$\Sigma 200 746 945$	$\Sigma 2 582 857 325$

Hodnoty z tabulky č. 23 dosadíme do vzorců (73) a (74) a dostaneme se k výsledkům:

$$\sigma^2 = \frac{2 582 857 325 - 4 \times 367 742 048 - 5 \times 200 746 945}{12} = 9 012 868$$

$$F = \frac{5 \times 200 746 945}{3 \times 9 012 868} = 37,12$$

Hladinu významnosti α zvolíme 5%. Ze statistických tabulek zjistíme, že hodnota $F_{1-\alpha}$ pro (4-1) a (4-1) * (5-1) stupňů volnosti odpovídá hodnotě 3,49. Potom platí nerovnost $F > F_{0,95}(3; 12)$, tím pádem zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme hypotézu alternativní, tedy že se v časové řadě vyskytuje určitá sezónnost.

Existenci sezónní složky v časové řadě jsme již ověřili a nyní přistoupíme k její analýze. Vzhledem k charakteru časové řady využijeme model s proporcionální sezónností a zavedeme proměnnou $m = 1, 2, \dots, i$ pro označení časových intervalů (roků) a tyto časové intervaly ještě dále rozčleníme na dílčí časová období – tzv. sezóny (měsíce), které označujeme $r = 1, 2, \dots, j$.

Vypočtené měsíční sezónní indexy jsou v tabulce. Například sezónní index pro leden jsme získali následovně:

1. Vypočetli jsme sezónní index pro každý měsíc během všech pěti let jako podíl pozorované a očekávané hodnoty v příslušném měsíci a roce

$$(1 + \gamma_r) = \frac{y_{mr}}{T_{mr}}; m = 1, \dots, 5; r = 1, \dots, 12, \text{ čímž jsme získali celkem 60 různých indexů – viz tabulka č. 24.}$$

Tab. 24 Sezónní indexy

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	0,8903	0,9337	0,9884	0,9179	0,8423
únor	0,9135	0,8935	0,9656	0,9244	0,8486
březen	0,9286	0,9186	0,9866	0,8894	0,8452
duben	0,9292	0,9261	1,0469	0,9447	0,8630
květen	0,8707	0,9342	1,0374	0,8997	0,8574
červen	0,9118	1,0295	1,0227	0,9840	0,9501
červenec	1,0391	0,9908	1,0338	1,0046	0,9630
srpen	1,0843	1,0290	1,0691	0,9940	0,9565
září	1,1851	1,1094	1,1583	1,1021	1,1420
říjen	1,1908	1,0736	1,1496	1,1064	1,1499
listopad	1,1121	1,0183	1,0765	1,0746	1,0929
prosinec	1,0571	1,0273	1,0054	1,0318	1,0680

2. Zprůměrovali jsme lednové hodnoty indexů

$$\frac{0,8903 + 0,9337 + 0,9884 + 0,9179 + 0,8423}{5} = 0,9145$$

čímž jsme získali průměrnou hodnotu lednového sezónního indexu.

Obdobným způsobem bychom vypočítali hodnoty pro všechny ostatní měsíce a dospěli bychom k výsledkům, které jsou uvedeny v tabulce č. 25.

Tab. 25 Průměrné měsíční indexy sezónnosti

Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index
leden	0,9145	květen	0,9199	září	1,1394
únor	0,9091	červen	0,9796	říjen	1,1341
březen	0,9137	červenec	1,0063	listopad	1,0749
duben	0,9420	srpen	1,0266	prosinec	1,0379

Hodnoty sezónních indexů jsou až do července nižší než hodnota 1. V těchto měsících se nákupy nacházejí pod dlouhodobým normálem. Od července, kdy pro mandle začíná sezóna, velikost nákupů a tím i indexy narůstají. K nejvyššímu průměrnému nárůstu dochází v září.

4.4.3 PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014

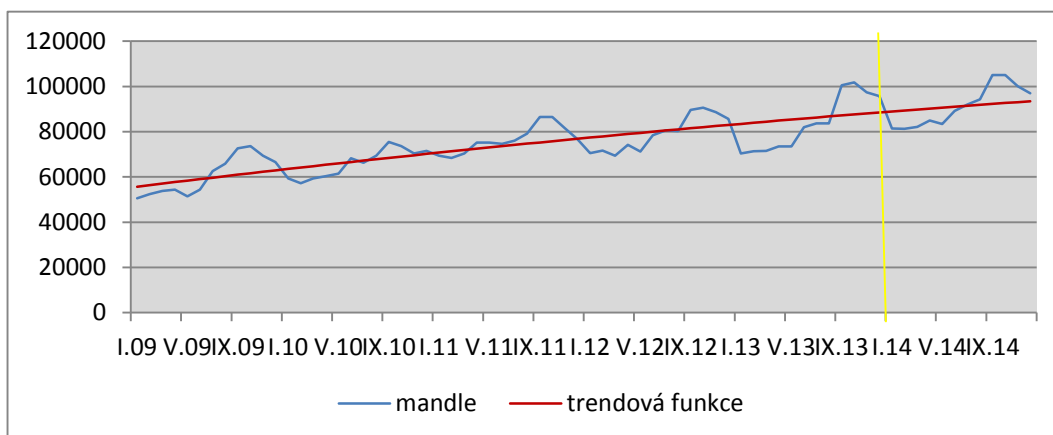
Vypočítané sezónní indexy $(1 + \gamma_r)$ a očekávané hodnoty (T) nyní využijeme pro tvorbu předpovědi průběhu časové řady v následujícím roce 2014. Nejprve dosazením t do předpisu funkce pro přímku $T = 73\,245 + 556t$, přičemž $t = 30,5; 31,5; \dots; 41,5$. Tedy pro leden 2014 dostáváme hodnotu $T = 73\,245 + 556 \cdot 30,5 = 90\,203$. Tím jsme získali očekávané hodnoty pro jednotlivé měsíce v roce 2014 (viz třetí sloupec tabulky). Tyto hodnoty nyní vynásobíme sezónním faktorem pro příslušný měsíc a dostaneme hodnoty ovlivněné sezónností (poslední sloupec tabulky)

Tab. 26 Předpověď hodnot pro rok 2014

měsíc	t	T $T = 73\,245 + 556t$	$(1 + \gamma_r)$	$T \cdot (1 + \gamma_r)$
Leden 2014	30,5	90203	0,9145	82493
Únor 2014	31,5	90759	0,9091	82512
Březen 2014	32,5	91315	0,9137	83435
Duben 2014	33,5	91871	0,9420	86541
Květen 2014	34,5	92427	0,9199	85022
Červen 2014	35,5	92983	0,9796	91087
Červenec 2014	36,5	93539	1,0063	94127
Srpen 2014	37,5	94095	1,0266	96596
Září 2014	38,5	94651	1,1394	107842
Říjen 2014	39,5	95207	1,1341	107970
Listopad 2014	40,5	95763	1,0749	102933
Prosinec 2014	41,5	96319	1,0379	99971

Výsledky jsme znázornily v grafu níže, kde modrá křivka představuje nákupy od ledna 2009 do prosince 2014, červená křivka je trendová přímka a žlutou přímkou jsou odděleny pozorované hodnoty v letech 2009 - 2013 a předpovídané hodnoty pro rok 2014.

Graf 6: Předpovídané hodnoty pro rok 2014



4.4.4 APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB

Model se stochastickou spojitou poptávkou

Opět využijeme model se stochastickou spojitou poptávkou a provedeme optimalizaci na základě dat z roku 2013. Jelikož je poptávka během roku proměnlivá, rozdělili jsme roční hodnoty do období po třech měsících a budeme tedy provádět optimalizace pro jednotlivá čtvrtletí.

Tab. 27 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013
1. Q	149031	167136	197629	200885	209 588
2. Q	152170	180534	213722	212510	211 090
3. Q	190990	200454	229578	237907	240 937
4. Q	199130	204664	232457	251509	289 506

Čtvrtletní střední hodnotu spočítáme jako aritmetický průměr jednotlivých čtvrtletí. V úvahu bereme jednotlivá čtvrtletí od roku 2009 až 2013, aby výsledky měli větší vypovídací hodnotu. Konkrétní hodnoty jsme od společnosti získali pouze pro rok 2013. Pro stanovení poptávky v letech 2009 až 2012 vycházíme ze skutečnosti, že společnost POEX prodala z celkového objemu čtvrtletně nakoupených mandlí průměrně 95 %.

$$\mu = 208\,571 \frac{kg}{\text{čtvrtletí}}$$

Směrodatnou odchylku čtvrtletní poptávky získáme jako odmocninu z rozptylu.
Rozptyl:

$$\sigma^2 = 1\,118\,456\,123$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 33\,443$$

Při vyčíslení nákladů postupujeme stejně jako u předchozí suroviny – kokosu. Tedy: $VN = 16\,000 \times 75 = 1\,200\,000$ Kč/měsíc $\rightarrow 3\,600\,000$ Kč/čtvrtletí

$FN = 3 \times 260\,000 = 780\,000$ Kč/čtvrtletí

Čtvrtletní skladovací náklady = $VN + FN = 4\,380\,000$ Kč. Za první čtvrtletí roku 2013 byly nakoupeny zásoby ve výši 213 251 kg. Skladovací náklady na 1 kg potom odpovídají hodnotě $4\,380\,000/213\,251 = 20,5$ Kč/kg. Náklady na pořízení jedné dodávky se pohybují v rozmezí od 10 000 až do 20 000 Kč v závislosti na tom, odkud je zboží dováženo. Průměrná cena na pořízení jedné dodávky mandlí je přibližně 15 000 Kč.

Dodávkový cyklus t se v jednotlivých obdobích mění v závislosti na poptávce. Zatímco v prvním čtvrtletí stačí objednávat zásoby průměrně jednou za dvacet dní, ke konci roku je délka dodávkového cyklu pouze 5 dní. Průměrná dodací lhůta jsou 4 dny. Velikost jedné dodávky spočítáme z objemu nakupovaných zásob pro jednotlivá čtvrtletí. Za první čtvrtletí bylo nakoupeno 213 251 kg mandlí. Počítáme-li s délkou dodávkového cyklu 20 dní, dostaneme velikost jedné dodávky přibližně 47 389 kg. Ve druhém čtvrtletí potom 38 173 kg, ve třetím 20 594 a v posledním čtvrtletí 16 027 kg.

Tab. 28 Výpočty pro rok 2013

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c_1 [Kč]	c_2 [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	213251	47 389	20,5	15 000	20	4
2. Q	229038	38 173	19	15 000	15	4
3. Q	267720	20 594	16,4	15 000	7	4
4. Q	294893	16 027	14,9	15 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku ještě přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d . K tomu využijeme vzorce

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 208\,571 = \mathbf{2\,286\,kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 1\,118\,456\,123 = \mathbf{12\,257\,053\,kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{3\,501\,kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásoby dle vztahu $w = u_\gamma \sigma_d$. Potom velikost pojistné zásoby odpovídá: $w = 1,645 * 3\,501 = \mathbf{5\,759}$. To znamená, že aby firma z 95% uspokojila požadavky svých zákazníků, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 5 759 kg mandlí. Bod znovuobjednávky udává, při jakém množství zboží na skladu je vhodné objednat další dodávku, a vypočítáme jej následovně: $r^* = \mu_d + w = 2\,286 + 5\,759 = \mathbf{8\,045\,kg}$.

Tab. 29 Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	670137	555012	438809	476165
q*	17471	18147	19533	20492
N*	358150	344798	320339	305338
t*	8	8	8	7
r*	8045	8045	8045	8045
D*	12	12	12	14

4.4.5 OPTIMALIZACE PRO PŘEDPOVÍDANÉ HODNOTY ROKU 2014

Pro optimalizaci využijeme hodnoty z tabulky č. 26, které přepočítáme na hodnoty čtvrtletní. Stejně jako pro roky 2009 – 2012, kdy jsme počítali rozptyl a střední hodnotu poptávky, předpokládáme, že společnost prodá v roce 2014 přibližně 95% z nakoupených zásob.

Tab. 30 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích v letech 2009 – 2014

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1. Q	149031	167136	197629	200885	209 588	236018
2. Q	152170	180534	213722	212510	211 090	249518
3. Q	190990	200454	229578	237907	240 937	283637
4. Q	199130	204664	232457	251509	289 506	295330

Při výpočtu čtvrtletní střední hodnoty a rozptylu nyní vycházíme z hodnot z tabulky č. 30 a dostaneme:

Střední hodnotu

$$\mu = 218\,164 \frac{\text{kg}}{\text{čtvrtletí}}$$

Rozptyl

$$\sigma^2 = 1\,505\,838\,438$$

A směrodatnou odchylku

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 38\,805$$

Náklady na pořízení jedné dodávky, dodávkový cyklus a délka dodací lhůty zůstávají nezměněny. Pro rok 2014 přepočítáme pouze velikost dodávky a skladovací jednotkové náklady. Dostaneme výsledky uvedené v tabulce č. 31

Tab. 31 Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c ₁ [Kč]	c ₂ [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	248440	55 209	17,6	15 000	20	4
2. Q	262650	43 775	16,7	15 000	15	4
3. Q	298565	22 967	14,7	15 000	7	4
4. Q	310874	16 895	14	15 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku opět přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d .

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 218\,164 = \mathbf{2\,391\,kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 1\,505\,838\,438 = \mathbf{16\,502\,339\,kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{4\,062\,kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásobu: $w = 1,645 * 4\,062 = \mathbf{6\,682}$. Aby tedy firma dosáhla úrovně obsluhy 95%, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 6 682 kg mandlí. Bod znovuobjednávky udává, při jakém množství zboží na skladu je vhodné objednat další dodávku, a vypočítáme jej následovně: $r^* = \mu_d + w = 2\,391 + 6\,682 = \mathbf{9\,073\,kg}$.

Tab. 32 Výsledky pro rok 2014

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	667567	562611	452279	474018
q*	19284	19797	21101	21622
N*	339397	330606	310178	302703
t*	8	8	7	7
r*	9073	9073	9073	9073
D*	12,24	12,60	13,44	13,66

4.4.6 DÍLČÍ ZÁVĚRY PRO MANDLE

V této kapitole jsou shrnuty výsledky výpočtů a testování, kterých jsme dosáhli. Pro časovou řadu „mandle“ jsme ze tří pozorovaných modelů vybrali lineární trend. Pomocí t-testu jsme zjistili, že oba parametry lineárního trendu jsou statisticky významné, a provedením F-testu jsme potvrdili, že je model statisticky průkazný. Koeficient determinace jsme vypočítali v hodnotě 0,6626, což znamená, že lineární trend vysvětluje 66,26 % variability časové řady. Přestože hodnota koeficientu není příliš vysoká, budeme časovou řadu modelovat právě pomocí přímky. Po testování vhodného trendu jsme přistoupili k testování sezónnosti a na základě F-statistiky jsme ověřili, že se v časové řadě sezónnost vyskytuje. Vzhledem k charakteru časové řady volíme sezónnost

proporcionální, která se pozorované časové řadě více přibližuje. Na základě vypočítaných sezónních indexů a zvoleného trendu jsme vypočítali očekávané nákupy pro jednotlivé měsíce v roce 2014. Při optimalizaci jsme na nákupy zásob roku 2013 aplikovali model se stochastickou spojenou poptávkou. V tabulce níže, jsou pro srovnání v prvním sloupci uvedeny skutečné hodnoty jednotlivých parametrů a v druhém hodnoty optimální.

Tab. 33 Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013

		Skutečné hodnoty	Optimální hodnoty
1. Q	N – náklady	670137	358150
	q – velikost dodávky	47 389	17471
	t – délka dodávkového cyklu	20	8
	D – počet dodávek	5	12
2. Q	N – náklady	555012	344798
	q – velikost dodávky	38 173	18147
	t – délka dodávkového cyklu	15	8
	D – počet dodávek	6	12
3. Q	N – náklady	438809	320339
	q – velikost dodávky	20 594	19533
	t – délka dodávkového cyklu	7	8
	D – počet dodávek	13	12
4. Q	N – náklady	476165	305338
	q – velikost dodávky	16 027	20492
	t – délka dodávkového cyklu	5	7
	D – počet dodávek	19	14

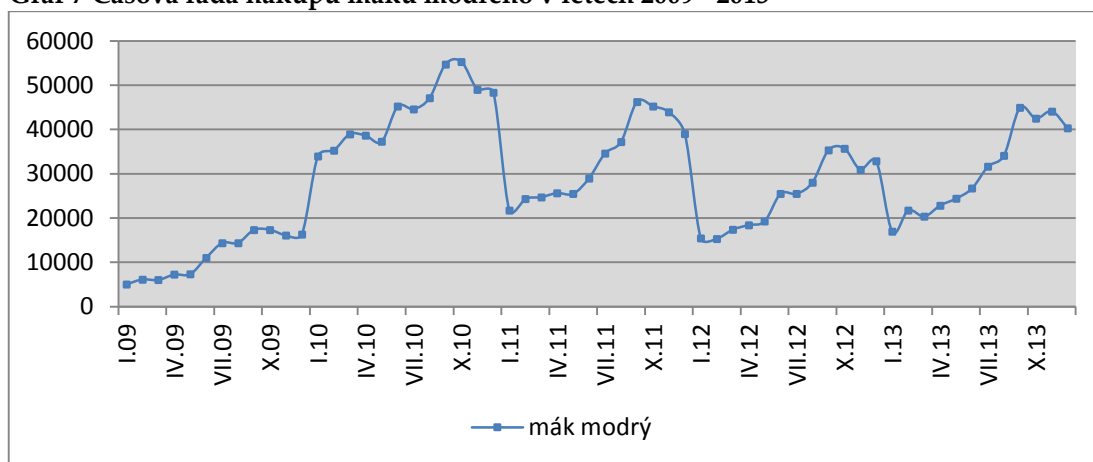
Z výše uvedeného srovnání skutečných a optimálních hodnot je patrné, že společnost preferuje objednávání větších dodávek méně často. Vyšší efektivitu a nižší nákladů by bylo dosaženo, pokud by firma naopak snížila velikost jednotlivých dodávek a objednávala častěji, zvláště v prvních dvou čtvrtletích, kdy jsou rozdíly mezi hodnotami značné. Ve třetím čtvrtletí, kdy začíná poptávka narůstat, jsou příznivější a téměř se shodují s optimálními. Je tedy vhodnější objednávat dodávky mandlí častěji a v menším množství.

4.5 MÁK MODRÝ

Měsíční nákupy máku od roku 2009 do roku 2013 jsou uvedeny opět v příloze. Časový průběh těchto nákupů je znázorněn v grafu č. 7. Otestujeme vhodnost lineárního, kvadratického a exponenciálního trendu, ačkoli už při pohledu na průběh časové řady

se lze domnívat, že přímka, parabola ani exponenciála nebude pro zachycení trendu nejvhodnější. Tyto křivky totiž nezaznamenají významný propad na začátku každého roku. Proto mezi tři zkoumané trendy zařadíme ještě trend konstantní, neboli nulový.

Graf 7 Časová řada nákupů máku modrého v letech 2009 - 2013



4.5.1 VOLBA VHODNÉHO TRENDU

Konstantní trend

Rovnici konstantního trendu zapíšeme ve tvaru

$$T = b_0, \quad t = 1, \dots, n$$

kde n je počet pozorovaných hodnot

Odhad parametru b_0 získáme jednoduše podle vztahu:

$$b_0 = \bar{y} = \sum_{t=1}^n \frac{y_t}{n} \quad (76)$$

Dosazením do vztahu získáme

$$b_0 = \bar{y} = 28\,909$$

Lineární trend

Rovnice lineárního trendu vypadá následovně: $T = b_0 + b_1 t$

Při výpočtech parametrů b_0 a b_1 vycházíme z následující tabulky č. 34. Pozorované měsíční hodnoty jsou za pět let, celkem tedy $n = 60$. Pro časovou proměnnou t stanovíme předpoklad $\sum t = 0$, potom pro šedesát pozorování platí $t = -29,5; -28,5, -27,5, \dots, 27,5; 28,5; 29,5$.

Tab. 34 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1

ΣY	Σt	Σt^2	$\Sigma Y \cdot t$	n
1734542	0,0	17995	4246439	60

Po dosazení hodnot z tabulky do výrazů (60) a (61) získáváme:

$$b_0 = \frac{1734542}{60} = 28909$$

$$b_1 = \frac{4246439}{17995} = 236$$

Dostáváme lineární předpis ve tvaru $T = 28\,909 + 236t$. Dosazováním hodnot časové proměnné t (-29,5; ..., 29,5) do předpisu pak získáme očekávané hodnoty pro jednotlivá období. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v příloze v tabulce.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 28\,909 + 236 * (-29,5) = 21948$$

$$\text{únor 2009: } T = 28\,909 + 236 * (-28,5) = 22184$$

Vyrovnané hodnoty (tzv. rezidua) získáme jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Vypočtené výsledky reziduí jsou uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y' = 5039 - 21948 = -16\,909$$

Kvadratický trend (parabola)

Rovnice kvadratického trendu má podobu:

$$T = b_0 + b_1t + b_2t^2$$

Při výpočtech parametrů b_0 , b_1 , a b_2 vycházíme z tabulky č. 35

Tab. 35 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2

Σy	Σt	Σt^2	Σt^4	Σyt	Σyt^2
1734542	0	17995	9711001,75	4246439	443019508

Dosazením hodnot z tabulky do výše uvedených vzorců (62), (63) a (64) vypočítáme:

$$b_0 = 34276$$

$$b_1 = 236$$

$$b_2 = -17,895$$

Vypočítané hodnoty parametrů dosadíme do rovnice paraboly a získáme předpis ve tvaru $T = 34276 + 236t - 17,895t^2$. Obdobně jako u lineárního trendu získáme dosazováním hodnot t a t^2 do předpisu funkce očekávané hodnoty, které jsou uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 34276 + 236 * (-29,5) - 17,895 * (-29,5)^2 = 11\,742$$

$$\text{únor 2009: } T = 34276 + 236 * (-28,5) - 17,895 * (-28,5)^2 = 13\,015$$

Hodnoty reziduí vypočítáme jako rozdíl pozorovaných hodnot a hodnot očekávaných. Všechny výsledky jsou opět uvedeny v tabulkách v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y' = 5039 - 11742 = -6703.$$

Exponenciální trend

Odhad průběhu exponenciálního trendové funkce lze zapsat rovnicí ve tvaru:

$$T_t = b_0 b_1^t$$

Při výpočtu koeficientů vycházíme z následující tabulky č. 36.

Tab. 36 Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'

Σy	$\Sigma y = \ln y$	Σt	Σt^2	$\Sigma t * \ln y$	n
4394699	608	0	17995	268,3	60

Hodnoty z tabulky dosadíme do vzorců (65) a (66) a vypočítáme b_0' a b_1'

$$b_0' = \frac{608}{60} = 10,13$$

$$b_1' = \frac{268,3}{17995} = 0,0149$$

A potom s pomocí substituce dostaneme parametry b_0 a b_1

$$b_0 = e^{b_0'} = e^{10,13} = \mathbf{25\ 231}$$

$$b_1 = e^{b_1'} = e^{0,0149} = \mathbf{1,015}$$

Tímto jsme získali předpis pro exponenciální trendovou funkci v podobě $T = 5\ 231 * 1,015^t$

Stejným způsobem jako u lineárního a parabolického trendu spočítáme dosazením do předpisu exponenciální trendové funkce očekávané hodnoty a následně hodnoty očištěné od trendu jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky výpočtů očekávaných hodnot i reziduí jsou uvedeny v příloze.

TESTOVÁNÍ PARAMETRŮ

Nyní pomocí *t-testu* ověříme, zda jsou parametry b_0 , b_1 a b_2 významné a stanovíme:

H₀: parametr není statisticky významný

H₁: parametr je statisticky významný

α : 5 %

Využijeme program Gretl a postupně získáme p-hodnoty pro jednotlivé parametry lineárního, kvadratického a exponenciálního⁸ modelu – viz následující obrázky.

⁸ U exponenciálního modelu testujeme parametry b_0' a b_1'

Lineární model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	28909,0	1635,04	17,68	4,95e-025 ***
t	235,979	94,4121	2,499	0,0153 **

Model s parabolou				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	34276,0	2283,44	15,01	1,84e-021 ***
t	235,979	87,8817	2,685	0,0095 ***
sq_t	-17,8949	5,67589	-3,153	0,0026 ***

Exponenciální model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	10,1358	0,0672772	150,7	6,35e-077 ***
t	0,0149118	0,00388479	3,839	0,0003 ***

Obr. 17 Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl

Platí: je-li $p\text{-hodnota} < \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li $p\text{-hodnota} > \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

U všech zkoumaných parametrů dosahuje p -hodnota nižších hodnot než je stanovená hladina významnosti α . Na základě toho lze konstatovat, že parametry b_0 , b_1 a b_2 jsou ve všech testovaných modelech statisticky významné. Významnost se nám také potvrdila hvězdičkami v posledním sloupci tabulky.

TESTOVÁNÍ MODELU

Pro testování vhodnosti celého modelu využijeme opět koeficienty determinace a reziduální testy. Vzorce pro výpočty byly uvedeny výše, proto je zde znovu uvádět nebudeme a pouze shrneme výsledky.

Tab. 37 Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely

	přímka	parabola	exponenciála
R2	0,09724	0,23129	0,2024
M.E.	0	0	2828,65
M.S.E.	155054178	132029863	176635471
M.A.E.	10671	9931	10407
M.P.E.	-31,4278	-21,7485	-14,1379
M.A.P.E.	55,549	44,343	44,729

F-test

Vhodnost celkového modelu ověříme F-testem. Obdobně jako u testování významnosti jednotlivých parametrů vycházíme z nulové a alternativní hypotézy a volíme hladinu významnosti α .

H_0 : model není statisticky průkazný

H_1 : model je statisticky průkazný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl provedeme analýzu rozptylu (tzv. ANOVA) a z ní získáme hodnotu F-statistiky a odpovídající p-hodnotu. Analýzy rozptylu pro jednotlivé modely jsou uvedeny na následujících obrázcích.

Lineární trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	1,00207e+009	1	1,00207e+009
Reziduum	9,30325e+009	58	1,60401e+008
Úplné	1,03053e+010	59	1,74666e+008
R ² = 1,00207e+009 / 1,03053e+010 = 0,097238			
F(1, 58) = 1,00207e+009 / 1,60401e+008 = 6,24728 [p-hodnota 0,0153]			

Kvadratický trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	2,38353e+009	2	1,19176e+009
Reziduum	7,92179e+009	57	1,38979e+008
Úplné	1,03053e+010	59	1,74666e+008
R ² = 2,38353e+009 / 1,03053e+010 = 0,231291			
F(2, 57) = 1,19176e+009 / 1,38979e+008 = 8,57515 [p-hodnota 0,0006]			

Exponenciální trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	4,0014	1	4,0014
Reziduum	15,7512	58	0,271573
Úplné	19,7526	59	0,33479
R ² = 4,0014 / 19,7526 = 0,202576			
F(1, 58) = 4,0014 / 0,271573 = 14,7342 [p-hodnota 0,0003]			

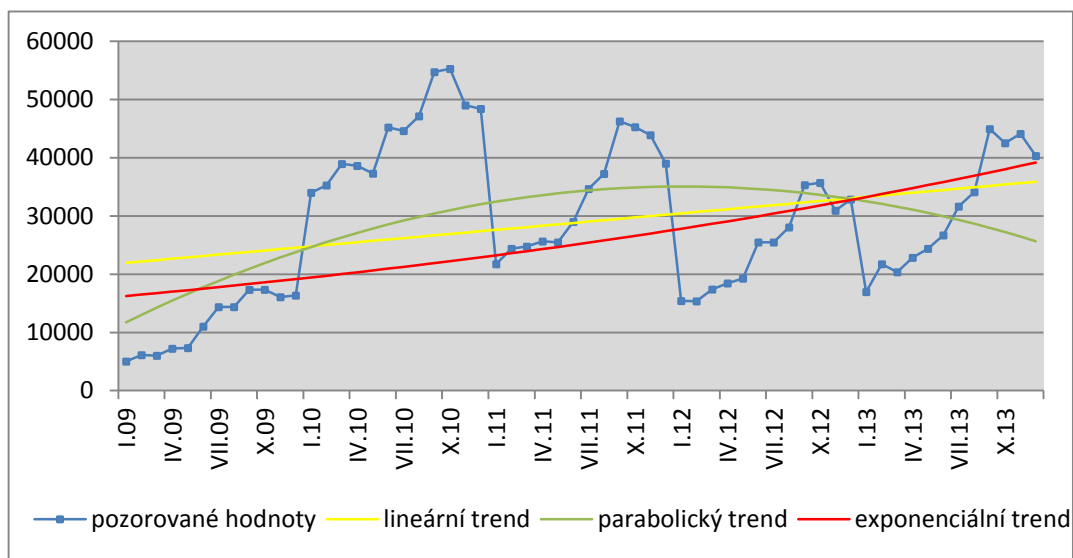
Obr. 18 Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl

Dále platí: je-li p-hodnota $< \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li p-hodnota $> \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

P-hodnota pro F-test nabývá u všech modelů hodnoty menší než je zvolená hladina významnosti 5 %. Na základě toho zamítáme nulovou hypotézu a konstatujeme, že všechny modely jsou statisticky průkazné.

Graf 8: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro mák modrý



Obr. 19 Grafické srovnání trendů

SOUHRN VÝSLEDKŮ

Provedením t-testu jsme dokázali, že parametry všech tří modelů jsou statisticky významné a tedy žádný z nich nemůžeme vynechat. F- testem jsme ověřili, že lineární, kvadratický i exponenciální model je statisticky průkazný. Pokud se však zaměříme na koeficient determinace, vidíme, že je jeho hodnota kolem 20 % u paraboly a exponenciály, u přímky dokonce jenom necelých 10 %. Také z grafu č. 8, který znázorňuje jednotlivé trendové křivky, je patrné, že žádný typ trendu časovou řadu nevystihuje dobře. Na základě těchto skutečností budeme v dalších výpočtech využívat model s nulovým trendem.

4.5.2 TESTOVÁNÍ SEZÓNNOSTI

Další komponentou časové řady, kterou budeme zkoumat, je sezónní složka. Pomocí *F statistiky* ověříme, zda se v časové řadě sezónnost vyskytuje či nikoli. V prvním kroku opět zformulujeme dvojici hypotéz, přičemž:

- nulová hypotéza H_0 : v časové řadě se nevyskytuje sezónní složka,
- alternativní hypotéza H_1 : v časové řadě se vyskytuje sezónní složka.

Tab. 38 Průměrné hodnoty jednotlivých čtvrtletí

	1Q	2Q	3Q	4Q	průměr
2009	5 729	8 539	15 373	16 599	11 560
2010	36 068	40 362	48 817	50 888	44 034
2011	23 612	26 709	39 369	42 722	33 103

2012	16 049	21 061	29 613	33 165	24 972
2013	19 675	24 642	36 891	42 298	30 877
průměr	20 227	24 263	34 013	37 134	28 909

Tab. 39 Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky

	1Q	2Q	3Q	4Q		$\Sigma(\tilde{y}_t - \bar{y})^2$
2009	537 313 945	414 938 258	183 215 174	151 545 127		300 988 958
2010	51 246 031	131 170 445	396 327 137	483 089 628		228 757 054
2011	28 055 031	4 841 613	109 403 929	190 798 048		17 588 657
2012	165 389 031	61 591 627	496 038	18 113 252		15 500 231
2013	85 267 372	18 204 729	63 706 471	179 264 428		3 870 925
						$\Sigma 566 705 826$
$\Sigma(\tilde{y}_j - \bar{y})^2$	75 385 806	21 589 343	26 046 393	67 656 657	$\Sigma 190 678 198$	$\Sigma 3 273 977 318$

Hodnoty součtů z tabulky č. 39 jsme dosadili do vztahů (73) a (74) a vypočítali jsme rozptyl a F-statistiku:

$$\sigma^2 = \frac{3\,273\,977\,318 - 4 \times 566\,705\,826 - 5 \times 190\,678\,198}{12} = 4\,480\,252$$

$$F = \frac{5 \times 190\,678\,198}{3 \times 4\,480\,252} = 70,93$$

Hladinu významnosti α zvolíme 5%. Ze statistických tabulek zjistíme, že hodnota $F_{1-\alpha}$ pro (4-1) a (4-1) * (5-1) stupňů volnosti odpovídá hodnotě 3,49. Potom platí nerovnost $F > F_{0,95}(3; 12)$, tím pádem zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme hypotézu alternativní, tedy že se v časové řadě vyskytuje určitá sezónnost.

Existenci sezónní složky v časové řadě jsme již ověřili a nyní přistoupíme k její analýze. Vzhledem k charakteru časové řady využijeme model s proporcionální sezónností a zavedeme proměnnou $m = 1, 2, \dots, i$ pro označení časových intervalů (roků) a tyto časové intervaly ještě dále rozčleníme na dílčí časová období – tzv. sezóny (měsíce), které označujeme $r = 1, 2, \dots, j$.

Vypočtené měsíční sezónní indexy jsou v tabulce. Například sezónní index pro leden jsme získali následovně:

1. Vypočetli jsme sezónní index pro každý měsíc během všech pěti let jako podíl pozorované a očekávané hodnoty v příslušném měsíci a roce. Přitom očekávaná hodnota je stále stejná a rovná se aritmetickému průměru pozorovaných hodnot časové řady.

$$(1 + \gamma_r) = \frac{y_{mr}}{T_{mr}}; m = 1, \dots, 5; r = 1, \dots, 12, \text{ čímž jsme získali celkem 60 různých indexů – viz tabulka č. 40.}$$

Tab. 40 Sezónní indexy

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	0,1743	1,1753	0,7519	0,5341	0,5857
únor	0,2120	1,2201	0,8428	0,5306	0,7522
březen	0,2082	1,3475	0,8556	0,6007	0,7039
duben	0,2508	1,3359	0,8873	0,6377	0,7900
květen	0,2535	1,2890	0,8811	0,6662	0,8439
červen	0,3818	1,5635	1,0033	0,8817	0,9233
červenec	0,4971	1,5434	1,1977	0,8818	1,0943
srpen	0,4980	1,6294	1,2871	0,9703	1,1799
září	0,6002	1,8931	1,6006	1,2210	1,5541
říjen	0,6003	1,9119	1,5658	1,2357	1,4697
listopad	0,5566	1,6956	1,5189	1,0698	1,5258
prosinec	0,5656	1,6734	1,3488	1,1362	1,3939

2. Zprůměrovali jsme lednové hodnoty indexů

$$\frac{0,1743 + 1,1753 + 0,7519 + 0,5341 + 0,5857}{5} = 0,6443$$

čímž jsme získali průměrnou hodnotu lednového sezónního indexu.

Obdobným způsobem bychom vypočítali hodnoty pro všechny ostatní měsíce a dospěli bychom k výsledkům, které jsou uvedeny v tabulce č. 41.

Tab. 41 Průměrné měsíční indexy sezónnosti

Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index
leden	0,6443	květen	0,7867	září	1,3738
únor	0,7115	červen	0,9507	říjen	1,3567
březen	0,7432	červenec	1,0429	listopad	1,2733

Duben	0,7803	srpen	1,1129	prosinec	1,2236
--------------	--------	--------------	--------	-----------------	--------

Nejnižší hodnoty sezónní index dosahuje v lednu. To je způsobeno poptávkou, která pravidelně na začátku nového roku rapidně klesá. Sezóna dosahuje vrcholu opět v září, kdy je index nejvyšší a dosahuje 137%. Oproti normálním hodnotám tedy v září dochází k nárůstu nakupovaného množství o 37%.

4.5.3 PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014

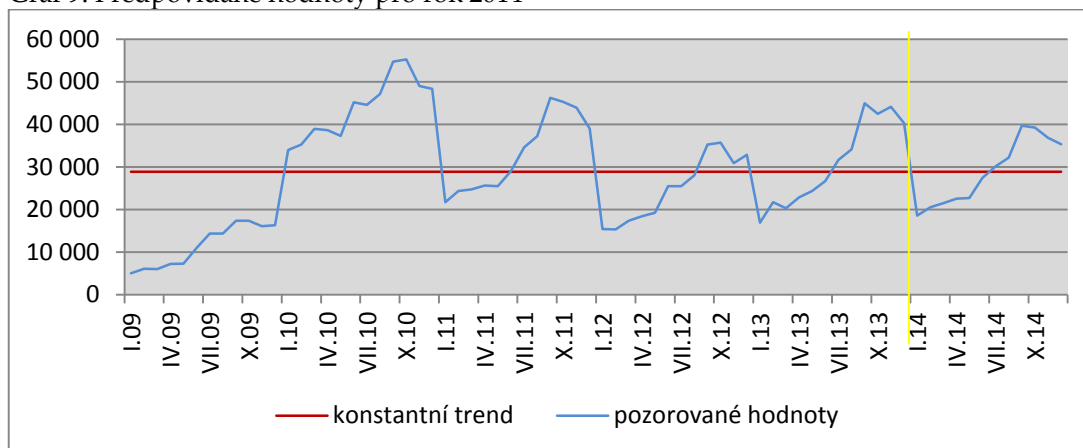
Výpočet budoucích hodnot se při využití modelu s nulovým trendem značně zjednodušil. Očekávaná hodnota v jednotlivých měsících roku 2014 je stále stejná a rovná aritmetickému průměru hodnot časové řady. Hodnoty ovlivněné sezónností získáme vynásobením očekávaných hodnot příslušným sezónním indexem pro daný měsíc. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 42 Výpočet budoucích hodnot pro rok 2014

měsíc	t	T T = 28909	I	T*I
Leden 2014	30,5	28909	0,6443	18626
Únor 2014	31,5	28909	0,7115	20569
Březen 2014	32,5	28909	0,7432	21485
Duben 2014	33,5	28909	0,7803	22558
Květen 2014	34,5	28909	0,7867	22743
Červen 2014	35,5	28909	0,9507	27484
Červenec 2014	36,5	28909	1,0429	30149
Srpen 2014	37,5	28909	1,1129	32173
Září 2014	38,5	28909	1,3738	39715
Říjen 2014	39,5	28909	1,3567	39221
Listopad 2014	40,5	28909	1,2733	36810
Prosinec 2014	41,5	28909	1,2236	35373

Výsledky jsme znázornily v grafu níže, kde modrá křivka představuje nákupy od ledna 2009 do prosince 2014, červená křivka je konstantní trendová přímka a žlutou přímkou jsou odděleny pozorované hodnoty v letech 2009 - 2013 a předpovídané hodnoty pro rok 2014.

Graf 9: Předpovídané hodnoty pro rok 2014



4.5.4 APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB

Model se stochastickou spojitou poptávkou

Využijeme model se stochastickou spojitou poptávkou a provedeme optimalizaci pro data z roku 2013. Jelikož je poptávka během roku proměnlivá, rozdělili jsme pozorované hodnoty opět do období po třech měsících a budeme provádět optimalizace pro jednotlivá čtvrtletí.

Tab. 43 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích

	2009	2010	2011	2012	2013
1. Q	13750	86562	56670	38517	50 120
2. Q	20494	96869	64101	50546	63 012
3. Q	36896	117161	94485	71072	97 367
4. Q	39837	122132	102533	79596	100 080

Čtvrtletní střední hodnotu spočítáme jako aritmetický průměr jednotlivých čtvrtletí. V úvahu přitom bereme čtvrtletí od roku 2009 do roku 2013. Konkrétní hodnoty jsme od společnosti získali pouze pro rok 2013. Pro stanovení poptávky v letech 2009 až 2012 vycházíme ze skutečnosti, že společnost prodala z celkového objemu čtvrtletně nakoupených zásob průměrně 80 % máku modrého.

$$\mu = 70\,090 \frac{\text{kg}}{\text{čtvrtletí}}$$

Směrodatnou odchylku čtvrtletní poptávky získáme jako odmocninu z rozptylu
Rozptyl:

$$\sigma^2 = 999\,458\,737$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \mathbf{31\,614\,kg}$$

Při vyčíslení nákladů postupujeme stejně jako u předchozích surovin. Tedy:

$$VN = 16\,000 \times 75 = 1\,200\,000 \text{ Kč/měsíc} \rightarrow 3\,600\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

$$FN = 3 \times 260\,000 = 780\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

Čtvrtletní skladovací náklady = $VN + FN = 4\,380\,000$ Kč. Za první čtvrtletí byly nakoupeny zásoby ve výši 59 025 kg. Skladovací náklady na 1 kg potom odpovídají hodnotě $4\,380\,000/59\,025 = 74,2$ Kč/kg. Náklady na pořízení jedné dodávky se pohybují v rozmezí od 1 000 do 5 000 Kč v závislosti na tom, odkud je zboží dováženo. Průměrná cena na pořízení jedné dodávky máku se pohybuje okolo 3 000 Kč.

Dodávkový cyklus t se v jednotlivých obdobích mění podle poptávky. Zatímco v prvním čtvrtletí stačí objednávat zásoby průměrně jednou za dvacet dní, ke konci roku je délka dodávkového cyklu pouze 5 dní. Průměrná dodací lhůta jsou 4 dny. Velikost jedné dodávky spočítáme z objemu nakupovaných zásob pro jednotlivá čtvrtletí. Za první čtvrtletí bylo nakoupeno 59 025 kg máku. Počítáme-li s délkou dodávkového cyklu 20 dní, dostaneme velikost jedné dodávky přibližně 13 117 kg. Ve druhém čtvrtletí potom 12 321 kg, ve třetím 8 513 a v posledním čtvrtletí 6 896 kg.

Tab. 44 Výpočty pro rok 2013.

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c_1 [Kč]	c_2 [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	59 025	13 117	74,2	3 000	20	4
2. Q	73 927	12 321	59	3 000	15	4
3. Q	110 672	8 513	39,6	3 000	7	4
4. Q	126 894	6 896	34,5	3 000	5	4

Výše vypočítanou čtvrtletní střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku ještě přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d podle následujících vztahů:

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 70\,090 = \mathbf{768\,kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 999\,458\,737 = \mathbf{10\,952\,973\,kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{3\,310\,kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásoby dle vztahu $w = u_\gamma \sigma_d = 1,645 * 3\,310 = \mathbf{5\,445}$. Pokud by společnost chtěla z 95% uspokojit požadavky svých zákazníků, měla by držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 5 445 kg máku. Bod znovuobjednávky vypočítáme jako součet střední hodnoty (přepočítané na dobu pořizovací lhůty) a pojistné zásoby: $r^* = \mu_d + w = 768 + 5\,445 = \mathbf{6\,213\,kg}$.

Tab. 45 Výsledky pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	902123	700067	418492	350347
q*	2381	2670	3259	3491
N*	176647	157518	129048	120452
t*	5	4	3	4
r*	6213	6213	6213	6213
D*	21	24	30	29

4.5.5 OPTIMALIZACE PRO PŘEDPOVÍDANÉ HODNOTY ROKU 2014

Pro optimalizaci využijeme hodnoty z tabulky č. 42, které přepočítáme na hodnoty čtvrtletní. Stejně jako pro roky 2009 – 2012 předpokládáme, že společnost prodá také v roce 2014 průměrně 80 % z nakoupených zásob máku

Tab. 46 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích od roku 2009 - 2014

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1Q	13750	86562	56670	38517	50 120	48544
2Q	20494	96869	64101	50546	63 012	58228
3Q	36896	117161	94485	71072	97 367	81630
4Q	39837	122132	102533	79596	100 080	89123

Při výpočtu střední hodnoty a rozptylu nyní vycházíme z tabulky č. 46 a dostaneme: Střední hodnotu

$$\mu = 69\,972 \frac{\text{kg}}{\text{čtvrtletí}}$$

Rozptyl

$$\sigma^2 = 873\,464\,221$$

A směrodatnou odchylku

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 29\,554$$

Náklady na pořízení jedné dodávky, dodávkový cyklus a délka dodací lhůty zůstávají nezměněny. Pro rok 2014 přepočítáme pouze velikost dodávky a skladovací jednotkové náklady. Získáme tak výsledky uvedené v tabulce č. 47.

Tab. 47 Výpočty pro jednotlivý čtvrtletí roku 2014

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c ₁ [Kč]	c ₂ [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	60680	13 484	72,2	3 000	20	4
2. Q	72785	12 131	60,2	3 000	15	4
3. Q	102037	7 849	43	3 000	7	4
4. Q	111404	6 055	39,3	3 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku opět přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d .

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 69\,972 = \mathbf{767\ kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 873\,464\,221 = \mathbf{9\,572\,211\ kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{3\,094\ kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95%. Už výše jsme zjistili, že $u_{0,95} = 1,645$. Potom velikost pojistné zásoby odpovídá: $w = 1,645 * 3\,094 = \mathbf{5090}$. Aby tedy firma dosáhla úrovně obsluhy 95%, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 5090 kg máku. Bod znovuobjednávky vypočítáme následovně: $r^* = \mu_d + w = 767 + 5090 = \mathbf{5\,857\ kg}$.

Tab. 48 Výsledky pro rok 2014

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	865071	685961	418824	363174
q*	2411	2641	3125	3268
N*	174103	158978	134361	128450
t*	5	5	4	4
r*	5857	5857	5857	5857
D*	20	22	26	27

4.5.6 DÍLČÍ ZÁVĚRY PRO MÁK MODRÝ

V následující kapitole jsou shrnuty výsledky výpočtů a testování, které jsme pro časovou řadu „mák modrý“ získali. Přestože podle t-testu vyšli jednotlivé parametry všech zkoumaných trendů statisticky významné a podle F-testu jsou modely statisticky průkazné, ani jeden z trendů nezvolíme. Důvodem je příliš nízká hodnota koeficientu determinace. Proto volíme model s nulovým trendem. Pomocí F-statistiky jsme ověřili, že časová řada obsahuje sezónní složku a jedná se opět o proporcionální sezónnost. Na

základě vypočítaných sezónních indexů a zvoleného nulového trendu jsme vypočítali očekávané nákupy pro jednotlivé měsíce v roce 2014. Při optimalizaci jsme na nákupy zásob roku 2013 aplikovali model se stochastickou spojitou poptávkou. V tabulce níže, jsou pro srovnání v prvním sloupci uvedeny skutečné hodnoty jednotlivých parametrů a v druhém hodnoty optimální.

Tab. 49 Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013

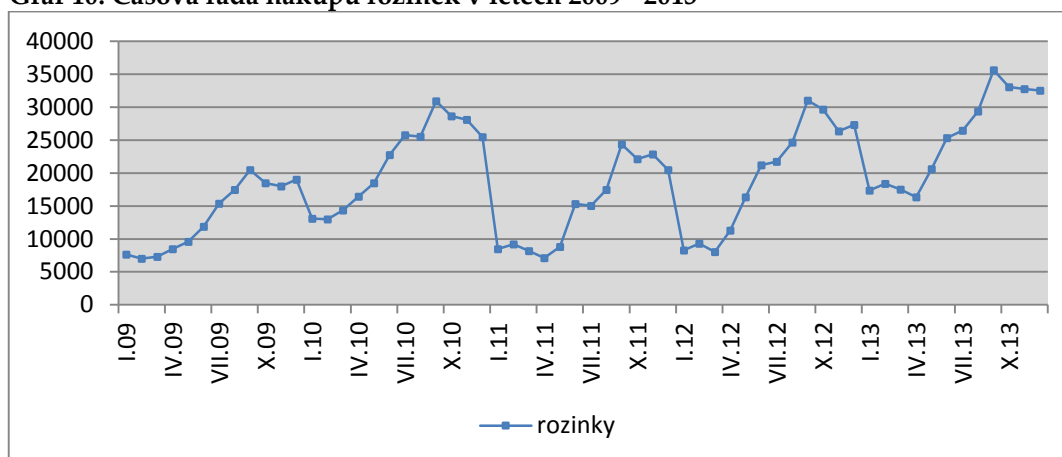
		Skutečné hodnoty	Optimální hodnoty
1. Q	N – náklady	902 123	176 647
	q – velikost dodávky	13 117	2 381
	t – délka dodávkového cyklu	20	5
	D – počet dodávek	5	21
2. Q	N – náklady	700067	157518
	q – velikost dodávky	12 321	2670
	t – délka dodávkového cyklu	15	4
	D – počet dodávek	6	24
3. Q	N – náklady	418492	129048
	q – velikost dodávky	8 513	3259
	t – délka dodávkového cyklu	7	3
	D – počet dodávek	13	30
4. Q	N – náklady	350347	120452
	q – velikost dodávky	6 896	3491
	t – délka dodávkového cyklu	5	4
	D – počet dodávek	19	29

Způsob zásobování u máku modrého je zvláště v prvním čtvrtletí vysoce nákladný. Skutečné náklady jsou mnohonásobně vyšší než optimální. Opět by bylo vhodné snížit velikost jedné dodávky a zvýšit počet dodávek za čtvrtletí. Obdobná doporučení bychom zvolily také pro zbývající tři kvartály.

4.6 ROZINKY

Měsíční nákupy rozinek od roku 2009 do roku 2014 jsou uvedeny v příloze v tabulce. Časový průběh těchto nákupů je znázorněn v grafu č. 10 modrou křivkou. Nejprve opět vybereme vhodnou trendovou funkci, přičemž uvažujeme trend lineární, kvadratický a exponenciální. Pro testování významnosti parametrů jednotlivých modelů využijeme t-test. Pro hodnocení modelu jako celku potom vypočítáme koeficient determinace, střední chyby odhadů a také p-hodnoty F-testu.

Graf 10: Časová řada nákupů rozinek v letech 2009 - 2013



4.6.1 VOLBA VHODNÉHO TRENDU

Konstantní trend

Rovnici konstantního trendu zapíšeme ve tvaru:

$$T = b_0, \quad t = 1, \dots, n$$

kde n je počet pozorovaných hodnot

Odhad parametru b_0 získáme z rovnice (75) jako aritmetický průměr

$$b_0 = \bar{y} = 19046$$

Lineární trend

Rovnice lineárního trendu vypadá následovně:

$$T = b_0 + b_1 t$$

Při výpočtech parametrů b_0 a b_1 vycházíme z tabulky č. 50. Pozorované měsíční hodnoty jsou za pět let, celkem tedy $n=60$. Pro časovou proměnnou t stanovíme předpoklad $\Sigma t = 0$, potom pro šedesát pozorování platí $t = -29,5; -28,5; -27,5; \dots; 27,5; 28,5; 29,5$.

Tab. 50 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1

ΣY	Σt	Σt^2	$\Sigma Y \cdot t$	n
1142776	0,0	17995	4386496	60

Po dosazení hodnot z tabulky do výrazů výše získáváme:

$$b_0 = \frac{1142776}{60} = 19\,046$$

$$b_1 = \frac{4386496}{17995} = 243,76$$

A následně dostáváme lineární předpis ve tvaru $T = 19\,046 + 244 t$. Očekávané hodnoty vypočítáme postupným dosazováním hodnot časové proměnné t ($-29,5; \dots; 29,5$) do předpisu funkce. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulce v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 19\,046 + 244 * (-29,5) = 11\,855$$

$$\text{únor 2009: } T = 19\,046 + 244 * (-28,5) = 12\,099$$

Vyrovnané hodnoty získáme jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky jsou opět uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y' = 7\,633 - 11\,855 = -4\,222 \text{ apod.}$$

Kvadratický trend (parabola)

Rovnice kvadratického trendu má podobu:

$$T = b_0 + b_1t + b_2t^2$$

Při výpočtech parametrů b_0 , b_1 , a b_2 vycházíme z tabulky č. 51.

Tab. 51 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2

Σy	Σt	Σt^2	Σt^4	Σyt	Σyt^2
1734542	0	17995	9711001,75	4386496	358520968

Dosazením hodnot z tabulky do výše uvedených vzorců získáme:

$$b_0 = 17\,949$$

$$b_1 = 244$$

$$b_2 = 3,659$$

Vypočítané hodnoty parametrů dosadíme do rovnice paraboly a získáme předpis ve tvaru $T = 17\,949 + 244t + 3,659t^2$. Jako u lineárního trendu získáme dosazováním hodnot t a t^2 do předpisu funkce očekávané hodnoty, které jsou uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 17\,949 + 244 * (-29,5) + 3,659 * (-29,5)^2 = 13\,942$$

$$\text{únor 2009: } T = 17\,949 + 244 * (-28,5) + 3,659 * (-28,5)^2 = 13\,973$$

Hodnoty reziduí vypočítáme jako rozdíl pozorovaných hodnot a hodnot očekávaných. Všechny výsledky jsou opět uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y' = 7633 - 13942 = -6\,309$$

Exponenciální trend

Průběhu exponenciálního trendové funkce lze zapsat rovnicí ve tvaru:

$$T_t = b_0 b_1^t$$

Při výpočtu koeficientů vycházíme z následující tabulky č. 52.

Tab. 52 Výchozí hodnoty pro výpočet b_0 a b_1

Σy	$\Sigma y = \ln y$	Σt	Σt^2	$\Sigma t * \ln y$	n
4394699	585,2	0	17995	244,7	60

Dosazením výsledků z tabulky do vzorců (65) a (66) dostaneme b_0 a b_1 :

$$b_0' = \frac{585,5}{60} = 9,754$$

$$b_1' = \frac{244,7}{17995} = 0,0136$$

A potom s pomocí substituce vypočteme parametry b_0 a b_1

$$b_0 = e^{b_0'} = e^{9,754} = \mathbf{17\ 222}$$

$$b_1 = e^{b_1'} = e^{0,0136} = \mathbf{1,0137}$$

Tímto jsme získali předpis pro exponenciální trendovou funkci v podobě $T = 17\ 222 * 1,0137^t$.

Stejným způsobem jako u lineárního a parabolického trendu spočítáme dosazením do předpisu exponenciální trendové funkce očekávané hodnoty a následně hodnoty očištěné od trendu jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky výpočtů reziduí i očekávaných hodnot jsou uvedeny v tabulkách v příloze.

TESTOVÁNÍ PARAMETRŮ

Nyní pomocí *t-testu* ověříme, zda jsou parametry b_0 , b_1 a b_2 významné a stanovíme:

H₀: parametr není statisticky významný

H₁: parametr je statisticky významný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl, získáme postupně *p*-hodnoty pro jednotlivé parametry lineárního, kvadratického a exponenciálního⁹ modelu – viz následující obrázky.

⁹ U exponenciálního modelu testujeme parametry b_0' a b_1'

Lineární model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	19046,3	882,433	21,58	2,11e-029 ***
t	243,762	50,9544	4,784	1,22e-05 ***

Model s parabolou				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	17949,0	1321,21	13,59	1,60e-019 ***
t	243,762	50,8488	4,794	1,21e-05 ***
sq_t	3,65864	3,28410	1,114	0,2699

Exponenciální model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	9,75397	0,0532882	183,0	8,10e-082 ***
t	0,0135977	0,00307702	4,419	4,40e-05 ***

Obr. 20 Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl

Platí: je-li $p\text{-hodnota} < \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li $p\text{-hodnota} > \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

U všech zkoumaných parametrů dosahuje p -hodnota nižších hodnot než je stanovená hladina významnosti α . Na základě toho lze konstatovat, že parametry b_0 , b_1 a b_2 jsou ve všech testovaných modelech statisticky významné. Významnost si můžeme také ověřit pomocí hvězdiček v posledním sloupci tabulky.

TESTOVÁNÍ MODELU

Pro testování vhodnosti celého modelu využijeme opět koeficienty determinace a reziduální testy. Vzorce pro výpočty byly uvedeny výše, proto je zde znovu uvádět nebudeme a pouze shrneme výsledky.

Tab. 53 Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely

	přímka	parabola	exponenciála
R^2	0,2829	0,2982	0,2675
M.E.	0	0	1342,3
M.S.E.	45163869	44201438	46135203
M.A.E.	5662	5601	5763
M.P.E.	-17,713	-17,7289	-9,0838
M.A.P.E.	39,555	39,4677	37,0623

F-test

F-testem ještě ověříme vhodnost celého modelu, přičemž vycházíme z nulové a alternativní hypotézy a volíme hladinu významnosti α .

H_0 : model není statisticky průkazný

H_1 : model je statisticky průkazný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl provedeme analýzu rozptylu (tzv. ANOVA) a z ní získáme hodnotu F-statistiky a odpovídající p-hodnotu.

Lineární trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	1,06926e+009	1	1,06926e+009
Reziduum	2,70983e+009	58	4,67212e+007
Úplné	3,77909e+009	59	6,40524e+007
R ² = 1,06926e+009 / 3,77909e+009 = 0,282941			
F(1, 58) = 1,06926e+009 / 4,67212e+007 = 22,886 [p-hodnota 1,22e-005]			

Kvadratický trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	1,12701e+009	2	5,63503e+008
Reziduum	2,65209e+009	57	4,65278e+007
Úplné	3,77909e+009	59	6,40524e+007
R ² = 1,12701e+009 / 3,77909e+009 = 0,298221			
F(2, 57) = 5,63503e+008 / 4,65278e+007 = 12,1111 [p-hodnota 4,14e-005]			

Exponenciální trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	3,32721	1	3,32721
Reziduum	9,88192	58	0,170378
Úplné	13,2091	59	0,223884
R ² = 3,32721 / 13,2091 = 0,251887			
F(1, 58) = 3,32721 / 0,170378 = 19,5284 [p-hodnota 4,4e-005]			

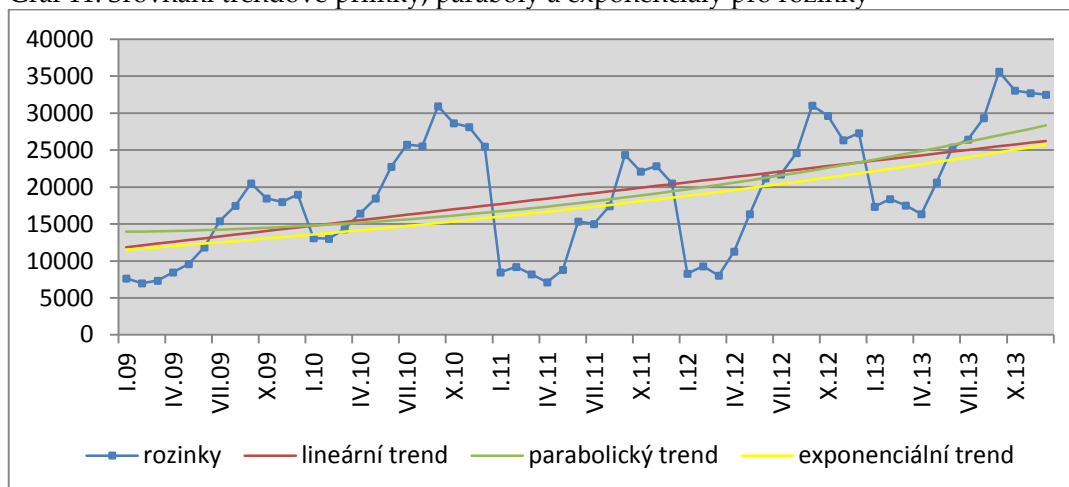
Obr. 21 Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl

Dále platí: je-li p-hodnota $< \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li p-hodnota $> \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

P-hodnoty pro F-test nabývají hodnot menších než je zvolená hladina významnosti 5 %. Na základě toho zamítáme nulovou hypotézu a konstatujeme, že modely jsou statisticky průkazné.

Graf 11: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro rozinky



SOUHRN VÝSLEDKŮ

Provedením t-testu jsme dokázali, že parametry všech tří modelů jsou statisticky významné. F- testem jsme ověřili, že lineární, kvadratický i exponenciální model je statisticky průkazný. Pokud se však zaměříme na koeficient determinace, vidíme, že jeho hodnota je pouhých 30 % u paraboly, u přímky 28 % a u exponenciály necelých 27 %. Také z grafu č. 11, který znázorňuje jednotlivé trendové křivky, je patrné, že žádný typ trendu časovou řadu nevystihuje dobře. Na základě těchto skutečností budeme v dalších výpočtech využívat model s nulovým trendem.

4.6.2 TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ

Další komponentou časové řady, kterou budeme zkoumat, je sezónní složka. Pomocí *F* statistiky ověříme, zda se v časové řadě sezónnost vyskytuje či nikoli. V prvním kroku opět zformulujeme dvojici hypotéz, přičemž:

- nulová hypotéza H_0 : v časové řadě se nevyskytuje sezónní složka,
- alternativní hypotéza H_1 : v časové řadě se vyskytuje sezónní složka.

Tab. 54 Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletích

	1Q	2Q	3Q	4Q	průměr
2009	7 315	9 961	17 771	18 481	13 382
2010	13 474	19 217	27 397	27 409	21 874
2011	8 623	10 427	18 942	21 809	14 950
2012	8 528	16 279	25 789	27 764	19 590
2013	17 750	20 771	30 461	32 757	25 435
průměr	11 138	15 331	24 072	25 644	19 046

Tab. 55 Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky

	1Q	2Q	3Q	4Q		$\Sigma(\bar{y}_i - \bar{y})^2$
2009	137 622 618	82 542 070	1 625 455	319 903		32 083 917
2010	31 046 441	29 036	69 734 747	69 935 309		7 997 490
2011	108 651 437	74 297 504	10 941	7 634 537		16 778 718
2012	110 633 934	7 655 920	45 464 453	75 998 874		295 737
2013	1 679 443	2 974 705	130 303 747	187 984 209		40 814 849
						$\Sigma 97 970 710$
$\Sigma(\bar{y}_j - \bar{y})^2$	62 539 627	13 803 702	25 258 666	43 530 085	$\Sigma 145 132 080$	$\Sigma 1 146 145 284$

Hodnoty součtů z tabulky č. 55 jsme dosadili do vztahů (73) a (74) a vypočítali jsme rozptyl a F-statistiku:

$$\sigma^2 = \frac{1\,146\,145\,284 - 4 \times 97\,970\,710 - 5 \times 145\,132\,080}{12} = 2\,383\,504$$

$$F = \frac{5 \times 145\,132\,080}{3 \times 2\,383\,504} = 101,48$$

Hladinu významnosti α zvolíme 5%. Ze statistických tabulek zjistíme, že hodnota $F_{1-\alpha}$ pro (4-1) a (4-1) * (5-1) stupňů volnosti odpovídá hodnotě 3,49. Potom platí nerovnost $F > F_{0,95}(3; 12)$, tím pádem zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme hypotézu alternativní, tedy že se v časové řadě vyskytuje určitá sezónnost.

Existenci sezónní složky v časové řadě jsme již ověřili a nyní přistoupíme k její analýze. Vzhledem k charakteru časové řady využijeme model s proporcionální sezónností a zavedeme proměnnou $m = 1, 2, \dots, i$ pro označení časových intervalů (roků) a tyto časové intervaly ještě dále rozčleníme na dílčí časová období – tzv. sezóny (měsíce), které označujeme $r = 1, 2, \dots, j$.

Vypočtené měsíční sezónní indexy jsou v tabulce. Například sezónní index pro leden jsme získali následovně:

1. Vypočetli jsme sezónní index pro každý měsíc během všech pěti let jako podíl pozorované a očekávané hodnoty v příslušném měsíci a roce

$$(1 + \gamma_r) = \frac{y_{mr}}{T_{mr}}; \quad m = 1, \dots, 5; \quad r = 1, \dots, 12, \text{ čímž jsme získali celkem 60 různých indexů – viz tabulka č. 56.}$$

Tab. 56 Sezónní indexy

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	0,4008	0,6877	0,4442	0,4344	0,9112
únor	0,3670	0,6822	0,4835	0,4883	0,9648
březen	0,3844	0,7524	0,4305	0,4206	0,9199
duben	0,4443	0,8638	0,3733	0,5924	0,8586
květen	0,5026	0,9693	0,4635	0,8585	1,0824
červen	0,6221	1,1937	0,8055	1,1132	1,3307
červenec	0,8075	1,3519	0,7880	1,1412	1,3873
srpen	0,9163	1,3396	0,9159	1,2927	1,5408
září	1,0754	1,6238	1,2796	1,6281	1,8699
říjen	0,9693	1,5040	1,1600	1,5561	1,7351
listopad	0,9438	1,4759	1,1996	1,3836	1,7188
prosinec	0,9978	1,3373	1,0756	1,4335	1,7057

2. Zprůměrovali jsme lednové hodnoty indexů

$$\frac{0,4008 + 0,6877 + 0,4442 + 0,4344 + 0,9112}{5} = 0,5757$$

čímž jsme získali průměrnou hodnotu lednového sezónního indexu. Obdobným způsobem bychom vypočítali hodnoty pro všechny ostatní měsíce a dospěli bychom k výsledkům, které jsou uvedeny v tabulce č. 57.

Tab. 57 Průměrné měsíční indexy sezónnosti

Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index
leden	0,5757	květen	0,7753	září	1,4954
únor	0,5972	červen	1,0130	říjen	1,3849
březen	0,5816	červenec	1,0952	listopad	1,3443
duben	0,6265	srpen	1,2011	prosinec	1,3100

Měsíční sezónní index je nejvyšší v září, kdy jsou nákupy rozinek o polovinu vyšší oproti normálním hodnotám. V lednu je nakupované množství téměř poloviční a index dosahuje necelých 60%.

4.6.3 PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014

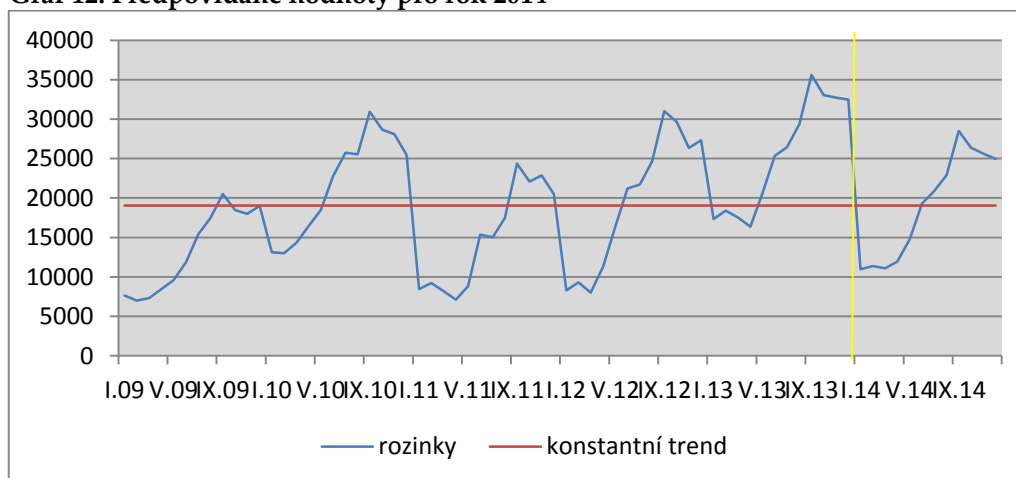
Výpočet budoucích hodnot se při využití modelu s nulovým trendem opět zjednodušil. Očekávaná hodnota v jednotlivých měsících roku 2014 je stále stejná a rovná se aritmetickému průměru hodnot časové řady. Hodnoty ovlivněné sezónností získáme vynásobením očekávaných hodnot příslušným sezónním indexem pro daný měsíc. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 58 Výpočet budoucích hodnot pro rok 2014

měsíc	t	T T = 19 046	I	T*I
Leden 2014	30,5	19046	0,5757	10965
Únor 2014	31,5	19046	0,5972	11374
Březen 2014	32,5	19046	0,5816	11077
Duben 2014	33,5	19046	0,6265	11932
Květen 2014	34,5	19046	0,7753	14766
Červen 2014	35,5	19046	1,0130	19294
Červenec 2014	36,5	19046	1,0952	20859
Srpen 2014	37,5	19046	1,2011	22876
Září 2014	38,5	19046	1,4954	28481
Říjen 2014	39,5	19046	1,3849	26377
Listopad 2014	40,5	19046	1,3443	25604
Prosinec 2014	41,5	19046	1,3100	24950

Výsledky jsme znázornily v grafu níže, kde modrá křivka představuje nákupy od ledna 2009 do prosince 2014, červená křivka je konstantní trendová přímka a žlutou přímkou jsou odděleny pozorované hodnoty v letech 2009 - 2013 a předpovídané hodnoty pro rok 2014.

Graf 12: Předpovídané hodnoty pro rok 2014



4.6.4 APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB

Model se stochastickou spojitou poptávkou

Opět využijeme model se stochastickou spojitou poptávkou a provedeme optimalizaci na základě dat z roku 2013. Jelikož je poptávka během roku proměnlivá, rozdělili jsme roční hodnoty do období po třech měsících a budeme provádět optimalizace pro jednotlivá čtvrtletí.

Tab. 59 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013
1. Q	17556	32338	20694	20467	50120
2. Q	23906	46120	25024	39070	63012
3. Q	42651	65753	45460	61894	97367
4. Q	44354	65782	52342	66634	100080

Čtvrtletní střední hodnotu spočítáme jako aritmetický průměr jednotlivých čtvrtletí. V úvahu bereme jednotlivá čtvrtletí od roku 2009 až 2013, aby výsledky měli větší vypovídací hodnotu. Konkrétní hodnoty jsme od společnosti získali pouze pro rok 2013. Pro stanovení poptávky v letech 2009 až 2012 vycházíme ze skutečnosti, že společnost POEX prodala z celkového objemu čtvrtletně nakoupených rozinek průměrně 80%.

$$\mu = 49\,031 \frac{\text{kg}}{\text{čtvrtletí}}$$

Směrodatnou odchylku čtvrtletní poptávky získáme jako odmocninu z rozptylu
Rozptyl:

$$\sigma^2 = 550750592$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 23\,468 \text{ kg}$$

Při vyčíslení nákladů postupujeme stejně jako u předchozích surovin.

$$VN = 16\,000 \times 75 = 1\,200\,000 \text{ Kč/měsíc} \rightarrow 3\,600\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

$$FN = 3 \times 260\,000 = 780\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

Čtvrtletní skladovací náklady = VN + FN = 4 380 000 Kč. Za první čtvrtletí roku 2013 byly nakoupeny zásoby ve výši 53 251 kg. Skladovací náklady na 1 kg potom odpovídají hodnotě 4 380 000 / 53 251 = 82 Kč/kg. Náklady na pořízení jedné dodávky se pohybují v rozmezí od 5 000 až do 13 000 Kč v závislosti na tom, odkud je zboží dováženo. Průměrná cena na pořízení jedné dodávky rozinek se pohybuje okolo 8 000 Kč.

Dodávkový cyklus t se v jednotlivých obdobích mění podle poptávky. Zatímco v prvním čtvrtletí stačí objednávat zásoby průměrně jednou za dvacet dní, ke konci roku je délka dodávkového cyklu pouze 5 dní. Průměrná dodací lhůta jsou 4 dny. Velikost jedné dodávky spočítáme z objemu nakupovaných zásob pro jednotlivá čtvrtletí. Za první

čtvrtletí bylo nakoupeno 53 251 kg rozinek. Počítáme-li s délkou dodávkového cyklu 20 dní, dostaneme velikost jedné dodávky přibližně 11 834 kg. Ve druhém čtvrtletí potom 10 386 kg, ve třetím 7 030 a v posledním čtvrtletí 5 341 kg.

Tab. 60 Výpočty pro rok 2013

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c ₁ [Kč]	c ₂ [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	53251	11 834	82	8 000	20	4
2. Q	62313	10 386	70,3	8 000	15	4
3. Q	91384	7 030	48	8 000	7	4
4. Q	98271	5 341	44,5	8 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku ještě přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d . K tomu využijeme vzorce

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 49\,031 = \mathbf{537\ kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 55\,075\,0592 = \mathbf{6\,035\,623\ kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{2\,457\ kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásoby dle vztahu $w = u_\gamma \sigma_d = 1,645 * 2\,457 = \mathbf{4\,041}$. Aby tedy firma dosáhla úrovně obsluhy 95%, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 4 041 kg rozinek. Bod znovuobjednávky vypočítáme následovně: $r^* = \mu_d + w = 537 + 4\,041 = \mathbf{4\,578\ kg}$.

Tab. 61 Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	850438	697686	473490	448566
q*	3093	3341	4043	4199
N*	253631	234841	194051	186842
t*	6	5	4	4
r*	4578	4578	4578	4578
D*	16	19	24	24

4.6.5 OPTIMALIZACE PRO PŘEDPOVÍDANÉ HODNOTY ROKU 2014

Pro optimalizaci využijeme hodnoty z tabulky č. 58, které přepočítáme na hodnoty čtvrtletní. Stejně jako pro roky 2009 – 2012, kdy jsme počítali rozptyl a střední hodnotu poptávky, předpokládáme, že společnost prodá v roce 2014 přibližně 80% z nakoupených zásob.

Tab. 62 Poptávka v jednotlivých čtvrtletí v letech 2009 – 2014

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1. Q	17556	32338	20694	20467	50120	26733
2. Q	23906	46120	25024	39070	63012	36794
3. Q	42651	65753	45460	61894	97367	57773
4. Q	44354	65782	52342	66634	100080	61544

Při výpočtu čtvrtletní střední hodnoty a rozptylu nyní vycházíme z tabulky č. 62 a dostaneme:

Střední hodnotu

$$\mu = 48\,478 \frac{\text{kg}}{\text{čtvrtletí}}$$

Rozptyl

$$\sigma^2 = 492\,912\,011$$

A směrodatnou odchylku

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 22\,202$$

Náklady na pořízení jedné dodávky, dodávkový cyklus a délka dodací lhůty zůstávají nezměněny. Pro rok 2014 přepočítáme pouze velikost dodávky a skladovací jednotkové náklady. Dostaneme výsledky uvedené v tabulce č. 63

Tab. 63 Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c ₁ [Kč]	c ₂ [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	33416	55 209	131	8 000	20	4
2. Q	45992	43 775	95	8 000	15	4
3. Q	72217	22 967	60,6	8 000	7	4
4. Q	76931	16 895	57	8 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku opět přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d .

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 48\,478 = \mathbf{531\,kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 492\,912\,011 = \mathbf{5\,401\,776\,kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{2\,324\,kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásobu $w = 1,645 * 4\,062 = \mathbf{3\,823}$. Aby tedy firma dosáhla úrovně obsluhy 95%, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve

výši 3 823 kg rozinek. Bod znovuobjednávky vypočítáme jako:
 $r^* = 531 + 3\,823 = 4\,354 \text{ kg}$.

Tab. 64 Výsledky pro rok 2014

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	4120876	2449222	947698	728560
q*	2433	2857	3578	3689
N*	318763	271453	216805	210266
t*	9	7	6	6
r*	4354	4354	4354	4354
D*	11	13	16	17

4.6.6 DÍLČÍ ZÁVĚRY PRO ROZINKY

Výsledky výpočtů a testování pro časovou řadu „rozinky“ opět shrneme v této kapitole. U testování trendu jsou výsledky obdobné jako u předchozí suroviny – máku modrého. Tedy přestože jsme F-testem zjistili, že všechny tři modely jsou statisticky průkazné a prostřednictvím t-testu jsme ověřili statistickou významnost všech parametrů, ani jednu ze zkoumaných trendových křivek nezvolíme. Důvodem je taktéž příliš nízká hodnota koeficientu determinace. Proto volíme model s nulovým trendem. Pomocí F-statistiky jsme ověřili, že časová řada obsahuje sezónní složku a vzhledem k charakteru časové řady volíme sezónnost proporcionální. Na základě vypočítaných sezónních indexů a zvoleného nulového trendu jsme vypočítali očekávané nákupy pro jednotlivé měsíce v roce 2014. Při optimalizaci jsme na nákupy zásob roku 2013 aplikovali model se stochastickou spojitou poptávkou. V tabulce níže, jsou pro srovnání v prvním sloupci uvedeny skutečné hodnoty jednotlivých parametrů a v druhém hodnoty optimální.

Tab. 65 Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013

		Skutečné hodnoty	Optimální hodnoty
1. Q	N – náklady	850438	253631
	q – velikost dodávky	11834	3093
	t – délka dodávkového cyklu	20	6
	D – počet dodávek	5	16
2. Q	N – náklady	697686	234841
	q – velikost dodávky	10386	3341
	t – délka dodávkového cyklu	15	5
	D – počet dodávek	6	19
	N – náklady	473490	194051

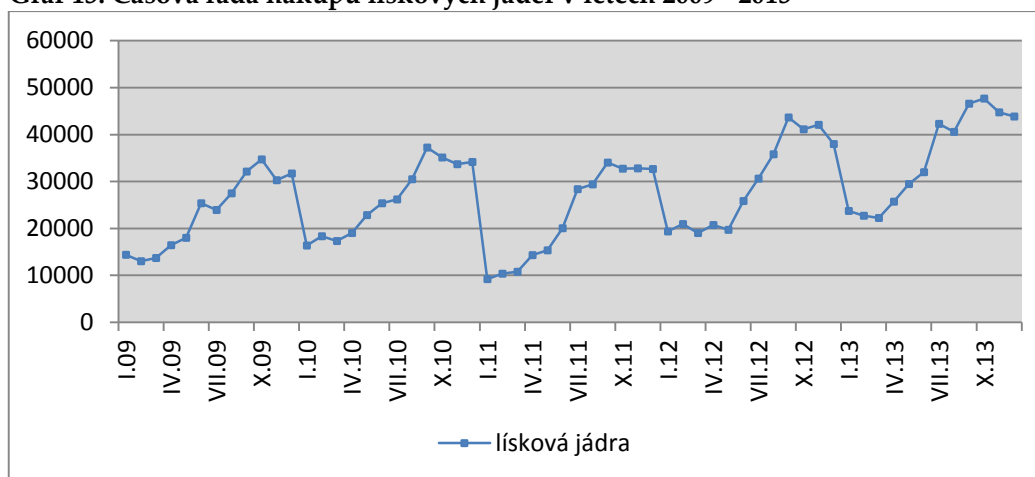
3.	Q	q – velikost dodávky	7030	4043
		t – délka dodávkového cyklu	7	4
		D – počet dodávek	13	24
4.	Q	N – náklady	448566	186842
		q – velikost dodávky	5341	4199
		t – délka dodávkového cyklu	5	4
		D – počet dodávek	19	24

Problémy zásobování v případě rozinek jsou značné zvláště v prvním a druhém čtvrtletí, kde jsou nepřiměřeně vysoké náklady spojené s velkými dodávkami, příliš dlouhým dodávkovým cyklem a nízkým počtem dodávek za čtvrtletní období. Pro společnost by bylo vhodnější zkrátit délku dodávkového cyklu na 4-6 dní, snížit velikost dodávek a objednávat zásoby rozinek v menším množství a vícekrát za čtvrtletí.

4.7 LÍSKOVÁ JÁDRA

Poslední surovinou, pro kterou budeme analyzovat a pro kterou budeme optimalizaci provádět, jsou lísková jádra. Měsíční nákupy lískových jader od roku 2009 do roku 2014 jsou taktéž uvedeny v příloze v tabulce. Časový průběh těchto nákupů je znázorněn v grafu č. 13 modrou křivkou. Nejprve vybereme vhodnou trendovou funkci, přičemž uvažujeme, jako u všech předchozích surovin, trend lineární, kvadratický a exponenciální. Pro testování významnosti parametrů jednotlivých modelů využijeme t- test. Pro hodnocení modelu jako celku vypočítáme koeficient determinace, střední chyby odhadů a také p-hodnoty F-testu.

Graf 13: Časová řada nákupů lískových jader v letech 2009 - 2013



4.7.1 VOLBA VHODNÉHO TRENDU

Konstantní trend

Rovnici konstantního trendu zapíšeme ve tvaru:

$$T = b_0, \quad t = 1, \dots, n$$

kde n je počet pozorovaných hodnot

Odhad parametru b_0 získáme z rovnice (75) jako aritmetický průměr

$$b_0 = \bar{y} = 27\,437,6$$

Lineární trend

Rovnice lineárního trendu: $T = b_0 + b_1 t$

Při výpočtech parametrů b_0 a b_1 vycházíme z následující tabulky č. 66. Pozorované měsíční hodnoty jsou za pět let, celkem tedy $n=60$. Pro časovou proměnnou t stanovíme předpoklad $\Sigma t = 0$, potom pro šedesát pozorování platí $t = -29,5; -28,5, -27,5, \dots, 27,5; 28,5; 29,5$.

Tab. 66 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 a b_1

ΣY	Σt	Σt^2	$\Sigma Y \cdot t$	n
1646211	0,0	17995	5555936	60

Po dosazení hodnot z tabulky do výrazů (60) a (61) vypočítáme:

$$b_0 = \frac{1646211}{60} = 27\,437$$

$$b_1 = \frac{5555936}{17995} = 308,75$$

A následně dostáváme lineární předpis ve tvaru $T = 27\,437 + 309 t$. Očekávané hodnoty vypočítáme postupným dosazováním hodnot časové proměnné t ($-29,5; \dots, 29,5$) do předpisu funkce. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulce v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 27\,437 + 309 \cdot (-29,5) = 18\,329$$

$$\text{únor 2009: } T = 27\,437 + 309 \cdot (-28,5) = 18\,638$$

Vyrovnané hodnoty získáme jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky jsou opět uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y' = 14387 - 18329 = -3942$$

Kvadratický trend (parabola)

Rovnice kvadratického trendu: $T = b_0 + b_1 t + b_2 t^2$

Při výpočtech parametrů b_0 , b_1 , a b_2 vycházíme z tabulky č. 67

Tab. 67 Výchozí hodnoty pro výpočet parametrů b_0 , b_1 , b_2

Σy	Σt	Σt^2	Σt^4	Σyt	Σyt^2
1734542	0	17995	9711001,75	5555936	526355539

Dosažením hodnot z tabulky do vzorců (62), (63) a (64) získáme:

$$b_0 = 25\,168$$

$$b_1 = 308,75$$

$$b_2 = 7,564$$

Vypočítané hodnoty parametrů dosadíme do rovnice paraboly a získáme předpis ve tvaru $T = 25\,168 + 309t + 7,564t^2$. Obdobně jako u lineárního trendu získáme dosazováním hodnot t a t^2 do předpisu funkce očekávané hodnoty, které jsou uvedeny v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } T = 25\,168 + 309 \cdot (-29,5) + 7,564 \cdot (-29,5)^2 = 22\,643$$

$$\text{únor 2009: } T = 25\,168 + 309 \cdot (-28,5) + 7,564 \cdot (-28,5)^2 = 22\,513$$

Hodnoty reziduí vypočítáme jako rozdíl pozorovaných hodnot a hodnot očekávaných. Všechny výsledky jsou opět uvedeny v tabulce v příloze.

Například:

$$\text{leden 2009: } Y' = 14387 - 22643 = -8256$$

Exponenciální trend

Průběh exponenciální trendové funkce: $T_t = b_0 b_1^t$

Při výpočtu koeficientů vycházíme z následující tabulky č. 68.

Tab. 68 Výchozí hodnoty pro výpočet b_0' a b_1'

Σy	$\Sigma y = \ln y$	Σt	Σt^2	$\Sigma t \cdot \ln y$	n
4394699	608,8	0	17995	205,5	60

Dosažením dostaneme hodnoty

$$b_0' = \frac{608,8}{60} = 10,146$$

$$b_1' = \frac{205,5}{17995} = 0,0114$$

A potom s pomocí výše uvedené substituce vypočteme

$$b_0 = e^{b_0'} = e^{10,146} = \mathbf{25\,485}$$

$$b_1 = e^{b_1'} = e^{0,0114} = \mathbf{1,0115}$$

Tímto jsme získali předpis pro exponenciální trendovou funkci v podobě $T = 25\,485 \cdot 1,0115^t$

Stejným způsobem jako u lineárního a parabolického trendu spočítáme dosažením do předpisu exponenciální trendové funkce očekávané hodnoty a následně hodnoty

očištěné od trendu jako rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými hodnotami. Výsledky výpočtů očekávaných a pozorovaných hodnot jsou uvedeny v příloze.

TESTOVÁNÍ PARAMETRŮ

Zda jsou vypočtené parametry b_0 , b_1 a b_2 významné otestujeme pomocí *t-testu*. Nejdříve stanovíme hladinu významnosti α , nulovou hypotézu o statistické nevýznamnosti parametru a k ní hypotézu alternativní o statistické významnosti parametru.

H_0 : parametr není statisticky významný

H_1 : parametr je statisticky významný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl získáme p-hodnoty pro jednotlivé parametry lineárního, kvadratického a exponenciálního¹⁰ modelu – viz následující obrázky.

Lineární model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	27436,9	1099,89	24,94	1,07e-032 ***
t2	308,749	63,5112	4,861	9,26e-06 ***

Model s parabolou				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	25168,4	1615,11	15,58	3,29e-022 ***
t2	308,749	62,1597	4,967	6,53e-06 ***
sq_t2	7,56361	4,01462	1,884	0,0647 *

Exponenciální model				
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota
const	10,1459	0,0455835	222,6	9,76e-087 ***
v2	0,0114179	0,00263213	4,338	5,82e-05 ***

Obr. 22 Charakteristiky modelů – výstup z programu Gretl

Platí: je-li $p\text{-hodnota} < \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li $p\text{-hodnota} > \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

Téměř u všech zkoumaných parametrů dosahuje p-hodnota nižších hodnot než je stanovená hladina významnosti α . Jediný případ, kdy je tento předpoklad porušen je u parabolického trendu a parametru b_2 , u kterého p-hodnota dosahuje hodnoty 0,0647. Na základě toho lze konstatovat, že parametr b_2 není statisticky významný a tudíž jej lze z modelu vynechat. Potom dostáváme předpis v lineárním tvaru. Parametry b_0 a b_1 jsou ve všech testovaných modelech statisticky významné. Významnost si můžeme také ověřit pomocí hvězdiček v posledním sloupci tabulky.

¹⁰ U exponenciálního modelu testujeme parametry b_0 a b_1

TESTOVÁNÍ MODELU

Pro testování vhodnosti celého modelu využijeme stejně jako u předchozích surovin koeficienty determinace a reziduální testy. Vzorce pro výpočty byly uvedeny výše, proto je zde znovu uvádět nebudeme a pouze shrneme výsledky.

Tab. 69 Srovnání výsledků testů pro jednotlivé modely

	přímka	parabola	exponenciála
R ²	0,2895	0,3311	0,2853
M.E.	0	0	1450,19
M.S.E.	70166454	66053184	70582299
M.A.E.	7377	7332	7495
M.P.E.	-12,81	-12,32	-6,7
M.A.P.E.	33,5	33,29	32,06

F-test

Pro testování vhodnosti celkového modelu můžeme využít ještě F-test. Obdobně jako u testování významnosti jednotlivých parametrů vycházíme z nulové a alternativní hypotézy a volíme hladinu významnosti α .

H₀: model není statisticky průkazný

H₁: model je statisticky průkazný

α : 5 %

S pomocí programu Gretl provedeme analýzu rozptylu (tzv. ANOVA) a z ní získáme hodnotu F-statistiky a odpovídající p-hodnotu. Jelikož jsme na základě t-testu u kvadratického trendu určili parametr b_2 jako nevýznamný, z modelu nám vypadává člen b_2t^2 a tím se z parabolického předpisu stává předpis lineární. Analýzu rozptylu tedy provádíme pouze pro trend lineární a exponenciální.

Lineární trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	1,71539e+009	1	1,71539e+009
Reziduum	4,20999e+009	58	7,2586e+007
Úplné	5,92538e+009	59	1,0043e+008
R ² = 1,71539e+009 / 5,92538e+009 = 0,289499			
F(1, 58) = 1,71539e+009 / 7,2586e+007 = 23,6325 [p-hodnota 9,26e-006]			

Exponenciální trend			
	Součet čtverců	df	Střední kvadrát
Regrese	2,346	1	2,346
Reziduum	7,23095	58	0,124671
Úplné	9,57695	59	0,162321
R ² = 2,346 / 9,57695 = 0,244963			
F(1, 58) = 2,346 / 0,124671 = 18,8175 [p-hodnota 5,82e-005]			

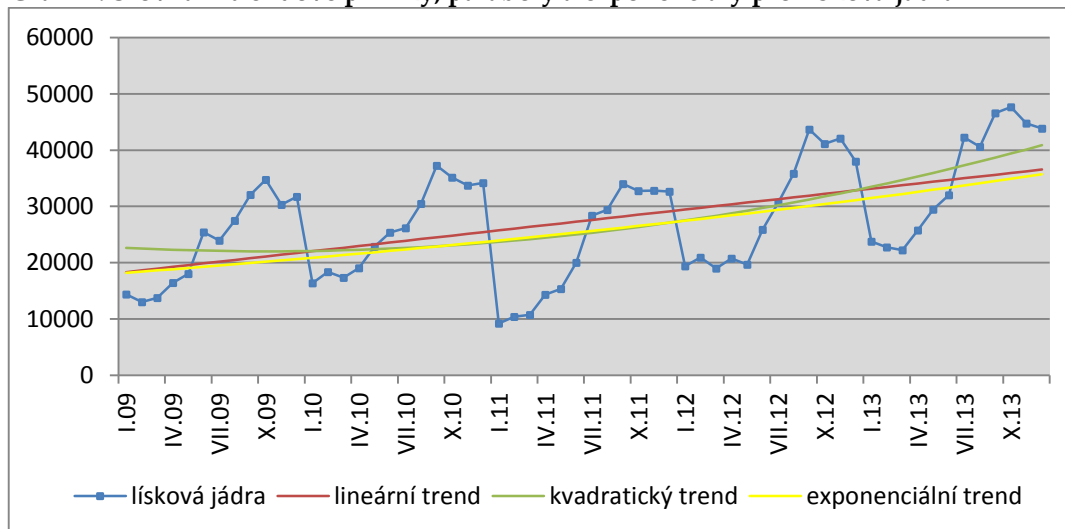
Obr. 23 Analýza ANOVA – výstup z programu Gretl

Dále platí: je-li $p\text{-hodnota} < \alpha \rightarrow$ zamítáme nulovou hypotézu H_0 a přijímáme hypotézu alternativní H_1

je-li $p\text{-hodnota} > \alpha \rightarrow$ přijímáme nulovou hypotézu H_0 a zamítáme hypotézu alternativní H_1

P-hodnoty pro F-test nabývají hodnot menších než je zvolená hladiny významnosti 5 %. Na základě toho zamítáme nulovou hypotézu a konstatujeme, že modely jsou statisticky průkazné.

Graf 14: Srovnání trendové přímky, paraboly a exponenciály pro lísková jádra



SOUHRN VÝSLEDKŮ

Provedením t-testu jsme zjistili, že parametr b_2 u kvadratického trendu není statisticky významný. Dále tedy bereme v úvahu pouze trend lineární a exponenciální. Podle F- testu jsou oba tyto modely statisticky průkazné, proto přistoupíme ke srovnání pomocí

koeficientu determinace a reziduálních testů. Na základě výsledků testů bychom vybrali model s lineárním trendem, neboť vypočítané hodnoty byly ve většině případů nižší než u trendu exponenciálního. Pokud se zaměříme na koeficient determinace, zjistíme, že jeho hodnota dosahuje pouze necelých 29 % u obou modelů. Také z obrázku je vidět, že přímka ani exponenciála nevystihuje vhodně průběh časové řady. Proto budeme v dalších úvahách a výpočtech pracovat s modelem s nulovým trendem.

4.7.2 TESTOVÁNÍ SEZÓNNOСТИ

Další komponentou časové řady, kterou budeme zkoumat, je sezónní složka. Pomocí *F statistiky* ověříme, zda se v časové řadě sezónnost vyskytuje či nikoli. V prvním kroku opět zformulujeme dvojici hypotéz, přičemž:

- nulová hypotéza H_0 : v časové řadě se nevyskytuje sezónní složka,
- alternativní hypotéza H_1 : v časové řadě se vyskytuje sezónní složka.

Tab. 70 Průměrné hodnoty v jednotlivých čtvrtletích

	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q	průměr
2009	13 712	19 964	27 836	32 254	23 442
2010	17 362	22 403	31 306	34 340	26 353
2011	10 118	16 562	30 597	32 736	22 503
2012	19 775	22 103	36 720	40 402	29 750
2013	22 916	29 061	43 150	45 419	35 137
průměr	16 777	22 019	33 922	37 030	27 437

Tab. 71 Výchozí hodnoty pro výpočet rozptylu a F-statistiky

	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q	$\Sigma(\bar{y}_i - \bar{y})^2$	
2009	188 362 358	55 838 505	159 055	23 208 146	15 961 490	
2010	101 502 603	25 339 646	14 967 742	47 653 480	1 175 454	
2011	299 942 565	118 255 113	9 986 548	28 080 991	24 339 587	
2012	58 703 945	28 446 400	86 176 874	168 086 471	5 350 663	
2013	20 435 071	2 637 863	246 903 083	323 357 719	59 285 893	
					$\Sigma 106 113 086$	
$\Sigma(\bar{y}_i - \bar{y})^2$	113 638 087	29 355 266	42 052 847	92 032 364	$\Sigma 277 078 565$	$\Sigma 1 848 044 177$

Hodnoty z tabulky č. 71 dosadíme do vzorců (73) a (74) a dostaneme se k výsledkům:

$$\sigma^2 = \frac{1\,848\,044\,177 - 4 \times 106\,113\,086 - 5 \times 277\,078\,565}{12} = 3\,183\,251$$

$$F = \frac{5 \times 277\,078\,565}{3 \times 3\,183\,251} = 145$$

Hladinu významnosti α zvolíme 5%. Ze statistických tabulek zjistíme, že hodnota $F_{1-\alpha}$ pro (4-1) a (4-1) * (5-1) stupňů volnosti odpovídá hodnotě 3,49. Potom platí nerovnost $F > F_{0,95}(3; 12)$, tím pádem zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme hypotézu alternativní, tedy že se v časové řadě vyskytuje určitá sezónnost.

Existenci sezónní složky v časové řadě jsme již ověřili a nyní přistoupíme k její analýze. Vzhledem k charakteru časové řady využijeme model s proporcionální sezónností a zavedeme proměnnou $m = 1, 2, \dots, i$ pro označení časových intervalů (roků) a tyto časové intervaly ještě dále rozčleníme na dílčí časová období – tzv. sezóny (měsíce), které označujeme $r = 1, 2, \dots, j$.

Vypočtené měsíční sezónní indexy jsou v tabulce. Například sezónní index pro leden jsme získali následovně:

- Vypočetli jsme sezónní index pro každý měsíc během všech pěti let jako podíl pozorované a očekávané hodnoty v příslušném měsíci a roce $(1 + \gamma_r) = \frac{y_{mr}}{T_{mr}}$; $m = 1, \dots, 5$; $r = 1, \dots, 12$, čímž jsme získali celkem 60 různých indexů – viz tabulka č. 72

Tab. 72 Sezónní indexy

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	0,5244	0,5961	0,3354	0,7066	0,8658
únor	0,4740	0,6698	0,3786	0,7630	0,8290
březen	0,5010	0,6325	0,3924	0,6926	0,8108
duben	0,5997	0,6937	0,5217	0,7565	0,9381
květen	0,6577	0,8323	0,5592	0,7175	1,0732
červen	0,9256	0,9236	0,7300	0,9429	1,1663
červenec	0,8728	0,9539	1,0342	1,1174	1,5405
srpen	1,0010	1,1109	1,0711	1,3056	1,4793
září	1,1698	1,3582	1,2403	1,5920	1,6983
říjen	1,2657	1,2800	1,1931	1,4994	1,7376
listopad	1,1040	1,2292	1,1961	1,5333	1,6302
prosinec	1,1571	1,2456	1,1902	1,3849	1,5984

2. Zprůměrovali jsme lednové hodnoty indexů

$$\frac{0,5244 + 0,5961 + 0,3354 + 0,7066 + 0,8658}{5} = 0,6057$$

čímž jsme získali průměrnou hodnotu lednového sezónního indexu. Obdobným způsobem bychom vypočítali hodnoty pro všechny ostatní měsíce a dospěli bychom k výsledkům, které jsou uvedeny v tabulce č. 73.

Tab. 73 Průměrné měsíční indexy sezónnosti

Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index	Měsíc	Sezónní index
leden	0,6057	květen	0,7680	září	1,4117
únor	0,6229	červen	0,9377	říjen	1,3952
březen	0,6059	červenec	1,1038	listopad	1,3386
duben	0,7019	srpen	1,1936	prosinec	1,3152

4.7.3 PŘEDPOVĚĎ PRŮBĚHU ČASOVÉ ŘADY PRO ROK 2014

Výpočet budoucích hodnot se při využití modelu s nulovým trendem opět zjednodušil. Očekávaná hodnota v jednotlivých měsících roku 2014 je stále stejná a rovná se aritmetickému průměru hodnot časové řady. Hodnoty ovlivněné sezónností získáme vynásobením očekávaných hodnot příslušným sezónním indexem pro daný měsíc. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

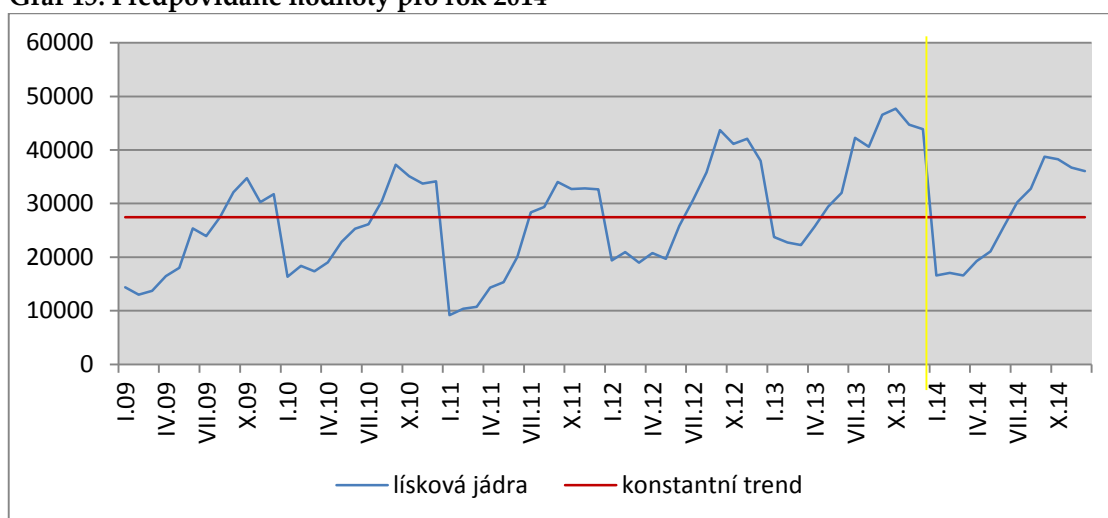
Tab. 74 Výpočet budoucích hodnot pro rok 2014

měsíc	t	T T = 27 437	I	T*I
Leden 2014	30,5	27437	0,6057	16619
Únor 2014	31,5	27437	0,6229	17091
Březen 2014	32,5	27437	0,6059	16624
Duben 2014	33,5	27437	0,7019	19258
Květen 2014	34,5	27437	0,7680	21072
Červen 2014	35,5	27437	0,9377	25728
Červenec 2014	36,5	27437	1,1038	30285
Srpen 2014	37,5	27437	1,1936	32749
Září 2014	38,5	27437	1,4117	38733

Říjen 2014	39,5	27437	1,3952	38280
Listopad 2014	40,5	27437	1,3386	36727
Prosinec 2014	41,5	27437	1,3152	36085

Výsledky jsme znázornili v grafu níže, kde modrá křivka představuje nákupy od ledna 2009 do prosince 2014, červená křivka je konstantní trendová přímka a žlutou přímkou jsou odděleny pozorované hodnoty v letech 2009 - 2013 a předpovídané hodnoty pro rok 2014.

Graf 15: Předpovídané hodnoty pro rok 2014



4.7.4 APLIKACE MODELU ŘÍZENÍ ZÁSOB

Model se stochastickou spojitou poptávkou

Opět využijeme model se stochastickou spojitou poptávkou a provedeme optimalizaci na základě dat z roku 2013. Jelikož je poptávka během roku proměnlivá, rozdělili jsme roční hodnoty do období po třech měsících a budeme tedy provádět optimalizace pro jednotlivá čtvrtletí.

Tab. 75 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013
1. Q	39080	49482	28836	56359	63018
2. Q	56898	63849	47203	62995	85922
3. Q	79332	89221	87201	104652	123800
4. Q	91925	97869	93298	115145	130465

Čtvrtletní střední hodnotu spočítáme jako aritmetický průměr jednotlivých čtvrtletí. V úvahu bereme jednotlivá čtvrtletí od roku 2009 až 2013, aby výsledky měli větší vypovídací hodnotu. Konkrétní hodnoty jsme od společnosti získali pouze pro rok 2013. Pro stanovení poptávky v letech 2009 až 2012 vycházíme ze skutečnosti, že společnost POEX prodala z celkového objemu čtvrtletně nakoupených lískových jader průměrně 95 %.

$$\mu = 78\,327 \frac{\text{kg}}{\text{čtvrtletí}}$$

Směrodatnou odchylku čtvrtletní poptávky získáme jako odmocninu z rozptylu

Rozptyl:

$$\sigma^2 = 804\,897\,247$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 28\,371$$

Při vyčíslení nákladů postupujeme stejně jako u předchozích surovin:

$$\text{VN} = 16\,000 \times 75 = 1\,200\,000 \text{ Kč/měsíc} \rightarrow 3\,600\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

$$\text{FN} = 3 \times 260\,000 = 780\,000 \text{ Kč/čtvrtletí}$$

Čtvrtletní skladovací náklady = VN + FN = 4 380 000 Kč. Za první čtvrtletí roku 2013 byly nakoupeny zásoby ve výši 68 749 kg. Skladovací náklady na 1 kg potom odpovídají hodnotě 4 380 000/68 749 = 63,7 Kč/kg. Náklady na pořízení jedné dodávky se pohybují v rozmezí od 10 000 až do 20 000 Kč v závislosti na tom, odkud je zboží dováženo. Průměrná cena na pořízení jedné dodávky lískových jader se pohybuje okolo 15 000 Kč.

Dodávkový cyklus t se v jednotlivých obdobích mění v závislosti na poptávce. Zatímco v prvním čtvrtletí stačí objednávat zásoby průměrně jednou za dvacet dní, ke konci roku je délka dodávkového cyklu pouze 5 dní. Průměrná dodací lhůta jsou 4 dny. Velikost jedné dodávky spočítáme z objemu nakupovaných zásob pro jednotlivá čtvrtletí. Za první čtvrtletí bylo nakoupeno 68 749 kg lískových jader. Počítáme-li s délkou dodávkového cyklu 20 dní, dostaneme velikost jedné dodávky přibližně 15 278 kg. Ve druhém čtvrtletí potom 14 531 kg, ve třetím 9 958 a v posledním čtvrtletí 7 406 kg.

Tab. 76 Výpočty pro rok 2013

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c_1 [Kč]	c_2 [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	68749	15 278	63,7	15 000	20	4
2. Q	87183	14 531	50,2	15 000	15	4
3. Q	129450	9 958	33,8	15 000	7	4
4. Q	136257	7 406	32	15 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku ještě přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d . K tomu využijeme vzorce

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 78\,327 = \mathbf{858\ kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 804\,897\,247 = 8\,820\,792\ \mathbf{kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{2\,970\ kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásoby dle vztahu $w = u_\gamma \sigma_d$. Potom velikost pojistné zásoby odpovídá: $w = 1,645 * 2\,970 = \mathbf{4\,886}$. To znamená, že aby firma z 95% uspokojila požadavky svých zákazníků, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 4 886 kg lískových jader. Bod znovuobjednávky vypočítáme jako součet střední hodnoty (přepočítané na dobu pořizovací lhůty) a pojistné zásoby: $r^* = \mu_d + w = 858 + 4\,886 = \mathbf{5\,744\ kg}$.

Tab. 77 Výpočty hodnot pro jednotlivá čtvrtletí v roce 2013

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	859714	698701	519920	539090
q*	6074	6842	8338	8569
N*	386889	343454	281822	274215
t*	9	8	7	6
r*	5744	5744	5744	5744
D*	10	13	15	15

4.7.5 OPTIMALIZACE PRO PŘEDPOVÍDANÉ HODNOTY ROKU 2014

Pro optimalizaci využijeme hodnoty z tabulky č. 74, které přepočítáme na hodnoty čtvrtletní. Stejně jako pro roky 2009 – 2012, kdy jsme počítali rozptyl a střední hodnotu poptávky, předpokládáme, že společnost prodá v roce 2014 plus mínus 95% z nakoupených zásob.

Tab. 78 Poptávka v jednotlivých čtvrtletích v letech 2009 – 2014

čtvrtletí	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1. Q	39080	49482	28836	56359	63018	47817
2. Q	56898	63849	47203	62995	85922	62754
3. Q	79332	89221	87201	104652	123800	96678
4. Q	91925	97869	93298	115145	130465	105538

Při výpočtu čtvrtletní střední hodnoty a rozptylu nyní vycházíme z hodnot z tabulky č. 78 a dostaneme:

Střední hodnotu

$$\mu = 78\,306 \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{čtvrtletí}}$$

Rozptyl

$$\sigma^2 = 762765866$$

A směrodatnou odchylku

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 27\,618$$

Náklady na pořízení jedné dodávky, dodávkový cyklus a délka dodací lhůty zůstávají nezměněny. Pro rok 2014 přepočítáme pouze velikost dodávky a skladovací jednotkové náklady. Dostaneme výsledky uvedené v tabulce č. 79

Tab. 79 Výpočty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2014

	Množství [kg]	Velikost dodávky q	c ₁ [Kč]	c ₂ [Kč]	t [dny]	d [dny]
1. Q	50333	11 185	87	15 000	20	4
3. Q	66057	11 010	66,3	15 000	15	4
4. Q	101767	7 827	43	15 000	7	4
5. Q	111092	6 038	39	15 000	5	4

Výše vypočítanou střední hodnotu, rozptyl a směrodatnou odchylku opět přepočítáme na dobu pořizovací lhůty dodávky d .

$$\mu_d = d\mu_Q = \frac{4}{365} * 78\,306 = \mathbf{858\,kg}$$

$$\sigma_d^2 = d\sigma_Q^2 = \frac{4}{365} * 762765866 = \mathbf{8\,359\,078\,kg^2}$$

$$\sigma_d = \mathbf{2\,891\,kg}$$

Úroveň obsluhy stanovíme na 95% a spočítáme pojistnou zásoby dle vztahu $w = u_\gamma \sigma_d = 1,645 * 2\,891 = \mathbf{4\,756}$. Aby firma dosáhla úrovně obsluhy 95%, musí držet pojistnou zásobu alespoň ve výši 4 756 kg lískových jader. Bod znovuobjednávky vypočítáme následovně: $r^* = \mu_d + w = 858 + 4\,756 = \mathbf{5\,614\,kg}$.

Tab. 80 Výsledky pro rok 2014

čtvrtletí	1. Q	2. Q	3. Q	4. Q
N	964446	765800	558066	565409
q*	5196	5953	7391	7761
N*	452083	394653	317828	302685
t*	10	9	7	7
r*	5614	5614	5614	5614
D*	9	11	13	14

4.7.6 DÍLČÍ ZÁVĚRY PRO LÍSKOVÁ JÁDRA

V následující kapitole jsou shrnuty výsledky výpočtů a testování, které jsme pro lísková jádra výše získali. Pro časovou řadu jsme nevybrali žádný z analyzovaných trendů a zvolili jsme model s nulovým trendem. Důvodem byla nízká hodnota koeficientu determinace, která se pohybovala kolem 30 %. Existenci sezónní složky jsme ověřili pomocí F-statistiky, na jejímž základě jsme zamítli nulovou hypotézu ve prospěch hypotézy alternativní, a lze konstatovat časová řada obsahuje sezónnost a jedná se o proporcionální sezónnost. Pomocí vypočítaných sezónních indexů a zvoleného nulového trendu jsme dále vypočítali očekávané nákupy pro jednotlivé měsíce v roce 2014. Při optimalizaci jsme na nákupy zásob roku 2013 aplikovali model se stochastickou spojitou poptávkou. V tabulce níže, jsou pro srovnání v prvním sloupci uvedeny skutečné hodnoty jednotlivých parametrů a v druhém hodnoty optimální.

Tab. 81 Skutečné a optimální hodnoty pro jednotlivá čtvrtletí roku 2013

		Skutečné hodnoty	Optimální hodnoty
1. Q	N – náklady	859714	386889
	q – velikost dodávky	15 278	6074
	t – délka dodávkového cyklu	20	9
	D – počet dodávek	5	10
2. Q	N – náklady	698701	343454
	q – velikost dodávky	14 531	6842
	t – délka dodávkového cyklu	15	8
	D – počet dodávek	6	13
3. Q	N – náklady	519920	281822
	q – velikost dodávky	9 958	8338
	t – délka dodávkového cyklu	7	7
	D – počet dodávek	13	15
4. Q	N – náklady	539090	274215
	q – velikost dodávky	7 406	8569
	t – délka dodávkového cyklu	5	6
	D – počet dodávek	19	15

Také u lískových jader vidíme značné rozdíly mezi skutečnými a optimálními hodnotami zvláště v prvním a druhém čtvrtletí. Náklady jsou v těchto dvou období více jak dvojnásobné, velikost jedné dodávky je nepřiměřeně velká, délka dodávkového cyklu by měla být kratší a počet dodávek za sledované období by měl být asi dvojnásobný. Ve třetím čtvrtletí je situace lepší a nejvíce se skutečné hodnoty přiblížili optimálnímu stavu koncem roku.

5. ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci zásob ve společnosti POEX Velké Meziříčí, a.s., jenž působí v odvětví potravinářského průmyslu. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Před sepsáním teoretické části byla nejprve prostudována příslušná literatura zaměřující se na statistiku, ekonometrické modely a časové řady a modely řízení zásob. Získané poznatky jsou využity v praktické části při řešení problematiky zásobování. Analýza skladových zásob byla provedena na základě dat a informací, které společnost k tomuto účelu poskytla. Praktická část práce je rozdělena na pět dílčích úseků podle pěti surovin, které byly společností vybrány jako nejvýznamnější a pro které byla analýza prováděna – kokos strouhaný, mandle, mák modrý, rozinky a lísková jádra. V rámci každého z těchto dílčích úseků byly stanoveny následující cíle:

1. Určit, zda se v časové řadě dané suroviny vyskytuje trendová složka a vybrat nejvhodnější trendovou funkci.
2. Otestovat existenci sezónnosti v časové řadě pomocí rozptylu a F-statistiky.
3. Na základě minulého vývoje v letech 2009 - 2013 predikovat nákupy v roce 2014.
4. Aplikovat vhodný model řízení zásob a na jeho základě porovnat aktuální a optimální způsob zásobování.
5. Aplikovat model řízení zásob na predikované hodnoty pro rok 2014 a navrhnout společnosti vhodnější a efektivnější způsob řízení zásob.

Existenci trendové složky jsme ověřili u kokosu strouhaného a mandlí, přičemž pro kokos se jako nejvhodnější jevil kvadratický trend a u mandlí jsme zvolili trend lineární, přestože výsledky jednotlivých testů, na jejichž základě jsme trend vybírali, byly velmi podobné. U těchto dvou surovin se tedy dá předpokládat, že jejich nakupované množství bude do budoucna narůstat. U zbylých třech surovin jsme existenci trendové složky neověřili. V těchto časových řadách se vyskytuje konstantní, neboli nulový, trend a nelze předpokládat, že by nakupované množství máku, rozinek nebo lískových jader do budoucna rostlo. Naopak bude i nadále kolísat kolem průměrných hodnot.

Druhým krokem bylo ověření, zda se v časové řadě pro danou surovinu vyskytuje sezónní složka. K tomu jsme využili testování pomocí F-statistiky, pro kterou jsme zformulovali nulovou a alternativní hypotézu. Na základě F-statistiky jsme pro časovou řadu každé suroviny přijali alternativní hypotézu o existenci sezónnosti. Vzhledem k charakteru časových řad jsme nadále pracovali s proporcionální sezónností, jelikož sezónní výkyvy nejsou v každém roce konstantní, a vypočítali jsme sezónní indexy pro jednotlivé měsíce. V prvních dvou čtvrtletích nabývají sezónní indexy zpravidla hodnot nižších než 1, naopak od července či srpna jsou sezónní indexy vyšší než 1. Z toho vyplývá, že právě od druhého pololetí začíná sezóna, která svého vrcholu obvykle dosahuje v září a říjnu, kdy je kvůli největší poptávce nakupováno nejvyšší množství.

Na základě zvolené trendové funkce a vypočítaných sezónních indexů podle proporcionální sezónnosti jsme získali předpovídané hodnoty nákupů surovin pro jednotlivé měsíce v roce 2014. Podle očekávání u kokosu a mandlí je patrná neustálá růstová tendence těchto nákupů na rozdíl od rozinek, máku a lískových jader, kde je značný pokles nákupů vždy v lednu oproti prosinci minulého roku. Vypočítané hodnoty roku 2014 by bylo možné srovnat se skutečnými nákupy, které společnost realizovala, avšak tyto informace již nebyly společností poskytnuty.

Pro aplikaci modelu řízení zásob na zkoumané suroviny jsme využili model se stochastickou spojenou poptávkou. Tento model byl vybrán, jelikož nepředpokládá, že poptávka po zboží je neustále stejná a známá, a tím pádem odpovídá nejvíce realitě. U každé ze surovin jsme zjistili aktuální stav a způsob zásobování a pomocí stochastického modelu jsme pak vypočítali hodnoty optimální. Na základě těchto výpočtů jsme stanovili, že největším problémem jsou zbytečně vysoké celkové náklady, zvláště v prvních dvou čtvrtletích. V tomto období jsou totiž z důvodu nízké poptávky objednávány sice větší dodávky, ale za to méně často. Zásoby tak zůstávají ve skladech ležet delší čas a skladovací náklady, a tím i celkové náklady, narůstají. Jelikož mají potraviny určitou expirační dobu, časem dochází ke snížení jejich kvality a v důsledku může společnost realizovat i ztráty z neprodejnosti surovin. Ke konci roku, kdy poptávka narůstá a zásoby jsou nakupovány častěji v menším množství, jsou hodnoty příznivější a více se přibližují hodnotám optimálním, až na celkové náklady, které jsou stále příliš vysoké.

Cílem diplomové práce bylo provést analýzu současného stavu řízení zásob, provést optimalizaci skladových zásob a navrhnout kroky, vedoucí k zefektivnění řízení zásobovacího procesu. Aby tedy společnost POEX Velké Meziříčí a.s. snížila celkové náklady a přiblížila se optimálnímu stavu, doporučili bychom upravit délku dodávkového cyklu a velikost a počet dodávek především v prvním pololetí. Konkrétně zkrátit dobu mezi dodáním zásob na sklad a vystavením nové objednávky u všech surovin přibližně na týden a zmenšit velikost dodávek u kokosu a mandlí na jednu třetinu, u rozinek a lískových jader asi na polovinu a u máku modrého dokonce až na jednu šestinu. Zvýšením počtu dodávek sice vzrostou pořizovací náklady, ale tento vzrůst je více než dobře kompenzován poklesem nákladů skladovacích a tím se sníží i náklady celkové. Ušetřené finance by potom společnost mohla investovat do rozvoje, inovací apod. Hlavní cíl práce byl tímto splněn.

6. LITERATURA

- ARLT, J. *Moderní metody modelování ekonomických časových řad*. Vyd. 1. PRAHA: GRADA, 1999. 307 s. ISBN 80-7169-539-4.
- ARLT, J. -- ARLTOVÁ, M. *Ekonomické časové řady*. Vyd. 1. PRAHA: PROFESSIONAL PUBLISHING, 2009. 290 s. ISBN 978-80-86946-85-6.
- ARLT, J. -- ARLTOVÁ, M. -- RUBLÍKOVÁ, E., *Analýza ekonomických časových řad s příklady*. Vyd. 2. Praha: Oeconomica, 2004, 146 s. ISBN 80-245-0777-3.
- BLÁŠKOVÁ, V. *Statistika I*. vyd. 2., přeprac. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012, 204 s. ISBN 978-80-7375-648-2.
- BUDÍKOVÁ, M. -- LERCH, T. -- MIKOLÁŠ, Š. *Základní statistické metody*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 2005, 170 s. ISBN 80-210-3886-1.
- CIPRA, T., *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 246 s.
- DANĚK, J. -- PLEVNÝ, M. *Výrobní a logistické systémy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 212 s. ISBN 80-7043-416-3.
- DUDORKIN, J. *Operační výzkum*. Vyd. 4. Praha: vydavatelství ČVUT, 2002, 216 s. ISBN 80-01-02469-5.
- JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. Vyd. Praha: Professional Publishing, 2007, 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3.
- JANOVÁ, J. -- KOLMAN, P. *Vybrané kapitoly z operačního výzkumu*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2011, 114 s. ISBN 978-80-7375-488-4.
- JANOVÁ, J. -- KOLMAN, P. *Vybrané kapitoly z operačního výzkumu: cvičebnice*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2013, 125 s. ISBN 978-80-7375-716-8.
- KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2009, 137 s. ISBN 978-80-7400-119-2.
- KOMÁREK, A. -- NAGY, S. *Proceedings of the 27th International Workshop on Statistical Modelling: July 16-20, 2012, Prague*. Brno: Tribun EU, 2012, 399 s. ISBN 978-80-263-0250-61.

- LAMBERT, D.M. -- STOCK, J.R. -- ELLRAM, L.M. *Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží*. 2. vyd. Brno: CP Books, 2005, 589 s. ISBN 80-251-0504-0.
- NĚMEC, F. *Výrobní logistika pro ekonomy*. Opava: Slezská univerzita, 2002, 196 s. ISBN 80-7248-141-x.
- PLEVNÝ, M. -- ŽIŽKA, M. *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování*. 1. Vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2007, 296 s. ISBN 978-80-7043-435-2.
- SIXTA, J., MAČÁT, V. *Logistika: teorie a praxe*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 315 s. ISBN 80-251-0573-3.
- SIXTA, J. -- ŽIŽKA, M.: *Logistika, používané metody*, Computer Press, a. s., Brno, 2009, 237 s., ISBN 978-80-251-2563-2
- STEVENSON, W J. -- OZGUR, C. *Introduction to management science with spreadsheets*. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2007. 812 s. ISBN 978-0-07-299066-9.
- SVATOŠOVÁ, L. -- KÁBA, B. *Statistické metody*. I. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2007, 134 s. ISBN 978-80-213-1672-0.
- SYNEK, M. A KOL. *Podniková ekonomika*. Vyd. 1. V PRAZE: C.H. BECK, 2006. 475 s. BECKOVY EKONOMICKÉ UČEBNICE. ISBN 80-7179-892-4.
- VANĚČEK, D. *Logistika*. 3., přeprac. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Ekonomická fakulta, 2008, 178 s. ISBN 978-80-7394-085-0.
- ŽIŽKA, M. *Vybrané statě z operačního výzkumu*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2003, 155 s. ISBN 80-7083-691-1.

Internetové zdroje

- Internetová stránka Ekonomie – maturitní otázky. [on-line] [cit. 20. 8. 2014] Dostupné na <http://ekonomie-maturitni-otazky.blogspot.cz/2011/05/maturitni-okruh-c-14-zasobovaci-cinnost.html>
- Internetová stránka Hazardní hry. [on-line] [cit. 20. 8. 2014] Dostupné na <http://www.hazardni-hry.eu/pravdepodobnost/definice-pravdepodobnosti.html>
- Internetová stránka Imaturita. [on-line] [cit. 20. 8. 2014] Dostupné na <http://www.imaturita.cz/maturitni-otazky/ekonomie/zasobovani/32/>

- Internetová stránka Katedra aplikované matematiky – úvod do analýzy časových řad. [on-line] [cit. 20. 8. 2014] Dostupné na http://homel.vsb.cz/~lit40/SMAD/Casove_rady.pdf
- Internetová stránka Katedra ekonometrie FEM UO Brno. [on-line] [cit. 20. 8. 2014] Dostupné na http://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/nahodna_velicina.pdf
- Internetová stránka Katedra matematiky. Pravděpodobnost a statistika. [on-line] [cit. 20. 8. 2014] Dostupné na http://home.zcu.cz/~sediva/pse/pred_01.pdf
- Internetová stránka Modely řízení zásob. [on-line] [cit. 25. 8. 2014] Dostupné na http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/rmp/data/teorie_oa/ZASOBY.pdf
- Internetová stránka Náhodná veličina a její popis. [on-line] [cit. 25. 8. 2014] Dostupné na http://spu.fem.uniag.sk/cvicenia/ksov/prokeinova/Teoria%20Pravdepodobnosti/TP/NahodnaVelicina_zaklady.pdf
- Internetová stránka Sklady a skladovací systémy. [on-line] [cit. 25. 8. 2014] Dostupné na <http://skola.sos-jh.cz/files/%3D1746/>
- Internetová stránka Statistika [on-line] [cit. 25. 8. 2014] Dostupné na <http://www.zshk.cz/files/statistika.pdf>
- Internetová stránka Úvod do analýzy časových řad. [on-line] [cit. 25. 8. 2014] Dostupné na http://gis.vsb.cz/pan-old/Skoleni_Texty/TextySkoleni/AnalyzaCasRad.pdf
- Internetová stránka Wikipedie. [on-line] [cit. 25. 8. 2014] Dostupné na <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pravd%C4%9Bpodobnost>
- Internetová stránka Yonix. [on-line] [cit. 25. 8. 2014] Dostupné na <http://skladovani.yonix.cz/>
- Internetová stránka Youtube. [on-line] [cit. 20. 8. 2014] Dostupné na <https://www.youtube.com/watch?v=-sMug13ftY>

PŘÍLOHY

A. KOKOS

Příloha č. 1: Nákupy kokosu v letech 2009 - 2013

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	26411	33028	29484	70337	72651
únor	24007	32716	28495	71387	75906
březen	25288	33927	30277	70311	76152
duben	27461	34756	28591	73154	77591
květen	27451	37849	30582	76215	77208
červen	28466	42951	35185	80482	78265
červenec	28419	44022	37894	79411	80572
srpen	32819	41838	43182	82005	85610
září	42857	50890	51059	89003	94680
říjen	40287	48209	52840	87165	94616
listopad	33666	45183	45827	84049	90475
prosinec	31727	44531	44384	83756	91756

Příloha č. 2: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	18650	33160	47671	62182	76693
únor	19859	34370	48880	63391	77902
březen	21068	35579	50090	64600	79111
duben	22277	36788	51299	65810	80320
květen	23487	37997	52508	67019	81529
červen	24696	39207	53717	68228	82739
červenec	25905	40416	54927	69437	83948
srpen	27114	41625	56136	70646	85157
září	28324	42834	57345	71856	86366
říjen	29533	44044	58554	73065	87576
listopad	30742	45253	59763	74274	88785
prosinec	31951	46462	60973	75483	89994

Příloha č. 3: Rezidua po dosazení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	7761	-132	-18187	8155	-4042
únor	4148	-1654	-20385	7996	-1996
březen	4220	-1652	-19813	5711	-2959
duben	5184	-2032	-22708	7344	-2729
květen	3964	-148	-21926	9196	-4321
červen	3770	3744	-18532	12254	-4474
červenec	2514	3606	-17033	9974	-3376
srpen	5705	213	-12954	11359	453
září	14533	8056	-6286	17147	8314
říjen	10754	4165	-5714	14100	7040
listopad	2924	-70	-13936	9775	1690
prosinec	-224	-1931	-16589	8273	1762

Příloha č. 4: Očekávané hodnoty po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	26589	33249	43917	58595	77282
únor	26991	33985	44987	59999	79020
březen	27421	34748	46085	61431	80786
duben	27878	35540	47211	62891	82580
květen	28364	36359	48364	64379	84402
červen	28877	37207	49546	65894	86251
červenec	29418	38082	50755	67437	88129
srpen	29987	38985	51992	69008	90034
září	30583	39916	53257	70607	91967
říjen	31208	40874	54550	72234	93928
listopad	31860	41861	55870	73889	95917
prosinec	32541	42875	57219	75572	97933

Příloha č. 5: Rezidua po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-178	-221	-14433	11742	-4631
únor	-2984	-1269	-16492	11388	-3114
březen	-2133	-821	-15808	8880	-4634

duben	-417	-784	-18620	10263	-4989
květen	-913	1490	-17782	11836	-7194
červen	-411	5744	-14361	14588	-7986
červenec	-999	5940	-12861	11974	-7557
srpen	2832	2853	-8810	12997	-4424
září	12274	10974	-2198	18396	2713
říjen	9079	7335	-1710	14931	688
listopad	1806	3322	-10043	10160	-5442
prosinec	-814	1656	-12835	8184	-6177

Příloha č. 6: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	25206	33155	43610	57363	75453
únor	25788	33921	44618	58688	77196
březen	26384	34704	45649	60044	78980
duben	26994	35506	46703	61432	80805
květen	27617	36327	47783	62851	82672
červen	28255	37166	48887	64303	84582
červenec	28908	38025	50016	65789	86536
srpen	29576	38903	51172	67309	88536
září	30260	39802	52354	68864	90581
říjen	30959	40722	53564	70455	92674
listopad	31674	41663	54801	72083	94815
prosinec	32406	42625	56068	73749	97006

Příloha č. 7: Rezidua po dosažení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	1205	-127	-14126	12974	-2802
únor	-1781	-1205	-16123	12699	-1290
březen	-1096	-777	-15372	10267	-2828
duben	467	-750	-18112	11722	-3214
květen	-166	1522	-17201	13364	-5464
červen	211	5785	-13702	16179	-6317
červenec	-489	5997	-12122	13622	-5964
srpen	3243	2935	-7990	14696	-2926
září	12597	11088	-1295	20139	4099

říjen	9328	7487	-724	16710	1942
listopad	1992	3520	-8974	11966	-4340
prosinec	-679	1906	-11684	10007	-5250

B. MANDLE

Příloha č. 8: Nákupy mandlí v letech 2009 - 2013

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	50613	59310	69372	70547	70357
únor	52440	57251	68311	71564	71354
březen	53822	59372	70347	69347	71540
duben	54374	60367	75229	74184	73521
květen	51434	61418	75122	71149	73518
červen	54371	68251	74620	78362	81999
červenec	62540	66241	76009	80562	83649
srpen	65862	69362	79200	80264	83610
září	72640	75401	86452	89602	100461
říjen	73652	73561	86440	90572	101799
listopad	69403	70341	81540	88561	97362
prosinec	66556	71534	76712	85613	95732

Příloha č. 9: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	56850	63519	70188	76857	83526
únor	57406	64075	70744	77413	84082
březen	57962	64631	71300	77969	84638
duben	58518	65187	71856	78525	85194
květen	59073	65742	72411	79080	85749
červen	59629	66298	72967	79636	86305
červenec	60185	66854	73523	80192	86861
srpen	60741	67410	74079	80748	87417
září	61296	67965	74634	81303	87972
říjen	61852	68521	75190	81859	88528
listopad	62408	69077	75746	82415	89084
prosinec	62964	69633	76302	82971	89640

Příloha č. 10: Rezidua po dosazení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-6237	-4209	-816	-6310	-13169
únor	-4966	-6824	-2433	-5849	-12728
březen	-4140	-5259	-953	-8622	-13098
duben	-4144	-4820	3373	-4341	-11673
květen	-7639	-4324	2711	-7931	-12231
červen	-5258	1953	1653	-1274	-4306
červenec	2355	-613	2486	370	-3212
srpen	5121	1952	5121	-484	-3807
září	11344	7436	11818	8299	12489
říjen	11800	5040	11250	8713	13271
listopad	6995	1264	5794	6146	8278
prosinec	3592	1901	410	2642	6092

Příloha č. 11: Očekávané hodnoty po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	55703	63507	70731	77376	83441
únor	56375	64131	71307	77904	83920
březen	57043	64751	71879	78427	84396
duben	57708	65367	72447	78947	84867
květen	58368	65979	73010	79462	85334
červen	59025	66587	73570	79974	85797
červenec	59677	67191	74126	80481	86256
srpen	60325	67791	74678	80984	86711
září	60970	68387	75225	81484	87163
říjen	61610	68979	75769	81979	87610
listopad	62246	69567	76309	82470	88053
prosinec	62878	70151	76844	82958	88492

Příloha č. 12: Rezidua po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-5090	-4197	-1359	-6829	-13084
únor	-3935	-6880	-2996	-6340	-12566
březen	-3221	-5379	-1532	-9080	-12856

duben	-3334	-5000	2782	-4763	-11346
květen	-6934	-4561	2112	-8313	-11816
červen	-4654	1664	1050	-1612	-3798
červenec	2863	-950	1883	81	-2607
srpen	5537	1571	4522	-720	-3101
září	11670	7014	11227	8118	13298
říjen	12042	4582	10671	8593	14189
listopad	7157	774	5231	6091	9309
prosinec	3678	1383	-132	2655	7240

Příloha č. 13: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	57566	63153	69283	76008	83385
únor	58012	63642	69820	76597	84031
březen	58461	64136	70361	77190	84682
duben	58914	64633	70906	77788	85339
květen	59371	65133	71455	78391	86000
červen	59831	65638	72009	78999	86666
červenec	60295	66147	72567	79611	87338
srpen	60762	66660	73130	80228	88015
září	61233	67176	73696	80849	88697
říjen	61707	67697	74267	81476	89384
listopad	62185	68221	74843	82107	90077
prosinec	62667	68750	75423	82744	90775

Příloha č. 14: Rezidua po dosažení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-6953	-3843	89	-5461	-13028
únor	-5572	-6391	-1509	-5033	-12677
březen	-4639	-4764	-14	-7843	-13142
duben	-4540	-4266	4323	-3604	-11818
květen	-7937	-3715	3667	-7242	-12482
červen	-5460	2613	2611	-637	-4667
červenec	2245	94	3442	951	-3689
srpen	5100	2702	6070	36	-4405

září	11407	8225	12756	8753	11764
říjen	11945	5864	12173	9096	12415
listopad	7218	2120	6697	6454	7285
prosinec	3889	2784	1289	2869	4957

C. MÁK

Příloha č. 15: Nákupy máku modrého v letech 2009 - 2013

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	5039	33976	21736	15439	16933
únor	6130	35271	24365	15340	21744
březen	6018	38956	24736	17367	20348
duben	7251	38621	25651	18436	22837
květen	7329	37265	25471	19259	24397
červen	11037	45200	29004	25488	26693
červenec	14372	44619	34625	25493	31635
srpen	14398	47103	37210	28050	34109
září	17350	54729	46271	35297	44928
říjen	17354	55271	45265	35722	42487
listopad	16090	49018	43909	30927	44110
prosinec	16352	48376	38992	32846	40297

Příloha č. 16: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	21948	24779	27611	30443	33275
únor	22184	25015	27847	30679	33511
březen	22420	25251	28083	30915	33747
duben	22656	25487	28319	31151	33983
květen	22892	25723	28555	31387	34219
červen	23128	25959	28791	31623	34455
červenec	23364	26195	29027	31859	34691
srpen	23600	26431	29263	32095	34926
září	23835	26667	29499	32331	35162
říjen	24071	26903	29735	32567	35398
listopad	24307	27139	29971	32803	35634
prosinec	24543	27375	30207	33039	35870

Příloha č. 17: Rezidua po dosazení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-16909	9197	-5875	-15004	-16342
únor	-16054	10256	-3482	-15339	-11767
březen	-16402	13705	-3347	-13548	-13399
duben	-15405	13134	-2668	-12715	-11146
květen	-15563	11542	-3084	-12128	-9822
červen	-12091	19241	213	-6135	-7762
červenec	-8992	18424	5598	-6366	-3056
srpen	-9202	20672	7947	-4045	-817
září	-6485	28062	16772	2966	9766
říjen	-6717	28368	15530	3155	7089
listopad	-8217	21879	13938	-1876	8476
prosinec	-8191	21001	8785	-193	4427

Příloha č. 18: Očekávané hodnoty po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	11742	24666	32437	35054	32517
únor	13015	25510	32852	35039	32073
březen	14254	26319	33231	34989	31593
duben	15456	27092	33574	34903	31078
květen	16622	27829	33882	34781	30526
červen	17753	28530	34154	34623	29939
červenec	18848	29196	34390	34430	29316
srpen	19907	29825	34590	34200	28657
září	20931	30419	34754	33935	27963
říjen	21918	30977	34883	33634	27232
listopad	22870	31500	34976	33298	26466
prosinec	23786	31986	35033	32925	25664

Příloha č. 19: Rezidua po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-6703	9310	-10701	-19615	-15584
únor	-6885	9761	-8487	-19699	-10329

březen	-8236	12637	-8495	-17622	-11245
duben	-8205	11529	-7923	-16467	-8241
květen	-9293	9436	-8411	-15522	-6129
červen	-6716	16670	-5150	-9135	-3246
červenec	-4476	15423	235	-8937	2319
srpen	-5509	17278	2620	-6150	5452
září	-3581	24310	11517	1362	16965
říjen	-4564	24294	10382	2088	15255
listopad	-6780	17518	8933	-2371	17644
prosinec	-7434	16390	3959	-79	14633

Příloha č. 20: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	16251	19436	23244	27799	33246
únor	16495	19727	23593	28216	33745
březen	16743	20024	23948	28640	34252
duben	16995	20325	24307	29070	34767
květen	17250	20630	24673	29507	35289
červen	17509	20940	25043	29950	35819
červenec	17772	21255	25419	30400	36357
srpen	18039	21574	25801	30857	36904
září	18310	21898	26189	31321	37458
říjen	18585	22227	26582	31791	38021
listopad	18864	22561	26982	32269	38592
prosinec	19148	22900	27387	32754	39172

Příloha č. 21: Rezidua po dosažení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-11212	14540	-1508	-12360	-16313
únor	-10365	15544	772	-12876	-12001
březen	-10725	18932	788	-11273	-13904
duben	-9744	18296	1344	-10634	-11930
květen	-9921	16635	798	-10248	-10892
červen	-6472	24260	3961	-4462	-9126
červenec	-3400	23364	9206	-4907	-4722

srpen	-3641	25529	11409	-2807	-2795
září	-960	32831	20082	3976	7470
říjen	-1231	33044	18683	3931	4466
listopad	-2774	26457	16927	-1342	5518
prosinec	-2796	25476	11605	92	1125

D. ROZINKY

Příloha č. 22: Nákupy rozinek v letech 2009 – 2013

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	7633	13099	8460	8273	17355
únor	6990	12994	9209	9300	18376
březen	7322	14330	8199	8011	17520
duben	8462	16452	7110	11283	16354
květen	9573	18462	8828	16352	20615
červen	11848	22736	15342	21203	25344
červenec	15380	25749	15009	21736	26422
srpen	17452	25514	17445	24621	29347
září	20482	30928	24371	31010	35615
říjen	18462	28646	22094	29637	33048
listopad	17975	28110	22847	26352	32736
prosinec	19005	25471	20487	27303	32487

Příloha č. 23: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	11855	14780	17706	20631	23556
únor	12099	15024	17949	20874	23800
březen	12343	15268	18193	21118	24043
duben	12587	15512	18437	21362	24287
květen	12830	15755	18681	21606	24531
červen	13074	15999	18924	21850	24775
červenec	13318	16243	19168	22093	25018
srpen	13562	16487	19412	22337	25262
září	13805	16731	19656	22581	25506
říjen	14049	16974	19899	22825	25750

listopad	14293	17218	20143	23068	25993
prosinec	14537	17462	20387	23312	26237

Příloha č. 24: Rezidua po dosazení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-4222	-1681	-9246	-12358	-6201
únor	-5109	-2030	-8740	-11574	-5424
březen	-5021	-938	-9994	-13107	-6523
duben	-4125	940	-11327	-10079	-7933
květen	-3257	2707	-9853	-5254	-3916
červen	-1226	6737	-3582	-647	569
červenec	2062	9506	-4159	-357	1404
srpen	3890	9027	-1967	2284	4085
září	6677	14197	4715	8429	10109
říjen	4413	11672	2195	6812	7298
listopad	3682	10892	2704	3284	6743
prosinec	4468	8009	100	3991	6250

Příloha č. 25: Očekávané hodnoty po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	13942	14804	16719	19688	23711
únor	13973	14923	16926	19983	24094
březen	14012	15050	17141	20285	24484
duben	14059	15184	17362	20595	24881
květen	14112	15325	17592	20912	25286
červen	14173	15474	17828	21236	25698
červenec	14241	15630	18072	21568	26117
srpen	14317	15793	18323	21907	26544
září	14399	15963	18581	22253	26978
říjen	14489	16141	18847	22606	27419
listopad	14587	16327	19120	22967	27868
prosinec	14692	16519	19400	23335	28324

Příloha č. 26: Rezidua po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-6309	-1705	-8259	-11415	-6356
únor	-6983	-1929	-7717	-10683	-5718
březen	-6690	-720	-8942	-12274	-6964
duben	-5597	1268	-10252	-9312	-8527
květen	-4539	3137	-8764	-4560	-4671
červen	-2325	7262	-2486	-33	-354
červenec	1139	10119	-3063	168	305
srpen	3135	9721	-878	2714	2803
září	6083	14965	5790	8757	8637
říjen	3973	12505	3247	7031	5629
listopad	3388	11783	3727	3385	4868
prosinec	4313	8952	1087	3968	4163

Příloha č. 27: Očekávané hodnoty po dosazení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	11532	13575	15981	18814	22149
únor	11689	13761	16200	19072	22452
březen	11849	13950	16422	19333	22759
duben	12012	14141	16647	19597	23071
květen	12176	14334	16875	19866	23387
červen	12343	14530	17106	20138	23707
červenec	12512	14729	17340	20413	24031
srpen	12683	14931	17577	20693	24360
září	12857	15135	17818	20976	24694
říjen	13033	15343	18062	21263	25032
listopad	13211	15553	18309	21554	25375
prosinec	13392	15766	18560	21849	25722

Příloha č. 28: Rezidua po dosazení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-3899	-476	-7521	-10541	-4794
únor	-4699	-767	-6991	-9772	-4076
březen	-4527	380	-8223	-11322	-5239

duben	-3550	2311	-9537	-8314	-6717
květen	-2603	4128	-8047	-3514	-2772
červen	-495	8206	-1764	1065	1637
červenec	2868	11020	-2331	1323	2391
srpen	4769	10583	-132	3928	4987
září	7625	15793	6553	10034	10921
říjen	5429	13303	4032	8374	8016
listopad	4764	12557	4538	4798	7361
prosinec	5613	9705	1927	5454	6765

E. LÍSKOVÁ JÁDRA

Příloha č. 29: Nákupy lískových jader v letech 2009 – 2013

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	14387	16355	9201	19387	23756
únor	13004	18376	10387	20934	22746
březen	13746	17355	10766	19004	22247
duben	16453	19032	14315	20756	25739
květen	18044	22836	15342	19685	29444
červen	25396	25341	20030	25869	32000
červenec	23947	26172	28375	30658	42266
srpen	27465	30480	29387	35822	40587
září	32095	37265	34029	43680	46597
říjen	34726	35118	32736	41139	47674
listopad	30291	33726	32816	42068	44727
prosinec	31746	34176	32656	37998	43856

Příloha č. 30: Očekávané hodnoty po dosažení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	18329	22034	25739	29444	33149
únor	18638	22342	26047	29752	33457
březen	18946	22651	26356	30061	33766
duben	19255	22960	26665	30370	34075
květen	19564	23269	26974	30679	34384
červen	19873	23577	27282	30987	34692
červenec	20181	23886	27591	31296	35001

srpen	20490	24195	27900	31605	35310
září	20799	24504	28209	31914	35619
říjen	21107	24812	28517	32222	35927
listopad	21416	25121	28826	32531	36236
prosinec	21725	25430	29135	32840	36545

Příloha č. 31: Rezidua po dosazení do předpisu lineární funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-3942	-5679	-16538	-10057	-9393
únor	-5634	-3966	-15660	-8818	-10711
březen	-5200	-5296	-15590	-11057	-11519
duben	-2802	-3928	-12350	-9614	-8336
květen	-1520	-433	-11632	-10994	-4940
červen	5523	1764	-7252	-5118	-2692
červenec	3766	2286	784	-638	7265
srpen	6975	6285	1487	4217	5277
září	11296	12761	5820	11766	10978
říjen	13619	10306	4219	8917	11747
listopad	8875	8605	3990	9537	8491
prosinec	10021	8746	3521	5158	7311

Příloha č. 32: Očekávané hodnoty po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	22643	22082	23699	27495	33469
únor	22513	22133	23932	27909	34065
březen	22398	22200	24180	28339	34676
duben	22298	22282	24444	28784	35303
květen	22214	22379	24722	29244	35944
červen	22144	22491	25016	29719	36601
červenec	22090	22618	25325	30210	37273
srpen	22051	22760	25649	30715	37960
září	22027	22918	25988	31236	38662
říjen	22018	23091	26342	31771	39379
listopad	22024	23278	26711	32322	40111
prosinec	22045	23481	27095	32888	40859

Příloha č. 33: Rezidua po dosazení do předpisu kvadratické funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-8256	-5727	-14498	-8108	-9713
únor	-9509	-3757	-13545	-6975	-11319
březen	-8652	-4845	-13414	-9335	-12429
duben	-5845	-3250	-10129	-8028	-9564
květen	-4170	457	-9380	-9559	-6500
červen	3252	2850	-4986	-3850	-4601
červenec	1857	3554	3050	448	4993
srpen	5414	7720	3738	5107	2627
září	10068	14347	8041	12444	7935
říjen	12708	12027	6394	9368	8295
listopad	8267	10448	6105	9746	4616
prosinec	9701	10695	5561	5110	2997

Příloha č. 34: Očekávané hodnoty po dosazení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	18197	20870	23934	27449	31480
únor	18406	21109	24209	27764	31841
březen	18618	21352	24487	28083	32207
duben	18832	21597	24768	28405	32577
květen	19048	21845	25053	28732	32951
červen	19267	22096	25340	29062	33329
červenec	19488	22349	25631	29395	33712
srpen	19712	22606	25926	29733	34099
září	19938	22866	26223	30074	34491
říjen	20167	23128	26525	30420	34887
listopad	20398	23394	26829	30769	35287
prosinec	20633	23663	27137	31122	35692

Příloha č. 35: Rezidua po dosazení do předpisu exponenciální funkce

	2009	2010	2011	2012	2013
leden	-3810	-4515	-14733	-8062	-7724
únor	-5402	-2733	-13822	-6830	-9095
březen	-4872	-3997	-13721	-9079	-9960

duben	-2379	-2565	-10453	-7649	-6838
květen	-1004	991	-9711	-9047	-3507
červen	6129	3245	-5310	-3193	-1329
červenec	4459	3823	2744	1263	8554
srpen	7753	7874	3461	6089	6488
září	12157	14399	7806	13606	12106
říjen	14559	11990	6211	10719	12787
listopad	9893	10332	5987	11299	9440
prosinec	11113	10513	5519	6876	8164