Mendelova univerzita v Brně
Provozně ekonomická fakulta

Optimalizace výrobního plánování ve vybraném podniku

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Kolman PhD.

Brno 2017

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Kolmanovi, Pd.D. za jeho cenné rady a připomínky ke zpracování této práce. Také děkuji společnosti, která mi poskytla potřebné informace ke zpracování.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Optimalizace výrobního plánování ve vybraném podniku** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité 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 vědoma, 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 22. května 2017 _____

Abstract

Machařová, Z., Optimization of production planning in the selected company. Bachelor thesis. Brno: Mendel University, 2017.
The bachelor thesis deals with the optimization of production planning with the aim of minimizing the number of production line configurations. The aim of the thesis is to design a production plan that maximizes the number of products of the same type that can be produced in succession. The forecast of demand for individual products is compiled using time series. This prediction, together with restrictive production criteria, is used to build a production plan.

Keywords

Optimization of production planning, minimizing downtime, production plan, analysis of demand development over time, time series.

Abstrakt

Machařová, Z., Optimalizace výrobního plánování ve vybraném podniku. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017.
Bakalářská práce se zabývá optimalizací výrobního plánování se zaměřením na minimalizaci počtu konfigurací výrobních linek. Cílem práce je navržení výrobního plánu, který maximalizuje počet výrobků stejného typu, které lze vyrobit za sebou. Za pomocí časových řad je sestavena predikce poptávky po jednotlivých výrobcích. Tato predikce společně s omezujícími kritérii výroby je využita k sestavení výrobního plánu.

Klíčová slova

Optimalizace výrobního plánování, minimalizace prostojů, plán výroby, analýza vývoje poptávky v čase, časové řady.

Obsah

1 Úvod **11**

2 Cíl práce **12**

3 Literární rešerše **13**

3.1 Řízení výroby ... 13

3.2 Výrobní činnost ... 13

3.3 Plánování výroby ... 14

3.4 Analýza synchronizace práce ... 15

3.5 Vědecké řízení ... 16

3.6 Modely hromadné obsluhy ... 17

4 Metodika **19**

4.1 Data ... 19

4.2 Časové řady ... 19

5 Vlastní práce **29**

5.1 Analýza současného stavu výrobního plánování ... 29

5.2 Dekompozice časové řady ... 30

5.3 Optimalizace výrobního plánování ... 46

6 Diskuze **52**

7 Závěr **54**

8 Literatura **55**

9 Seznam obrázků **57**

10 Seznam tabulek **58**

A Příloha **61**

1 Úvod

Odvětví stavebnictví se vyznačuje výraznými sezónními výkyvy, kdy zpravidla v zimě dochází k útlumu kvůli nepříznivému počasí, zatímco na jaře a na podzim se staví nejvíce. Proto je pro každý podnik spadající do tohoto odvětví nutné, aby pochopil zákonitosti těchto výkyvů. Výsledkem by měla být lepší schopnost dlouhodobého plánování, kdy i během nejvíce vytíženého období je třeba zajistit plynulý chod podniku. Proto je třeba dobře rozvrhnout potřebu lidských zdrojů a kapitálu. Naopak v období útlumu podnik čelí opačnému extrému, kdy má dané zdroje v dostatečné míře k dispozici, ale je třeba je efektivně využít.

V této práci se budu zabývat podnikem, který má jako hlavní činnost výrobu polystyrenu. Zkoumaným problémem je plynulost výroby polystyrenu na výrobních linkách v daném podniku. Hlavním problémem je výskyt prostojů z důvodu konfigurace linky. Při zadávání příkazu k výrobě nové várky výrobků jiného typu je nutný lidský zásah, který vyžaduje ruční přenastavení linky. Toto zdržení zabere 5-30 minut, přičemž k němu dochází několikrát během dne. Prostoje snižují celkové množství vyrobených výrobků během dne a ovlivňují efektivitu celé firmy.

2 Cíl práce

Cílem této práce je na základě dat získaných z dané firmy provést návrh optimalizace výrobního plánování. Sledovaným kritériem jsou prostoje způsobené konfigurací výrobní linky, ke kterým dochází v případě zadání nového typu výrobku do výroby. Snahou je nalezení co nejdelšího řetězce výrobků stejného typu, které je možno vyrábět za sebou. K sestavení výrobního plánu je zapotřebí pochopit průběh poptávky po jednotlivých výrobcích. Bude tedy třeba provést analýzu časových řad pomocí dekompozice poptávky s ohledem na sezónnost a sestavit predikci poptávky pro rok 2017. Díky znalosti budoucí poptávky, bude možné sestavit výrobní plán, který bude optimalizovat výrobní plánování se zaměřením na minimalizaci prostojů.

3 Literární rešerše

3.1 Řízení výroby

V konkurenčním prostředí je pro každý podnik řízení výroby klíčovou částí. Pod pojmem řízení výroby si můžeme představit management výroby a část managementu logistiky. Dobře nastavený proces výroby je jednou z předních konkurenčních výhod, kterých se podnik snaží dosáhnout. Samotné řízení výroby můžeme rozdělit na tři části. (SVĚTLÍK, 2002, online)

- **Strategické řízení** je hierarchicky nejdůležitější částí. Představuje definování dlouhodobých cílů, které zajišťují ekonomickou rentabilitu výroby, rozvoj nových technologií. Určuje také sortiment výrobků, který bude vyráběn. Pro strategické řízení je nutná znalost finančního managementu podniku a celkové organizační struktury. Strategické řízení může být vytvářené též externě mimo prostředí podniku za poskytnutí firemního know-how.
- **Taktické řízení** zabezpečuje v praxi rozhodnutí definovaná strategickým řízením. Zajímá se o zodpovězení otázek co, kdy a jak bude uděláno. Může se jednat například o zavedení nového výrobku nebo techniky.
- **Operativní řízení** řeší probíhající procesy a jejich ekonomické provedení. Zabývá se každodenními problémy, zajišťuje plynulý chod výroby, bezporuchovost strojů, ale i snižování nákladovosti mezd a surovin.

3.2 Výrobní činnost

Výrobním procesem rozumíme přeměnu surovin na výrobky, skládá se z pracovních procesů neboli procesů, které vyžadují přímou účast člověka, dále z procesů automatizovaných, bez přímé účasti člověka a z procesů přírodních, jako je chemická reakce při výrobě polystyrenu.

Výrobu můžeme dělit následovně. (SYNEK, 2010)

- **Výroba na zakázku** (custom-order production) přímo odráží požadavky zákazníka na daný výrobek. Jedná se o vysoce individualizované výrobky vyráběné většinou kusově.
- **Vázaná hromadná výroba** (rigid mass production) představuje vysoce standardizovanou výrobu, a to zejména ze strany výrobků, technologie i materiálu. Jedná se o masovou výrobu. Někdy bývá označována jako pevná hromadná výroba.
- **Pružná hromadná výroba** (flexible mass production) je kombinací zakázkové i pevné výroby. Tento typ výroby používá standardizování komponent, ale i individualizaci podle přání zákazníka. Jako příklad můžeme uvést požadavek zákazníka na nařezání polystyrenových desek na poloviční rozměr a použití speciální balící fólie s logem zákazníka.

V tomto případě výroba desek spadá pod standardizovanou pevnou hromadnou výrobu, ale finální zhotovení je individualizované.

- **Plynulá výroba** spočívá v téměř nepřetržité výrobě, která je zajištěna maximální automatizací celého procesu. Vyžaduje minimální přímou asistenci člověka, čímž redukuje chyby a zároveň je schopná umožnit plynulý přísun výrobků 24 hodin denně 7 dní v týdnu. Výsledkem jsou výrazně nižší provozní náklady, ale naopak vyžaduje vysoké fixní náklady.

3.3 Plánování výroby

Správné plánování výroby je primárním bodem úspěšnosti celého procesu. Otázkou nezůstává pouze co, jak a kdy vyrobit, ale také pro koho, čím a kde. Pro plánování výroby je klíčové správně pochopit poptávku, aby nedošlo k přebytku výrobků, které by v sobě zbytečně vázaly kapitál nebo naopak k neuspokojení poptávky, což by kromě ušlého zisku mohlo vést k rozvázání vztahů se zákazníkem a ke špatné recenzi. (TOMEK, 2000, str.13)

Plán výroby se sestavuje podle plánu prodeje a kapacitních možností podniku. Součástí jsou i podpůrné procesy pomáhající k plynulosti výroby. Cílem je hospodárně využít daných zdrojů v podobě lidského kapitálu, surovin a dalších aktiv nutných k výrobě.

3.3.1 Kapacitní plánování

Kapacitní plánování může být z hlediska dlouhého i krátkého období. Dlouhým obdobím rozumíme období roku i několika let, mezi tyto plány řadíme nákupy nových výrobních strojů nebo prostorů. Do krátkodobého kapacitního plánování řadíme zapůjčení strojů nebo zaměstnání brigádníků během sezóny. Kapacitní rozhodování je založené na odhadu budoucí poptávky a musí být v souladu s operační strategií podniku. Podíl aktuálního využití sledovaného zařízení a jeho kapacity vyjadřuje míru využití kapacity. Míra využití se liší v každém typu průmyslu i firmě. Proces plynulé výroby může dosahovat až 100 % využití. Procesy montážních linek mívají 80 % využití, aby byla zajištěna flexibilita v případě nečekané poptávky. V krátkém čase může podnik využívat víc než 100 % svých kapacit. Může toho dosáhnout navýšením pracovní doby nebo omezením ostatních procesů. V dlouhodobém měřítku ale zaměstnanci budou odmítat pracovat přesčas, opomenuté procesy bude třeba obnovit, a především přečerpávání kapacit způsobuje vyšší náklady. (SCHROEDER, 2011)

3.3.2 Predikce poptávky

Do výrobního plánu je nutné zahrnout budoucí poptávku. K sestavení správné předpovědi vede podle Heizera (2010) 7 kroků.

1. Určení využití předpovědi vysvětluje, proč se predikcí zabývat. Může se jednat o využití v personálním plánování, pro plánování potřebných zásob nebo využití strojů.
2. Určení položek, které mají být předpovídány.
3. Určit časový horizont předpovědi. Může se jednat o předpověď na další den, nebo i pro příští rok.
4. Vybrat model, za pomocí kterého bude provedena předpověď. Využívá se modelu klouzavých průměrů, časových řad, nekvantitativních modelů. V této práci se zaměříme na metodu časových řad, která bude podrobněji popsána v kapitole 4.
5. Získání dat potřebných k předpovědi. Získání dat zahrnuje i nalezení vlivů, které můžou ovlivňovat celý systém. V složitých modelech může být zahrnut kromě času i vývoj světové burzy, míry inflace nebo předpovědi počasí.
6. Sestavení předpovědi.
7. Kontrola a implementace výsledku.

3.4 Analýza synchronizace práce

I když jsou ve firmě zaměstnáni pracovití a snaživí pracovníci, přesto nemusí dosahovat požadované produktivity práce. Příčin může být několik. Synchronizace práce mezi strojem a pracovníkem není nastavena tak, aby minimalizovala čas čekání pracovníka na stroj a naopak. Dále se může jednat o špatně uspořádané pracoviště, kde pracovník musí absolvovat několik zbytečných pohybů a cest. Správná synchronizace procesů vykonávaných strojem a pracovníkem má za důsledek řadu pozitivních dopadů, a to: (TOMEK, 2014)

- Snížení průběžné doby výroby, minimalizace prostojů
- Zlepšení kvality procesu
- Zlepšení produktivity práce
- Zlepšení bezpečnosti práce a snížení namáhavosti práce
- Snížení zásob rozpracované a nedokončené výroby

Pro normování kapacit a výkonů je nutné nejdříve provést pohybové studie, aby byly nalezeny zbytečné pohyby a činnosti, které nepřinášejí žádnou přidanou hodnotu. Snahou je nalézt všechny příčiny plýtvání časem, kapacitou zařízení a lidským kapitálem.

Pohybovými studiemi a plýtváním časem a kapitálem se zabývá japonský princip *muda* (plýtvání), který rozpoznává tři vrstvy plýtvání. (TAKEDA 2012)

- **Katakana-muda** je nejsnadněji rozpoznatelné plýtvání, které lze okamžitě eliminovat. Patří sem čekání, přemýšlení, rovnání součástek, cesta k součástkám, hledání, dvojí práce.
  - **Kanji-muda** značí plýtvaní ze strany strojů a jiných zařízení. Jedná se o zpáteční cesty bez nákladu, nevyužité kapacity apod. Vyznačuje se různými rytmy prováděných akcí a také prostoji, kdy stroj nebo

pracovník čeká. Tento druh plýtvaní může být rozeznán všímavým manažerem nebo analytickými metodami. Tato práce se soustředí zejména na kanji-muda typ plýtvání, kde není nastavená optimální synchronizace práce stroje a dochází k prostojům z důvodu čekání na ruční přenastavení.

- **Hiragana-muda** je posledním typem plýtvání. Oproti kanji-muda se týká plýtvání lidskou pracovní sílou. Patří sem například špatné umístění součástek v prostoru, vracení se do výchozí pozice a zbytečné ruční práce. Tyto činnosti jsou těžko rozpoznatelné, ale velmi důležité k eliminaci. Jejich odstraňování vyžaduje upravení návyků pracovníků.

3.5 Vědecké řízení

Podle Grose (2013) je vědecké řízení způsob rozhodování založený na vědeckých metodách kvantitativních analýz. Matematické modelování problémů lze využít pro plánování a řízení výroby, dále pro operativní rozpisy plánu, analýzu a optimalizaci výrobního programu a jiné.

Zapojení kvantitativních metod je nutné při složitých rozhodovacích situacích, které jsou ovlivněny vnějšími i vnitřními vlivy, dále při řešení nových nebo rutinních problémů, které lze vyřešit automatizací a konečně v případech, kdy sledovaný problém má silný vliv na náklady, tržby nebo jiné ekonomické ukazatele.

Sledovaný problém bývá často ovlivňován velkým množstvím vlivů, proto se využívá záměrně zjednodušená verze reálného problému nazývaná systém. Systém může být znázorněn například graficky, matematicky nebo slovně.

Vymezení problému spočívá ve správné formulaci cíle. Vysoká pestrost cílů způsobuje špatné pochopení postupu řešení. Je tedy zapotřebí dekomponovat cíle na nižší úrovně řízení. Dále je nutné vymezit způsob dosažení cíle, zachytit hlavní faktory, které ovlivňují řešení problému a stanovit omezující podmínky, v rámci kterých je řešení realizovatelné.

Problém se znázorňuje pomocí systému, který je zjednodušeným obrazem reálného objektu. Jedná se o abstrakci reality. Model je poté dvoustupňovou abstrakcí reálného problému. V první fázi modelování by se měly používat především jednoduché modely.

Modely dělíme podle

- Fyzické podoby
  - **Repliky** jsou zmenšeniny reality, mají hmotnou podobu. Replikou je model navrhované dopravní lodi nebo letadla.
  - **Analogové modely** jsou funkčním znázorněním sledovaných objektů.
  - **Matematické modely**, které za využití matematických vztahů, výrazů a symbolů napodobují sledovaný objekt.
- Očekávaného použití
  - **Popisné modely**, které znázorňují základní charakteristiky objektu. Jsou velmi využívány při manažerském rozhodování.

    - **Prognostické modely** pomocí metody časových řad předvídají vývoj sledovaného objektu.
    - **Optimalizační modely** mají za cíl najít nejlepší možné řešení sledovaného problému.
- Tvaru výstupu
    - **Deterministické** modely neobsahují chybovou složku. Pro konkrétní vstupy jsou jednoznačně určeny konkrétní výstupy.
    - **Stochastické** modely obsahují chybovou složku. Jen s určitou pravděpodobností lze vstupům přiřadit jejich výstupy.

3.6 Modely hromadné obsluhy

Podle Jablonského (2007) je systém hromadné obsluhy tvořen dvěma základními prvky, a to požadavky a obslužnou linkou. Požadavky vstupují do systému za účelem provedení obsluhy. Obslužná linka zabezpečuje realizaci těchto požadavků. Požadavky přichází do systému v různých intervalech a různé intenzitě. Zároveň obslužná linka je limitovaná svou kapacitou. Kvůli omezujícím podmínkám linky a kvůli intenzitě požadavků se často stává, že požadavky nejsou okamžitě realizovány, ale vytváří se fronty. Z tohoto důvodu se tato disciplína také nazývá modely front.

Cílem analýzy modelu hromadné obsluhy je zajištění plynulého chodu celého procesu. Na jednu stranu je snahou zabránit tvorbě front, ale na druhou stranu není vhodné, aby linky nebyly dostatečně využívány a tvořily se prostoje.

Systémem hromadné obsluhy je například výrobní linka, kde mezi obslužné linky patří místa na výrobní lince a požadavky tvoří výrobky. Systémem jsou ale i případy jako je lyžařské středisko, kde obslužnou linkou jsou vleky a požadavky tvoří lyžaři.

Vstup požadavků do systému můžeme popsat podle intenzity, která zobrazuje množství příchozích požadavků nebo podle délky intervalu mezi vstupy. Příchod požadavků může být

- **Deterministický** v případě, že intervaly mezi jednotlivými požadavky jsou stejné. Jedná se na příklad o automatizovanou výrobní linku, která vyrábí jednotlivé výrobky stále ve stejném tempu.
- **Pravděpodobnostní** v případě, kdy intervaly mezi jednotlivými požadavky jsou proměnlivé a jejich příchod nastane jen s určitou pravděpodobností. Jsou to na příklad příchozí poptávky po výrobcích.

Síť obslužných linek může být tvořena v nejjednodušším případě jednou obslužnou linkou. Jestliže existuje více obslužných linek, rozlišujeme jejich uspořádání na paralelní a sériové. Paralelní rozdělení je za předpokladu, kdy jsou všechny linky schopné poskytnout stejnou obsluhu. Všechny linky jsou tedy stejné a není důležité, na které lince bude požadavek vyřízen. Rozlišuje se zde, jestli se pro všechny linky tvoří společná fronta *(systém s jednou frontou*) nebo se u každé linky tvoří samostatná fronta (*systém s více frontami*). Při sériovém rozdělení linek musí požadavek projít všemi linkami, aby byl obsloužen.

Disciplína fronty určuje, v jakém pořadí budou požadavky vyřizovány. Rozlišujeme čtyři základní způsoby. (Gros, 2003)

- **FIFO** (first in first out), kde požadavky jsou vyřizovany v pořadí jejich příchodu. Nejdříve se vyřizuje nejstarší požadavek.
- **LIFO** (last in first out), kde je nejdříve vyřízen požadavek, který do systému vstoupil jako poslední.
- **S prioritami**, kde jsou výrobky vyřizovány podle pořadí vstupu do systému, ale některé výrobky mají přednost k dřívější obsluze.
- **S náhodným výběrem**, kde neexistuje žádný princip pořadí, ale požadavky jsou náhodně vybírány k obsloužení.

4 Metodika

4.1 Data

K získání dat bylo použito interní databáze firmy. Data byla zaznamenávána v reálném čase a mají rozsah od ledna 2011 do prosince 2016. Jelikož jsou data intervalová a máme přehled o všech kusech výrobků, můžeme je sčítat a vytvořit z nich měsíční data. Vytvořené časové řady výrobků A-E jsou tedy ekvidistantní, intervalové, krátkodobé, naturální a tvořené z řady absolutních členů. K analýze časové řady bylo využito programu Microsoft Excel a Gretl.

K sestavení plánu výroby bylo dále využito interních informací ohledně výrobních kapacit a skladových prostorů.

4.2 Časové řady

Časová řada Y_t je posloupnost náhodných veličin v čase. Pro vstupní data je nezbytné, aby byla shodná z věcného i prostorového hlediska. Dále je nutné je seřadit chronologicky od minulosti do přítomnosti. Smyslem tvorby časových řad je pochopení mechanismu, proč jsou data právě v této podobě. V této práci bude analyzována časová řada představující vývoj poptávky po určitých výrobcích v čase.

Hlavním cílem je nalezení vazeb, podle kterých celý mechanismus funguje, jde nám o nalezení modelu, který charakterizuje způsob vzniku dat, přičemž uvažujeme, že jsou data ovlivněna pouze časem. Můžeme říct, že platí teoretický koncept na základě empirických (naměřených) dat. Díky modelu je možné vytvořit predikci pro následující období, což nám umožní se na toto období řádně připravit. (HAMPEL, 2016, str. 49)

Pro analýzu časových řad rozlišujeme dva typy modelů. (HINDL,1999)

- Jednorozměrný model, kde je závislá proměnná ovlivňována jen faktorem času.

$$Y_t = f(t) + \varepsilon_t \tag{1}$$

  pro $t = 1,2, \dots, T$ kde T je počet sledovaných období.

- Vícerozměrný model, kde je závislá proměnná ovlivňována kromě faktoru času i jinými faktory.

$$Y_t = f(t; x_1, x_2, \dots x_n) + \varepsilon_t \tag{2}$$

  pro $t = 1,2, \dots, T$

V této práci bude využito jednorozměrného modelu.

Časové řady dělíme z několika hledisek, pro ilustraci budou uvedeny některé z nich. (HINDLS, 2007)

Podle náhodnosti:

- **Deterministické**
  Nemají reziduální složku, jejich chování můžeme bezchybně předpovídat. Hodnoty jsou přímo dané, proto je zbytečné takovouto řadu modelovat.

- **Stochastické**
  Mají reziduální složku, kterou nelze předvídat.

Podle periodicity:

- **Krátkodobé**
  Periodicita je kratší než jeden rok. Pro krátkodobá data je charakteristická sezónnost.
- **Dlouhodobé**
  Periodicita je delší než jeden rok. Sledujeme hlavně dlouhodobé trendy.

Podle charakteru ukazatele:

- **Okamžikové časové řady**
  Zaznamenávají data v daných chvílích. Nevíme, co se dělo mezi měřeními. Data nelze sčítat, ale můžeme je průměrovat. Jedná se například o každodenní měření kvality surovin v 8 hodin, přičemž nevíme, jaké hodnoty proběhly mezi měřeními.
- **Intervalové časové řady**
  Data jsou zaznamenávána v intervalech, oproti okamžikové časové řadě máme přehled o celém časovém úseku. Data můžeme sčítat i průměrovat.

Podle ekvidistantnosti:

- **Ekvidistantní**
  Čas mezi jednotlivými měřeními hodnot y_t je konstantní. Data bývají zachycena každou hodinu, každý den apod.
- **Neekvidistantní**
  Data nejsou měřena po konstantních dobách.

4.2.1 Problémy analýzy časových řad

Křivý (2012) zaznamenává několik problémů, které mohou významně ovlivnit kvalitu analýzy časových řad.

Problémy ve volbě délky období
Při volbě délky období ovlivňujeme počet proměnných. U měsíčních dat máme 12 pozorování do roka a definujeme 12 proměnných. Při nastavení například denních hodnot, bychom realizovali 365 pozorování do roka a definovali 365 proměnných. V takovém případě by bylo velmi obtížné pochopit a okomentovat jednotlivé proměnné. Naopak při realizaci jen jednoho pozorování do roka, bychom ztratili informace například o sezónnosti dat.

Problémy s kalendářem
Různý počet dnů, víkendů, pracovních dnů v měsíci nebo i pohyblivé svátky zkreslují hodnoty. Proto je důležité přepočítat data na stejný základ. Pro standardizování délky měsíce je potřeba zjistit průměrnou délku měsíce a přepočítat na ni všechny hodnoty.

4.2.2 Elementární charakteristiky časových řad

Elementární charakteristiky časových řad využíváme k určení absolutních a relativních změn dynamiky. U časové řady s délkou T získáme až T-1 ukazatelů. Základními charakteristikami jsou: (CIPRA, 2012)

- Absolutní diference (změny) d_t
  - **První diference** určuje změnu mezi dvěma po sobě jdoucími hodnotami.

$$d_t = y_t - y_{t-1} \tag{3}$$

$pro\ t = 2, 3, \dots, T$ kde
y_t je hodnota ukazatele v běžném období
y_{t-1} je hodnota ukazatele v předchozím období

  - **Průměrná diference** určuje průměrnou změnu za celé období.

$$\bar{d} = \frac{1}{T-1}\sum_{t=2}^{T} d_t = \frac{y_T - y_1}{T-1} \tag{4}$$

y_1 je hodnota v prvním sledovaném období
y_T je hodnota v posledním sledovaném období

  - **Sezónní diference** zobrazuje změnu stejného období ve dvou po sobě jdoucích letech.

$$^{sez}d_t = y_t - y_{t-m} \tag{5}$$

Pro $t = m + 1, m + 2, \dots, T$ kde

y_t je hodnota ukazatele v běžném období
y_{t-m} je hodnota ukazatele stejného období předchozího roku

- Koeficienty růstu
  - **Koeficient růstu** v relativní podobě vyjadřuje o kolik vzrostla hodnota oproti předchozímu období.

$$k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}} \tag{6}$$

pro $t = 2, 3, \dots, T$

  - **Průměrný koeficient přírůstku** v relativní podobě vyjadřuje o kolik se průměrně změní hodnota za celé období.

$$\bar{k} = \sqrt[T-1]{\prod_{t=2}^{T} k_t} = \sqrt[T-1]{\frac{y_T}{y_1}} \tag{7}$$

- **Sezónní koeficient růstu** v relativní podobě zobrazuje změnu stejného období ve dvou po sobě jdoucích letech.

$$^{sez}k_t = \frac{y_t}{y_{t-m}} \tag{8}$$

pro $t = m+1, m+2, \dots, T$

- Koeficienty přírůstku
  - **Koeficient přírůstku**

$$\delta_t = \frac{d_t}{y_{t-1}} = k_t - 1 \tag{9}$$

pro $t = 2, 3, \dots, T$

  - **Průměrný koeficient přírůstku**

$$\bar{\delta} = \bar{k} - 1 \tag{10}$$

  - **Sezónní koeficient přírůstku**

$$^{sez}\delta_t = \frac{y_t}{y_{t-m}} - 1 = {}^{sez}k_t - 1 \tag{11}$$

pro $t = m+1, m+2, \dots, T$

4.2.3 Odhad parametrů model

Nejčastější metodou odhadu parametrů trendové funkce je metoda nejmenších čtverců (OLS). Můžeme ji použít jen v případě, kdy je daná trendová funkce lineární v parametrech. Výhodou je její snadná numerická aplikace. Princip této metody spočívá v minimalizaci sumy čtverců reziduí. (HUŠEK, 2007)

Touto metodou lze přímo kvantifikovat parametry pro lineární a parabolickou funkci. Exponenciální funkci je nutné nejdříve zlinearizovat a to zlogaritmováním.

Modifikovanou exponenciální trendovou funkci, logistickou trendovou funkci a Gompertzovu křivku nelze linearizovat v parametrech. Proto pro kvantifikaci parametrů nemůžeme použít metodu nejmenších čtverců.

4.2.4 Dekompoziční metoda

Podle Vědeckého sborníku VŠE v Praze (1995) dekompoziční metoda uvažuje závislost náhodných veličin pouze na čase. Spočívá v dekompozici procesu do čtyř složek, přičemž každá z nich má své typické znaky, a proto proces nemůžeme posuzovat jako celek, ale musíme se zaměřit na každou složku zvlášť. Trendová, sezónní a cyklická složka tvoří systematickou část časové řady. Smyslem této metody je co nejlepší vymodelování systematické části tak, aby co nejlépe vysvětlovala celou časovou řadu. Zároveň chceme minimalizovat nesystematickou reziduální část. Rozdělení časové řady na čtyři složky může být dvěma způsoby.

- Aditivní dekompozice

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t \quad (12)$$

- Multiplikativní dekompozice

$$Y_t = T_t * S_t * C_t * \varepsilon_t \quad (13)$$

4.2.4.1 Trendová složka T_t

Trend patří mezi procesy, které probíhají v řádu let. Znázorňuje dlouhodobou tendenci k růstu nebo poklesu. Pro matematické vyjádření lze použít exponenciální vyrovnání nebo klouzavé průměry. Ve stavebnictví mohou trend ovlivnit například statní dotace na bydlení. (HAMPEL, 2016)

4.2.4.2 Sezónní složka S_t

Sezónní složka představuje periodicky se opakující odchylku od trendu a zachycuje krátké období kalendářního roku. Nejčastěji je měřena v měsíčních periodách nebo v periodách ročního období. (ARLT, 2007)

Stavební odvětví se vyznačuje výraznou sezónností poptávky, proto jsou tyto výkyvy pro nás podstatné. Na jaře a na podzim dochází ke zvýšení poptávky, v létě k vyrovnání a v zimě k útlumu. (Český statistický úřad, 2007, [online]).

4.2.4.3 Cyklická složka C_t

Cyklická složka fluktuuje kolem trendu a je dlouhodobým procesem, oproti sezónnosti ale není vázána na kalendářní rok. Cyklus je způsoben ekonomickými i neekonomickými příčinami. Nejdůležitějším cyklem, který ovlivňuje poptávku téměř ve všech odvětvích, je hospodářský cyklus. Jedná se o střídání expanze a recese, přičemž při expanzi dochází k růstu reálného HDP za dvě po sobě jdoucí čtvrtletí. Recese je opačným jevem. (HOLMAN, 2011)

4.2.4.4 Náhodná složka ε_t

Ve skutečnosti bývá sledovaný jev ovlivňován i náhodnou složkou, jedná se tedy o stochastické členění časových řad. Náhodná složka představuje nahodilé výkyvy, které jsou ovlivněny nezávislými efekty. Příkladem náhodné složky může být chyba v měření nebo výpadek objednávkového systému. (ADAMEC, 2014)

4.2.5 Popis trendové složky

Podle Hindlse (2007) mezi nejdůležitější funkce popisující tendenci vývoje dané řady patří lineární, parabolická, exponenciální, modifikovaná (posunutá) exponenciální, logistická a Gompertzova křivka.

První tři trendové funkce jsou považovány za jednoduché jak z pohledu odhadu parametrů, tak i z pohledu jejich průběhu. Jejich společnou charakteristikou je, že nemají asymptotu, proto i jejich růst není omezen.

U dalších tří trendových funkcí již není tak jednoduché odhadnout jejich parametry, dokonce i průběh funkce je komplikovanější. U těchto funkcí nalezneme i asymptotu, jsou tedy typické pro modelování řad s omezenými zdroji, které jsou v ekonomických řadách časté.

Detailněji uvedeme pouze první tři typy trendových funkcí, jejichž charakteristiky popsal Hindls (2007).

4.2.5.1 Lineární trend

Lineární trend je nejjednodušší a nejvíce používanou trendovou funkcí. Jeho výhodou je, že lze použít vždy, když chceme orientačně určit směr vývoje časové řady. Funkci lineárního trendu zapíšeme ve tvaru

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 * t \tag{14}$$

pro $t = 1,2, \dots n$

Kde β_0 a β_1 jsou neznámé parametry trendové přímky a t je časový regresor. Kvantifikaci parametrů provedeme díky metodě nejmenších čtverců.

4.2.5.2 Parabolický trend

Matematický zápis parabolického trendu znázorňuje následující rovnice.

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 * t + \beta_2 * t^2 \tag{15}$$

pro $t = 1,2, \dots, n$

Kde β_0, β_1 a β_2 jsou neznámé parametry trendové přímky a t je časový regresor. Pro odhad parametrů použijeme metodu nejmenších čtverců jako v předchozím případě.

4.2.5.3 Exponenciální trend

Funkce exponenciálního trendu má tuto podobu

$$T_t = \beta_0 + \beta_1^t \tag{16}$$

pro t= $1,2, \dots, n$

Kde β_0 a β_1 jsou neznámé parametry trendové přímky a t je časový regresor.

Exponenciální trendová funkce není lineární v parametrech, proto nemůžeme přímo použít OLS. Nejdříve je nutné upravit funkci následujícím způsobem.

$$Log(T_t) = log(\beta_0) + t * log(\beta_1) \quad (17)$$

Z tohoto tvaru můžeme již použít metodu nejmenších čtverců, bude tedy platit

$$Q = \sum(log\ y_t - log\ T_t)^2 \ \dots min \quad (18)$$

Odhad parametrů metodou OLS není nejvhodnější metodou kvůli linearizující transformaci, která způsobí, že nejsou dostatečně dobré statistické vlastnosti a nedostaneme kvůli ní nezkreslené a konzistentní odhady. Lepším řešením je využití vážené metody nejmenších čtverců.

$$Q = \sum(\log y_t - \log T_t)^2 * wt \dots min \quad (19)$$

Kde w_t znázorňuje váhu.

Další možností, jak lze kvantifikovat parametry funkce, je metoda vybraných bodů. Výhodou této metody je, že nemusíme linearizovat funkci v parametrech, ale vycházíme z původního stavu.

Pro výpočet využijeme časové osy $t = 1, 2, \dots, m$, kde vybereme bod t a následně bod t+m a položíme empirickou hodnoty řady rovné teoretické v daných bodech. Dostaneme tyto rovnice

$$y_t = \beta_0 + \beta_1^t \quad (20)$$

$$y_{t+m} = \beta_0 + \beta_1^{t+m} \quad (21)$$

4.2.6 Sezónní složka

Sezónností je kolísání v časové řadě kolem trendu, které se periodicky opakuje s délkou jednoho roku. Tyto změny můžou být důsledkem střídání ročních období nebo i zažitých lidských zvyků.

Jestliže počet sezón značíme S, tak pro čtvrtletní data S=4 a pro měsíční S=12. Sezónní složky zachycují nula-jedničkové uměle vytvořené dummy proměnné. Jelikož v celkovém modelu je zahrnut konstantní parametr, musíme do modelu zahrnout jen S-1 umělých proměnných, v opačném případě by nevynechání jedné z dummy proměnných způsobilo lineární závislost vysvětlujících proměnných.

Rozlišujeme dva typy sezónnosti, a to konstantní a proporcionální. Při konstantní sezónnosti předpokládáme, že výkyv každého dílčího období od trendu je konstantní a během let neměnný. Výkyvy všech sezón během jednoho roku se vzájemně kompenzují a jejich součet je roven nule. Při proporcionální sezónnosti se mění jednotlivé výkyvy dílčích období přímo úměrně v závislosti na úrovni trendové křivky. (ARTL ,2007)

4.2.7 Bílý šum

U správně sestaveného modelu má reziduální složka $\varepsilon_t(u_t,a_t)$ vlastnosti bílého šumu. Bílým šumem je náhodná složka, pro kterou platí tyto předpoklady: (ARTL, 1999)

- **$E(\varepsilon_t)=0$**

Předpoklad o nulové střední hodnotě, který říká, že reziduální složka systematicky nepůsobí na sledované hodnoty y_t.

- **$D(\varepsilon_t)= \sigma^2$**

  Předpoklad o konstantním rozptylu, kde se variabilita reziduální složky rovná kladné konstantě, která není známá.

- **$Cov(\varepsilon_t\ \varepsilon_t)=0$ pro $i \neq j$**

  Předpoklad párové nezávislosti neboli nekorelaci. Tyto tři předpoklady jsou nutné pro správně zvolený model. Jestliže je splněn i následující předpoklad, hovoříme o normálním bílém šumu.

- **Reziduální složka má normální rozdělení**

  Předpoklad o normálním rozdělením chybové složky je doplňkovým na rozdíl od předchozích předpokladů, které jsou nutné. Splní-li chybová složka předcházející předpoklady, mluvíme o bílém šumu, pokud reziduální složka splní i předpoklad o normálním rozdělení, hovoříme o normálně rozděleném bílém šumu.

4.2.8 Testování modelu

4.2.8.1 Statistické testování

Základním předpokladem pro správně zvolený model je statistická významnost parametrů a modelu jako celku. K ověření se používá t-test a F-test známé i jako HEGY testy (LÜTKEPOHL, 2004)

4.2.8.1.1 T-test

Díky t-testu jsme schopni ověřit statistickou významnost jednotlivých parametrů modelu. Podle nulové hypotézy H_0 je parametr statisticky nevýznamný. Alternativní hypotéza H_1 naopak říká, že je parametr statisticky významný.

H_0: $\beta_i = 0$

H_1: $\beta_i \neq 0$ pro i=0,1,…k

Testovacím kritériem při sledování statistické významnosti podle t-testu chceme docílit zamítnutí nulové hypotézy pro všechny parametry. V případě nezamítnutí H_0 uvažujeme o vypuštění daného regresoru z modelu. U konstantního parametru β_0 tolerujeme i statistickou nevýznamnost. Zároveň pokud alespoň jeden z periodických parametrů sezónní složky je statisticky významný, ponecháme v modelu všechny parametry sezónní složky.

4.2.8.1.2 F-test

F-test ověřuje statistickou významnost modelu jako celku. Kde nulová hypotéza říká, že model jako celek není statisticky významný, zatímco podle alternativní hypotézy model je statisticky významný.

Vyjde-li statistická významnost podle F-testu i všech t-testů pro jednotlivé parametry, model považujeme za vhodný pro vystižení variability závislé proměnné, to ale nemusí znamenat, že je model správně sestavený. Vyjde-li statistická nevýznamnost podle F-testu i všech t-testů, model nevystihuje variabilitu závislé proměnné a je nevhodný. Pokud vyjde statistická významnost podle F-testu, ale některé parametry jsou statisticky nevýznamné, model je vhodný, ale je třeba se zamyslet nad vypuštěním těchto parametrů z modelu. Vyjde-li podle F-testu statistická významnost, ale všechny parametry jsou nevýznamné, došlo k paradoxu, který byl způsoben multikolinearitou, tedy lineární závislostí regresorů. (LÜTKEPOHL, 2004)

4.2.8.2 Ekonometrické testování

K ověření předpokladů bílého šumu s normálním rozdělením je zapotřebí provést testy ověřující homoskedasticitu reziduí, nekorelaci reziduí a normalitu reziduí. (ARTL, 2007)

4.2.8.2.1 Homoskedasticita reziduí

K posouzení homoskedasticiti reziduí (konstantního rozptylu chybové složky) je vhodné využít grafu reziduí v závislosti na čase, přičemž při homoskedasticitě jsou hodnoty v grafu náhodně uspořádány na obou stranách nulového rezidua a nelze je proložit křivkou.

Dále se využívá testů ověřujících homoskedasticitu reziduí, jako je Whiteův nebo Bresch-Paganův test.

Testy mají tyto hypotézy:

$$H_0: chybová\ složka\ má\ konstnantí\ rozptyl$$
$$H_1: Chybová\ složka\ nemá\ konstantní\ rozptyl$$

4.2.8.2.2 Nekorelace reziduí

K ověření předpokladu nekorelace chybové složky se využívá výběrové ACF a výběrové PACF, přičemž hodnoty by neměly překročit dané pásmo.

Je také vhodné využít i testů ověřujících autokorelaci. Durbin-Watsonův test ověřuje autokorelaci prvního řádu, jeho porušení může znamenat špatně vymodelovanou trendovou složku. Ljung-Boxův test ověřuje autokorelaci vyššího řádu, při jeho porušení se může jednat o špatně vymodelovanou sezónní složku.

Testy autokorelace mají tyto hypotézy:

$$H_0: chybová\ složka\ není\ postižená\ autokorelací$$
$$H_1: chybová\ složka\ je\ postižená\ autokorelací$$

4.2.8.2.3 Normální rozdělení reziduí

K ověření normálního rozdělení chybové složky můžeme využít grafického zobrazení pomocí histogramu reziduí, kde by rezidua měla být uspořádána přibližně do Gaussovy křivky. Dále můžeme využít Q-Q graf neboli kvantil-kvantil graf, ve kterém jsou proti sobě zobrazeny teoretické kvantily a skutečné, naměřené kvantily. Rezidua mající normální rozdělení, by měla být uspořádána na ose. (StatSoft, 2012, online)

Mezi testy ověřující normální rozdělení reziduí patří chí-kvadrát dobré shody, který ale lze použít jen na větší soubory dat a Shapirův-Wilkův test vhodný i pro menší soubory dat. Dále i Jarqueův-Berův test a jiné.

Testy normality mají tyto hypotézy:

$$H_0: chybová\ složka\ má\ normální\ rozdělení$$
$$H_1: chybová\ složka\ nemá\ normální\ rozdělení$$

5 Vlastní práce

Hlavním smyslem této práce je sestavení plánu výroby pro určité výrobky tak, aby podnik mohl vyrábět každý typ daného výrobku v co nejdelším řetězci za sebou. Při konfiguraci výrobní linky na jiný druh výrobků je za potřebí lidského zásahu, čímž se vytvářejí zbytečné prostoje. K sestavení výrobního plánu je důležité správně pochopit poptávku po daných výrobcích. Podcenění poptávky by si vyžádalo operativní řešení a přerušení daného plánu, to by mělo za následek časté přenastavování linky a docházelo by k nežádoucím prostojům. Naopak přecenění poptávky by způsobilo hromadění výrobků na skladě, které by zabíraly skladové prostory, a tím omezovaly výrobu jiných výrobků. Zároveň by došlo k zbytečnému vázání kapitálu a navýšeným skladovacím nákladům.

Nejdříve bude provedena analýza současného stavu, abychom zjistili, které výrobky mají největší dopad na uvedené prostoje. Následně bude provedena dekompozice časových řad, kde budeme analyzovat poptávku po výrobcích, které způsobují prostoje. Díky sestaveným modelům získáme predikci poptávky pro rok 2017. Na základě vymodelovaných predikcí sestavíme výrobní plán pro vybrané výrobky, který bude minimalizovat časové prostoje vzniklé přestavováním výrobní linky.

5.1 Analýza současného stavu výrobního plánování

V podniku jsou zavedeny tři výrobní linky, které zvládají vyrábět 213 typů polystyrenu. Třetí linka byla zavedena na začátku roku 2017 kvůli rostoucí poptávce. Každá linka vyrobí 0,8 m^3 polystyrenu za minutu. Denní časový fond výroby je 1260 minut, teoreticky by tedy bylo možné celkem vyrobit 4725 m^3 za den. Ve skutečnosti je ale nutné linku přenastavit pro každý typ polystyrenu, což zabírá čas, který by mohl být využit na výrobu. Samotné přenastavení trvá pět minut, ale stává se, že se musí čekat na příslušný personál a vznikne až třiceti minutový prostoj. Průměrně jedno přenastavení zabere 11,5 minuty, během jednoho dne dojde v průměru k 21 přenastavením, což ubírá 241,5 minut z výrobního času denně na všech třech linkách dohromady. Stihne se tedy vyrobit 4423,125 m^3 výrobků. Konfigurace linky snižuje maximální počet zhotovených výrobků o 301,875 m^3 denně.

Pět nejčastěji vyráběných výrobků se vyrábí téměř každý den, přičemž dochází k situacím, kdy je výroba jednotlivých typů zadána i vícekrát během dne, takže dochází ke dvojímu přenastavení. Kvůli těmto pěti výrobkům v průměru dochází ke konfiguraci linky 5,8krát denně, způsobí tedy 66,7minutové prostoje. Optimalizací výrobního plánování těchto pěti výrobků by došlo ke zefektivnění celkové výroby a dosáhlo by se vyšší produktivity.

Dalších 208 výrobků už nemá tak zásadní vliv na tyto prostoje, objednávka na výrobu každého z těchto výrobků přichází méně než 2× za týden, v některých případech jsou i měsíční rozestupy mezi dvěma objednávkami. Tyto objednávky nelze spojovat, aby se například dvě objednávky vyráběly hned za sebou, nebyla by dodržena třídenní dodací

lhůta. Počet konfigurací tedy nelze snižovat, při každé další objednávce musí dojít ke konfiguraci linky.

Jestliže pochopíme poptávku po pěti zmíněných výrobcích, budeme schopni na jejím základě vytvořit plán výroby, který bude minimalizovat prostoje.

5.2 Dekompozice časové řady

K pochopení poptávky po výrobcích provedeme dekompozici časových řad, díky které získáme i predikci poptávky po výrobcích pro budoucí období.

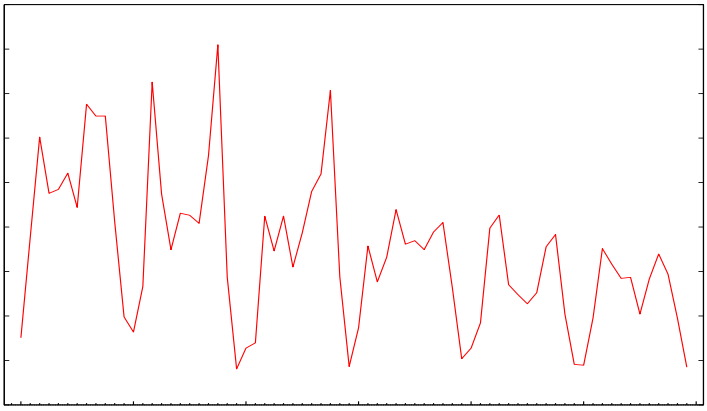
K dispozici máme denní data zachycující datum expedice v kusech, tyto data nejvěrněji odráží poptávku po výrobcích. Provedeme analýzu pěti nejdůležitějších výrobků, u kterých sestavíme predikci pro rok 2017. Při testování kvality modelů se zaměříme především na specifické problémy.

Při analýze poptávky po výrobcích je nejdříve nutné vyřešit problém s různou délkou měsíců. K řešení tohoto problému bylo použito kalendářního přepočtu. Přepočet byl proveden na základě standardního měsíce o délce 30 dnů. V analýze dalších výrobků vycházíme rovnou z dat očištěných o kalendářní variaci.

Všechny verifikační testy budou prováděni na 5 % hladině významnosti.

5.2.1 Výrobky A

Výrobky A jsou nejvíce prodávané. Grafické znázornění vývoje poptávky po těchto výrobcích představuje obrázek 1. Je zde viditelný klesající trend, který je způsoben rostoucím zájmem o alternativní výrobky se speciálními vlastnostmi. Zájem o tento základní výrobek tedy upadá. Zároveň jsou zde patrné vysoké sezónní výkyvy, které jsou typické pro stavebnictví. Na jaře zpravidla dochází k nastartování sezóny, proto je zde příval poptávky. V létě se poptávka ustaluje. Na podzim dochází opět k prudkému navýšení poptávky, kdy mají zákazníci poslední šanci před zimou dohnat to, co nestihli během sezóny. V zimě dochází k prudkému úpadku poptávky kvůli nepříznivému počasí.



Obrázek 1 Vývoj měsíční poptávky po výrobcích A

Průměrně je poptáváno 68 846 kusů měsíčně, přičemž nejméně tomu bylo v prosinci 2012, kdy byla poptávka pouze 16 185 výrobků. V říjnu 2012 byla naopak poptávka nejvyšší, a to ve výši 161 940 kusů.

5.2.1.1 Model poptávky

Poptávka má lineární klesající trend s konstantní sezónností. V roce 2014 došlo ke zlomu v sezónní složce. Tento zlom byl způsoben zavedením nové řady produktů do sortimentu, který přetáhl část poptávky po výrobcích A.

Z grafu časové řady je i patrný výkyv v březnu 2012, který je způsoben jednou velkou a jednorázovou zakázkou. Tato zakázka tvořila třetinu celkového prodeje za daný měsíc. Obvykle je každý měsíc tvořen desítkami zakázek, proto tuto jednorázovou objednávku vymodelujeme zvlášť pomocí dummy proměnné, aby neovlivňovala analýzu celé časové řady.

Ke kvantifikaci modelu použijeme metodu nejmenších čtverců, odhad modelu zobrazuje následující rovnice.

$$\begin{aligned}\hat{Y} = {} & 47754{,}9^{(***)} - 645{,}111^{(***)}time + 13475{,}9dm2 + 64578{,}9^{(***)}dm3 \\ & + 48997{,}7^{(***)}dm4 + 47099{,}9^{(***)}dm5 + 48008{,}6^{(***)}dm6 \\ & + 48345{,}8^{(***)}dm7 + 69433{,}6^{(***)}dm8 + 81066{,}4^{(***)}dm9 \\ & + 110867^{(***)}dm10 + 32938{,}5^{(***)}dm11 - 7927{,}07dm12 \\ & + 42509{,}0^{(***)}Zakazka2012.03 + 20180{,}7^{(*)}D2014.01dm2 \\ & - 11051{,}0D2014.01dm3 + 8501{,}51D2014.01dm4 \\ & + 5603{,}04D2014.01dm5 - 1179{,}99D2014.01dm6 \\ & - 7216{,}32D2014.01dm7 - 22083{,}3^{(**)}D2014.01dm8 \\ & - 19790{,}0^{(*)}\ D2014.01dm9 - 48730{,}0^{(***)}D2014.01dm10 \\ & + \ 1593{,}17D2014.01dm11 + 17539{,}3D2014.01dm12\end{aligned}$$

Celkový trend poptávky polystyrenu v daném podniku je stoupající, ale trend poptávky po výrobcích A je klesající. Díky parametru time můžeme odvodit, že každý měsíc dochází k průměrnému poklesu poptávky po výrobcích A o 645,111 kusů.

Parametry dm2 až dm12 modelují konstantní sezónnost od ledna 2011 do prosince 2013. V lednu 2014 došlo ke zlomu v sezónní složce kvůli zavedení nové řady výrobků do sortimentu, která přebrala část poptávky po námi sledovaných výrobcích. Parametry D2014_01dm2 až D2014_01dm12 tedy modelují změnu v konstantní sezónnosti od ledna 2014 dále.

V říjnu poptávka dosahuje nejvyšších hodnot, oproti lednu je v průměru o 81 066,4 kusů vyšší.

Parametr Zakazka2012_03 představuje jednorázovou zakázku v březnu 2012 o velkém rozsahu, která by uměle ovlivnila vývoj celé časové řady. Proto byla vymodelována zvlášť. Její hodnota je 42509 kusů, což představuje 29,28 % z celkové poptávky v tomto měsíci.

Očekáváme, že i nadále bude mít poptávka po výrobcích A klesající trend, jelikož nově zavedená řada výrobků se stává čím dál populárnější díky svým nadstandardním izolačním vlastnostem.

Hvězdičky ve kvantifikovaném modelu znázorňují statistickou významnost parametrů. U sezónních dummy proměnných vidíme, že některé z nich jsou statisticky nevýznamné. Pokud alespoň jedna z 12 periodických dummy proměnných je statisticky významná, ponecháme v modelu všechny tyto proměnné. Proto není třeba vynechat žádné proměnné.

K ověření statistické významnosti modelu využijeme p-hodnotu F-testu, která je rovna 1,91e-017. Nulovou hypotézu o statistické nevýznamnosti modelu jako celku zamítáme a můžeme říct, že model je statisticky významný.

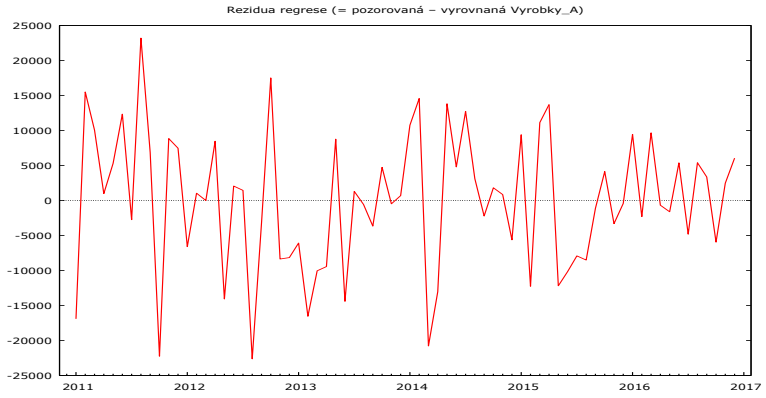
Koeficient determinace vyšel 0,912287. Můžeme tedy říct, že se nám podařilo vysvětlit 91,2287 % dat. Adjustovaný koeficient vyšel 0,867497.

5.2.1.2 Ekonometrická verifikace

Tabulka 1 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích A

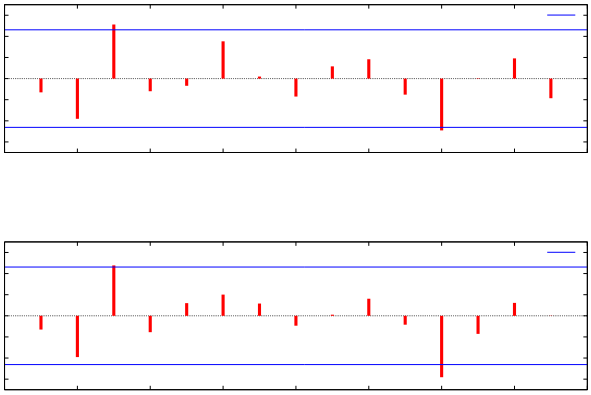
Test	P-hodnota	Závěr
Ljung-Box (12. řád)	0,102	Není autokorelace reziduí vyššího řádu
Durbin-Watson	0,614673	Není autokorelace reziduí 1. řádu
Whiteův	0,029927	Heteroskedasticita reziduí
Breusch-Paganův	0,079710	Homoskedasticita reziduí
Chí-kvadrát dobré shody	0,67857	Normální rozdělení reziduí
Shapiro-Wilkův	0,832476	Normální rozdělení reziduí

Tabulka zobrazující výsledky ekonometrických testů poukazuje na možnou heteroskedasticitu reziduí. Podle Whiteova testu chybová složka nemá konstantní rozptyl, podle Bresch-Paganova má konstantní rozptyl. Na obrázku 2 vidíme graf reziduí, na kterém je patrné, že jsou hodnoty rozmístěné na obou stranách nulového rezidua a nelze je proložit žádnou funkční křivkou. Zamítnutí nulové hypotézy Whiteova testu, je pravděpodobně zapříčiněno poklesem amplitudy reziduí od doby zlomu (2014), který byl způsoben celkovým poklesem amplitudy empirických dat. Není to tedy způsobeno chybou v modelování. Navíc p-hodnota je blízká stanovené 5 % hladině významnosti. Proto problém zamítnutí nulové hypotézy u Whiteova testu nebudeme považovat za podstatný.



Obrázek 2 Graf reziduí výrobků A

Podle korelogramu reziduí vidíme, že 3. a 12. složka mírně přesahují dané pásmo. Mohl by se zde vyskytovat problém nedostatečného vymodelování sezónní složky. Z výsledků testů autokorelace ale vidíme, že je model v pořádku.

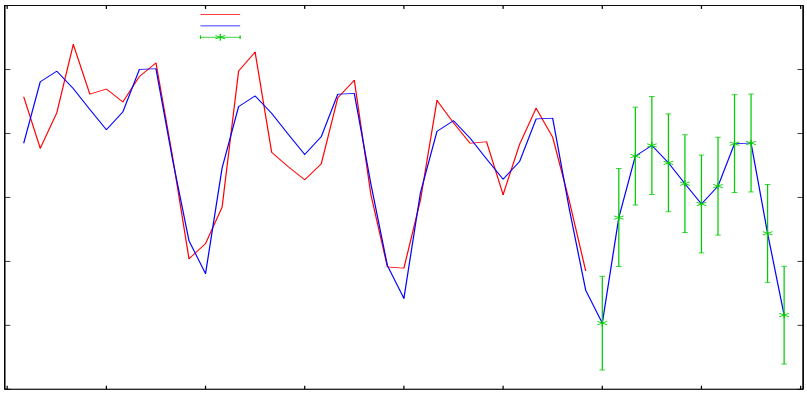


Obrázek 3 Korelogram reziduí výrobků A

U sestaveného modelu byly splněny předpoklady bílého šumu s normálním rozdělením, proto ho budeme považovat jako výsledný model a využijeme ho k predikci.

5.2.1.3 Predikce časové řady

Následující graf a tabulka zobrazují vyrovnané a skutečné hodnoty od roku 2014 po rok 2016. Pro rok 2017 vidíme predikované hodnoty na 95 % hladině významnosti. Tabulka měsíční predikované poptávka v kusech pro rok 2017 je vložena v příloze.



Obrázek 4 Predikce poptávky po výrobcích A

Tabulka 2 Predikce poptávky po výrobcích A

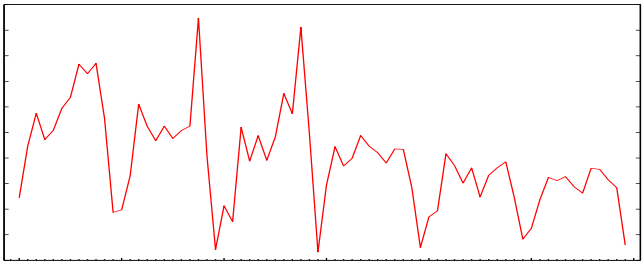
Období	Výrobky A (ks)	95 % interval spolehlivosti
2017:01	661,776	-14002,5 - 15326,1
2017:02	33673,2	18371,1 - 48975,4
2017:03	52899,4	37597,3 - 68201,6
2017:04	56225,7	40923,5 - 71527,8
2017:05	50784,3	35482,1 - 66086,4
2017:06	44264,8	28962,7 - 59567,0g
2017:07	37920,6	22618,4 - 53222,7
2017:08	43496,4	28194,2 - 58798,5
2017:09	56777,3	41475,2 - 72079,5
2017:10	56992,3	41690,2 - 72294,5
2017:11	28742,3	13440,2 - 44044,5
2017:12	3177,81	-12124,4 - 18480,0

5.2.1.4 Shrnutí modelu časové řady výrobků A

Podařilo se nám sestavit model poptávky po výrobcích A, který vysvětluje 91,2287 % dat. Tento model je považován za věrohodný, což bylo potvrzeno provedenými testy. Sestavená predikce poptávky bude využita pro výrobní plánování.

5.2.2 Výrobky B

Výrobky B jsou druhými nejprodávanějšími v podniku. Za posledních 6 let se jich v průměru vyrobilo 41589 kusů měsíčně. V grafu vývoje poptávky vidíme klesající trend a opět výrazný zlom v sezónnosti v roce 2014, který se potvrdil i QLR testem.

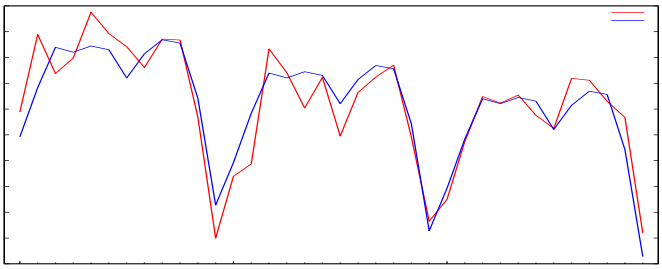


Obrázek 5 Vývoj poptávky po výrobcích B

Výkyvy před zlomem ovlivňují kvalitu modelu a neumožňují dosáhnout bílého šumu. Budeme se tedy zabývat obdobím po zlomu leden 2014). Poslední tři sledované roky jsou dostačující pro sestavení predikce.

5.2.2.1 Model poptávky

Následující graf zobrazuje vyrovnané a skutečné hodnoty po vymodelování konstantní sezónní složky.



Obrázek 6 Graf vyrovnaných a skutečných hodnot poptávky po výrobcích B

Z grafu vidíme, že model odpovídá skutečnosti. Především období posledního roku se podařilo nejlépe vymodelovat, což je klíčové pro predikci. Podle koeficientu determinace se podařilo vysvětlit 84,7531 % dat.

Níže uvedená rovnice zobrazuje vyrovnané hodnoty. Měsíčně dojde k průměrnému poklesu poptávky o 415,570 kusů výrobků B. V prosinci je nejmenší zájem o výrobky, v září naopak největší.

$$\begin{aligned}\hat{Y} = 35029{,}8^{(***)} - 415{,}570^{(***)}time + 9965{,}31^{(**)}dm2 + 18190{,}8^{(***)}dm3 \\ + 17656{,}0^{(***)}dm4 + 19272{,}0^{(***)}dm5 + 18973{,}8^{(***)}dm6 \\ + 13904{,}5^{(***)}dm7 + 19017{,}2^{(***)}dm8 + 22145{,}0^{(***)}dm9 \\ + 21919{,}2^{(***)}dm10 + 11654{,}9^{(**)}dm11 - 8656{,}15^{(*)}dm1\end{aligned}$$

Podle hvězdiček v kvantifikovaném modelu vidíme, že všechny parametry jsou statisticky významné. Podle p-hodnoty F-testu je model jako celek statisticky významný.

5.2.2.2 Ekonometrická verifikace

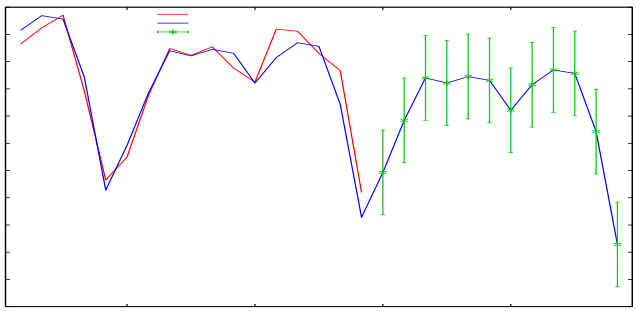
Tabulka 3 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích B

Test	P-hodnota	Závěr
Ljung-Box (12. řád)	0,902979	Není autokorelace reziduí vyššího řádu
Durbin-Watson	0,200989	Není autokorelace reziduí 1. řádu
Whiteův	0,0615958	Homoskedasticita reziduí
Breusch-Paganův	0,0743128	Homoskedasticita reziduí
Chí-kvadrát dobré shody	0,75331	Normální rozdělení reziduí
Shapiro-Wilkův	0,866367	Normální rozdělení reziduí

Všechny ekonometrické testy vyšly v pořádku. Chybová složka má vlastnosti bílého šumu s normálním rozdělením. Sestavený model využijeme k predikci poptávky.

5.2.2.3 Predikce poptávky po výrobcích B

Z grafu i tabulky predikce časové řady vidíme střední nejpravděpodobnější hodnotu poptávky pro každý měsíc roku 2017. V prosinci by v krajních případech mohlo dojít k záporným hodnotám, které z věcného hlediska nedávají smysl. Proto je v dalším modelování budeme považovat za nulové.



Obrázek 7 Predikce poptávky po výrobcích B

Tabulka 4 Predikce poptávky po výrobcích B

Období	Předpověď	95 % konfidenční interval
2017:01	6122,60	350,602 - 11894,6
2017:02	11017,2	5245,20 - 16789,2
2017:03	18022,0	12250,0 - 23793,9
2017:04	19870,2	14098,2 - 25642,2
2017:05	16896,5	11124,5 - 22668,5
2017:06	16638,2	10866,2 - 22410,2
2017:07	13307,1	7535,12 - 19079,1
2017:08	14361,0	8588,99 - 20133,0
2017:09	18246,2	12474,2 - 24018,2
2017:10	17966,8	12194,8 - 23738,8
2017:11	9690,18	3918,18 - 15462,2
2017:12	-1297,08	-7069,08 - 4474,91

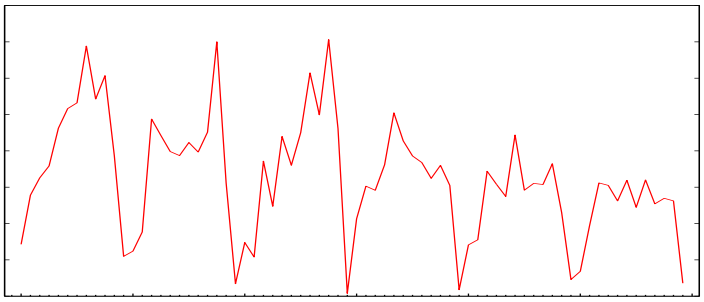
5.2.2.4 Shrnutí poptávky po výrobcích B

Poptávka po výrobcích B má klesající trend s výraznou sezónností. V lednu 2014 došlo ke zlomu v sezónnosti, kdy se snížila amplituda dat. Období před zlomem svými výkyvy způsobilo heteroskedasticitu reziduí, proto jsme se zaměřili na období po zlomu, které je i pro predikci primární. Všechny statistické i ekonometrické testy sestaveného modelu vyšly v pořádku. Chybová složka má vlastnosti bílého šumu s normálním rozdělením. Předpověď poptávky využijeme pro sestavení výrobního plánu.

5.2.3 Výrobky C

Výrobky C jsou třetím nejprodávanějším typem polystyrenu v podniku. V průměru od roku 2011 se jich měsíčně prodá 43 491 kusů, přičemž nejméně se jich za měsíc prodalo

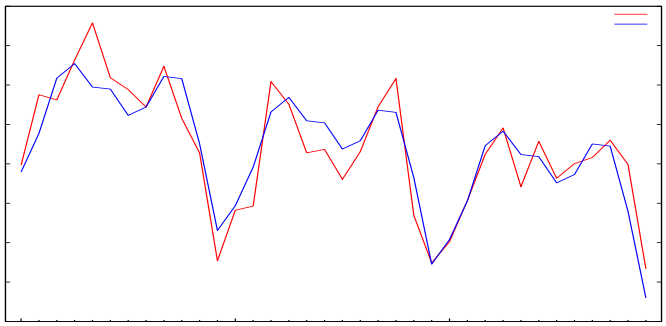
11 138 kusů a nejvíce 83 300 kusů. Graf časové řady znázorňuje vývoj jejich poptávky od ledna 2011 do prosince 2016. Opět vidíme klesající trend poptávky po těchto výrobcích, který je způsoben rostoucím zájmem o nové výrobky. Dále vidíme, že v prosinci dochází k propadu poptávky.



Obrázek 8 Vývoj poptávky po výrobcích C

Na základě QLR testu jsme zjistili, že se zde vyskytuje jeden zlom v sezónnosti, a to opět v lednu 2014.

Rok 2012 a 2013 svými výkyvy snižuje kvalitu modelu a výsledky ekonometrických testů. Tento model by nešlo využít pro predikci. Proto se dále budeme zabývat jen obdobím po zlomu, které je aktuální. Období 3 let je dostatečné pro vymodelování časové řady a pro následnou predikci. Graf skutečných a vyrovnaných hodnot po zlomu zobrazuje následující obrázek.



Obrázek 9 Graf skutečných a vyrovnaných hodnot poptávky po výrobcích C

Na základě koeficientu determinace, který vyšel 0,825909, můžeme říct, že 82,509 % dat se podařilo vysvětlit.

Z následující rovnice je patrné, že průměrně dojde v každém měsíci ke snížení poptávky o 356,868 kusů. Zároveň můžeme vyčíst, že oproti lednu je pouze v prosinci nižší poptávka a nejúspěšnějším měsícem je říjen.

$$\begin{aligned}\hat{Y} = 19326{,}7^{(***)} - 356{,}868^{(***)}time + 5251{,}47dm2 + 12613{,}1^{(***)}dm3 \\ + 14818{,}1^{(***)}dm4 + 12201{,}3^{(***)}dm5 + 12299{,}9^{(***)}dm6 \\ + 9325{,}72^{(***)}dm7 + 10736{,}5^{(***)}dm8 + 14978{,}5^{(***)}dm9 \\ + 15056{,}0^{(***)}dm10 + 7136{,}26^{(**)}dm11 - 3494{,}13dm12\end{aligned}$$

Kromě parametru dm2 a dm12 vyšly jsou všechny parametry statisticky významné. Z modelu ale nebudeme odstraňovat žádný parametr, protože je splněno pravidlo, že alespoň jedna z periodických proměnných je významná. P-hodnota F-testu nám dokázala statistickou významnost modelu.

5.2.3.1 Ekonometrická verifikace

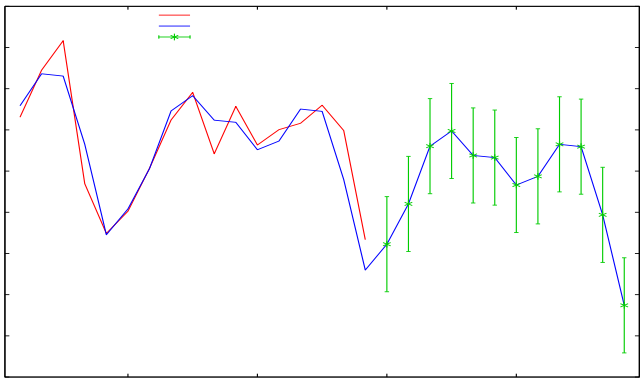
Tabulka 5 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích C

Test	P-hodnota	Závěr
Ljung-Box (12. řád)	0,554	Není autokorelace reziduí vyššího řádu
Durbin-Watson	0,298165	Není autokorelace reziduí 1. řádu
Whiteův	0,112838	Homoskedasticita reziduí
Breusch-Paganův	0,140255	Homoskedasticita reziduí
Chí-kvadrát dobré shody	0,57740	Normální rozdělení reziduí
Shapiro-Wilkův	0,292445	Normální rozdělení reziduí

U všech provedených testů vyšla p-hodnota větší než stanovené 5 % riziko. Testy jsou v pořádku a můžeme říct, že chybová složka má vlastnosti bílého šumu s normálním rozdělením. Tento model využijeme k predikci.

5.2.3.2 Predikce poptávky po výrobcích C

Podle predikované poptávky, by v prosinci mělo dojít k záporným hodnotám. Tato možnost je ale nerealizovatelná, poptávka nemůže být nižší než nula. Proto záporné hodnoty budeme považovat za nulové. Predikci hodnot zobrazuje i následující graf.



Obrázek 10 Predikce poptávky po výrobcích C

Tabulka 6 Predikce poptávky po výrobcích C

Období	Předpověď	95 % konfidenční interval
2017:01	6122,60	350,602 - 11894,6
2017:02	11017,2	5245,20 - 16789,2
2017:03	18022,0	12250,0 - 23793,9
2017:04	19870,2	14098,2 - 25642,2
2017:05	16896,5	11124,5 - 22668,5
2017:06	16638,2	10866,2 - 22410,2
2017:07	13307,1	7535,12 - 19079,1
2017:08	14361,0	8588,99 - 20133,0
2017:09	18246,2	12474,2 - 24018,2
2017:10	17966,8	12194,8 - 23738,8
2017:11	9690,18	3918,18 - 15462,2
2017:12	-1297,08	-7069,08 - 4474,91

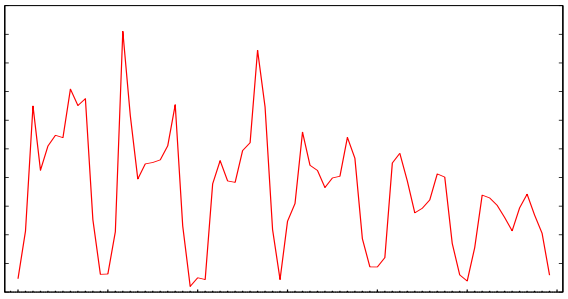
5.2.3.3 Shrnutí modelu poptávky po výrobcích C

Časová řada obsahuje jeden zlom v sezónnosti v lednu 2014. Tento zlom má stejné zapříčinění jako zlom u výrobků A, tedy zavedení nové řady výrobků. Pro vymodelování poptávky jsme využili období od ledna 2014. Model obsahuje trendovou přímku a konstantní sezónnost.

5.2.4 Výrobky D

Výrobky D jsou čtvrtým nejprodávanějším typem polystyrenu v podniku. Od ledna 2011 do konce roku 2016 je průměrně poptáváno 35 317 kusů během jednoho měsíce. Poptávka je ale velmi proměnná. V prosinci dochází k výraznému propadu zájmu o výrobky, zatímco v březnu a v září je zájem nejvyšší. Od roku 2011 se jich za měsíc prodalo nejméně 1980 kusů a nejvíce 91039 kusů.

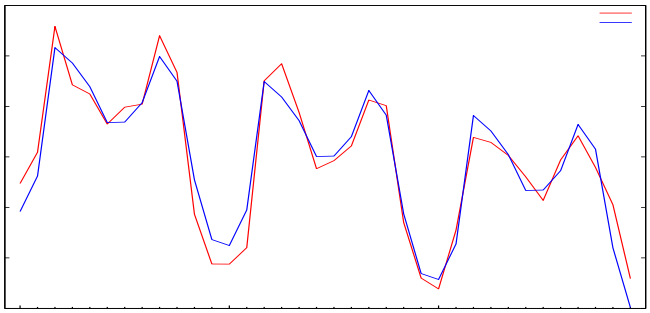
Z grafu časové řady vidíme tyto sezónní výkyvy. Rovněž je patrný klesající trend.



Obrázek 11 Vývoj měsíční poptávky po výrobcích D

V roce 2014 došlo opět ke zlomu v sezónnosti. I při analýze poptávky po výrobcích D se budeme zabývat pouze obdobím po zlomu. Model pro celé období sice vykazuje také zhruba 92 % vyrovnanost hodnot, ale chybová složka nemá vlastnosti bílého šumu. Pro nás je primárná aktuální stav, proto nebude vadit, když do modelu nezahrneme období před zlomem v lednu 2014.

Graf skutečných a vyrovnaných hodnot znázorňuje model od roku 2014 s konstantní sezónností. Tímto modelem se nám podařilo vysvětlit 92,6765 % dat.



Obrázek 12 Graf skutečných a vyrovnaných poptávky po výrobcích D

Odhad modelu v matematickém vyjádření zobrazuje následující rovnice.

$$\begin{aligned}\hat{Y} = 19735^{(***)} - 560{,}472^{(***)}time + 7593{,}79^{(*)}dm2 + 33589{,}5^{(***)}dm3 \\ + 31094{,}6^{(***)}\mathrm{d}m4 + 26973{,}2^{(***)}dm5 + 20422{,}2^{(***)}dm6 \\ + 21075{,}1^{(***)}dm7 + 25480{,}7^{(***)}dm8 + 35183{,}6^{(***)}dm9 \\ + 30856{,}9^{(***)}dm10 + 11876{,}6^{(***)}dm11 + 610{,}788dm12\end{aligned}$$

Z odhadu modelu vidíme, že na začátku období průměrná poptávka po výrobcích D byla 19 735 Kč za měsíc, ale s každým měsícem průměrné poptávané množství klesá o 560,472 kusů. Všechny koeficienty periodických parametrů mají kladné znaménko, můžeme z toho vyvodit, že v lednu je nejnižší poptávka. Oproti tomu v říjnu poptávka dosahuje maxima a je v průměru za poslední tři roky o 30 856,9 kusů vyšší než v lednu.

Všechny parametry kromě parametru dm12 jsou statisticky významné. Jak již bylo zmíněno, statistická nevýznamnost některého ze sezónních parametrů nevadí a v modelu ho ponecháme. Podle p-hodnoty F-testu je model statisticky významný.

5.2.4.1 Ekonometrická verifikace

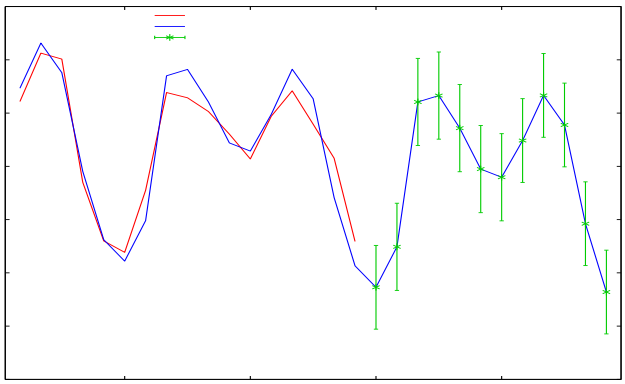
Tabulka 7 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích D

Test	P-hodnota	Závěr
Ljung-Box (12. řád)	0,615949	Není autokorelace reziduí vyššího řádu
Durbin-Watson	0,0530628	Není autokorelace reziduí 1. řádu
Whiteův	0,145028	Homoskedasticita reziduí
Breusch-Paganův	0,427852	Homoskedasticita reziduí
Chí-kvadrát dobré shody	0,79553	Normální rozdělení reziduí
Shapiro-Wilkův	0,71657	Normální rozdělení reziduí

Z ekonometrického hlediska je model také v pořádku, všechny testy dokázaly, že chybová složka má vlastnosti bílého šumu s normálním rozdělením.

5.2.4.2 Predikce poptávky po výrobcích D

Obrázek 21 znázorňuje měsíční předpověď poptávky po výrobcích D. V lednu a prosinci je předvídané množství poptávaných kusů záporné. V realitě taková situace nemůže nastat, proto poptávku budeme považovat za nulovou.



Obrázek 13 Predikce poptávky po výrobcích D

Tabulka 8 Predikce poptávky po výrobcích D

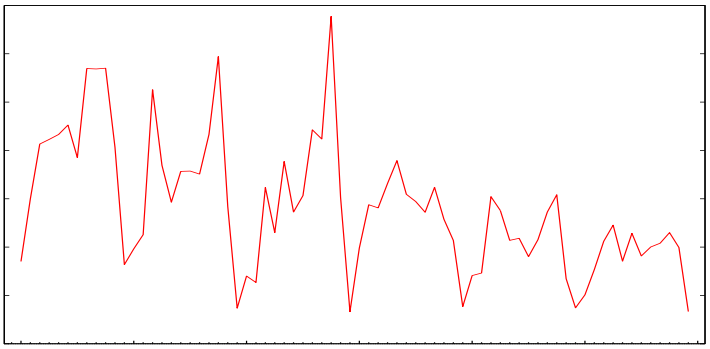
Období	Předpověď	95 % konfidenční interval
2017:01	-1002,52	-7828,95 - 5823,91
2017:02	6030,80	-795,629 - 12857,2
2017:03	31466,1	24639,7 - 38292,5
2017:04	28410,7	21584,2 - 35237,1
2017:05	23728,8	16902,3 - 30555,2
2017:06	16617,3	9790,90 - 23443,8
2017:07	16709,7	9883,31 - 23536,2
2017:08	20554,9	13728,5 - 27381,3
2017:09	29697,3	22870,9 - 36523,8
2017:10	24810,2	17983,7 - 31636,6
2017:11	5269,33	-1557,10 - 12095,8
2017:12	-6556,93	-13383,4 - 269,498

5.2.4.3 Shrnutí modelu poptávky po výrobcích D

K vymodelování poptávky jsme využili období po zlomu začínající lednem 2014 a končící prosincem 2016. Časovou řadu zahrnující celé období od roku 2011 nebylo možné vymodelovat, kvůli nesplněným předpokladům bílého šumu. Sledované tři roky byly dostačující pro predikci a nesnížili kvalitu modelu. Finální model splňuje předpoklady bílého šumu s normálním rozdělením a budeme z něj vycházet při dalších výpočtech.

5.2.5 Výrobky E

Výrobky E jsou pátým nejžádanějším typem výrobků v podniku, průměrně se od ledna 2011 měsíčně prodalo 28 491 kusů, přičemž nejméně se během jedno měsíce prodalo 6 631 kusů a nejvíce 67 729 kusů.

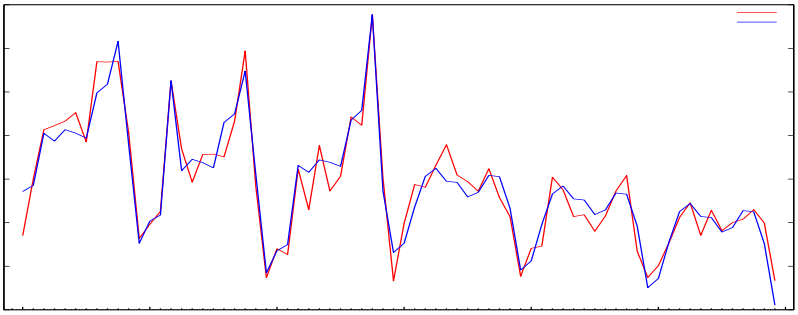


Obrázek 14 Vývoj poptávky po výrobcích E

Předchozí obrázek zachycuje vývoj měsíční poptávky od roku 2011.

V březnu 2012 došlo k jednorázové zakázce, která výrazně navýšila poptávku, to stejné se stalo i v říjnu 2013. Obě dvě zakázky bylo potřeba vymodelovat zvlášť pomocí dummy proměnné, aby neovlivňovaly model celé časové řady. Po

vymodelování lineárního trendu se zlomem ve směrnici v březnu 2013 a konstantní sezónnosti se zlomem v říjnu 2013 dostáváme model pomocí kterého se nám podařilo vysvětlit 92,0872 % dat. Graf vyrovnaných a skutečných hodnot a kvantifikaci modelu vidíme níže.



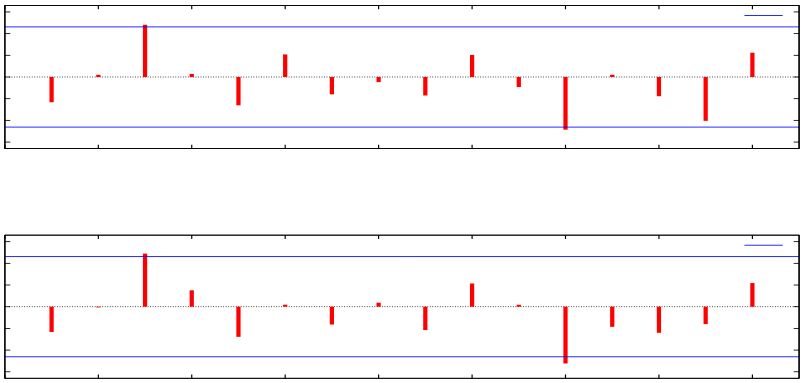
Obrázek 15 Graf skutečných a vyrovnaných poptávky po výrobcích E

$$\begin{aligned}\hat{Y} = 27720{,}9^{(***)} - 566{,}465^{(***)}\text{time} + 1969{,}52\text{dm2} + 14493{,}8^{(***)}\text{dm3} \\ + 13263{,}6^{(***)}\text{dm4} + 16454{,}5^{(***)}\text{dm5} + 16232{,}3^{(***)}\text{dm6} \\ + 15635{,}5^{(***)}\text{dm7} + 26593{,}4^{(***)}\text{dm8} + 29157{,}8^{(***)}\text{dm9} \\ + 39547{,}9^{(***)}\text{dm10} + 16445{,}1^{(***)}\text{dm11} - 5648{,}84\text{dm12} \\ + 33120{,}7 * \text{zakazka2013} + 229{,}923 * \text{D2Time} + 18833{,}6 \\ * \text{Zakazka2012}^{(***)} + 6718{,}75\text{DSdm2} + 1535{,}79\text{DSdm3} \\ + 4950{,}7\text{DSdm4} - 877{,}359\text{DSdm5} - 576{,}867\text{DSdm6} \\ - 2974{,}57\text{DSdm7} - 12542^{(***)}\text{DSdm8} - 10884{,}7^{(**)}\text{DSdm9} \\ - 21217{,}7^{(***)}\text{DSdm10} - 5067{,}42\text{DSdm11} + 3209{,}81\text{DSdm12}\end{aligned}$$

Z odhadu modelu vidíme, že od ledna 2011 do února 2013 byl průměrný měsíční pokles poptávky o 566,465 kusů. V březnu 2013 se zvýšila směrnice o 229,923 kusů, od března 2013 je tedy průměrný pokles poptávky o 336,542 kusů za měsíc. Zakázka v březnu 2012 navýšila poptávku v tomto měsíci o 18833,6 kusů, zakázka z října 2013 o 18833,6 kusů. V říjnu 2013 došlo ke zlomu v sezónnosti a v období po zlomu je nejvyšší poptávka v říjnu, průměrně je o 18 330,2 kusů vyšší než v lednu.

Některé periodické parametry vyšly statisticky nevýznamné, ale pokaždé se vyskytovala alespoň jedna periodická proměnná, která byla statisticky významná. Proto z modelu nebudeme vypouštět žádný parametr. Podle F-testu je model statisticky významný.

5.2.5.1 Ekonometrická verifikace



Obrázek 16 Korelogram reziduí výrobků E

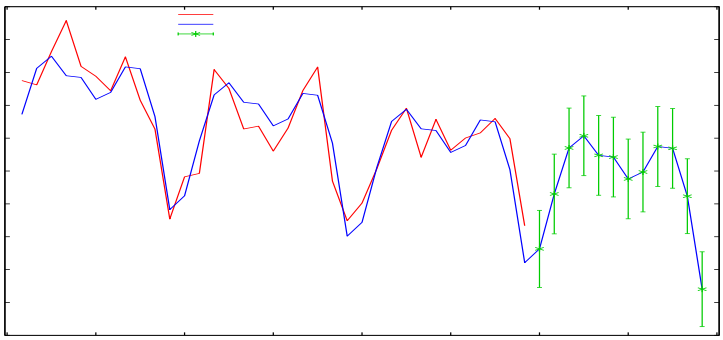
Z korelogramu reziduí vidíme, že 3. a 12. složka mírně přesahují dané pásmo. Je tedy možné, že sezónní složka není dostatečně vymodelovaná.

Tabulka 9 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích E

Test	P-hodnota	Závěr
Ljung-Box (12. řád)	0,228	Není autokorelace reziduí vyššího řádu
Durbin-Watson	0,602191	Není autokorelace reziduí 1. řádu
Whiteův	0,289992	Homoskedasticita reziduí
Breusch-Paganův	0,414557	Homoskedasticita reziduí
Chí-kvadrát dobré shody	0,40034	Normální rozdělení reziduí
Shapiro-Wilkův	0,675848	Normální rozdělení reziduí

Z tabulky ekonometrické verifikace je patrné, že v chybové složce se nevyskytuje autokorelace vyššího ani 1. řádu, chybová složka má konstantní rozptyl a je normálně rozdělena. Můžeme tedy říct, že chybová složka má vlastnosti bílého šumu s normálním rozdělením a použijeme tento model k predikci.

5.2.5.2 Predikce poptávky po výrobcích E



Obrázek 17 Predikce poptávky po výrobcích E

Tabulka 10 Predikce poptávky po výrobcích E

Období	Předpověď	95 % konfidenční interval
2017:01	3153,28	-2710,71 - 9017,26
2017:02	11505,0	5436,94 - 17573,1
2017:03	18509,8	12441,7 - 24577,8
2017:04	20358,0	14289,9 - 26426,1
2017:05	17384,3	11316,2 - 23452,3
2017:06	17126,0	11057,9 - 23194,1
2017:07	13794,9	7726,86 - 19863,0
2017:08	14848,8	8780,73 - 20916,9
2017:09	18734,0	12665,9 - 24802,1
2017:10	18454,6	12386,5 - 24522,7
2017:11	11165,5	5469,96 - 16861,0
2017:12	-2987,72	-8683,24 - 2707,81

Z předcházejícího grafu i tabulky vidíme předpověď poptávky po výrobcích E pro rok 2017. V prosinci dosahuje střední hodnota predikce záporné hodnoty, opět v tomto měsíci budeme považovat poptávku za nulovou, jelikož poptávka nemůže být záporná.

5.2.5.3 Shrnutí modelu poptávky po výrobcích E

K analýze časové řady jsme využili měsíčních dat od ledna 2011 do prosince 2016. Poptávka po výrobcích E má klesající trend se zlomem ve směrnici v březnu 2013, dále je tvořena konstantní sezónní složkou se zlomem v říjnu 2013. Model vysvětluje 92,0872 %.

5.3 Optimalizace výrobního plánování

V podniku jsou tři výrobní linky. Podnik zamýšlí na jedné lince přednostně vyrábět výrobky A-E, aby omezil prostoje vzniklé z přestavování linky. Plynulost výroby těchto výrobků by měla pozitivní vliv na celkovou produktivitu.

K sestavení výrobního plánu pro rok 2017 využijeme vymodelovaných predikcí poptávky po jednotlivých výrobcích A-E. Zároveň budeme brát v úvahu kapacitní omezení. Podnik může vymezit těmto výrobkům až 2 000 m^3 skladových prostor. V obchodních podmínkách je stanovená třídenní dodací lhůta. Denní časový fond je 1260 minut pro každou linku. S rychlostí 0,8 m^3 polystyrenu za minutu je teoreticky možné vyrobit na každé lince 1575 m^3 polystyrenu denně.

Časové řady jsou z měsíčních dat, ale k optimalizaci plánování potřebujeme týdenní předpovědi. Proto pomocí indexů zjistíme pro každý měsíc, kolik procent z celkové měsíční produkce připadá danému týdnu.

Kvůli zlomům v sezónnosti jsou indexy počítány po období zlomu, tedy z období od ledna 2014 do prosince 2016. Následně byla předpověď převedena z kusů výrobků na m^3, protože rychlost linky se měří v m^3. Jeden kus polystyrenu s rozměrem 1 m^3 je zhotoven za stejnou dobu jako například dva kusy s rozměry 0,5 m^3.

Tabulka celkové finální týdenní předpovědi měřené v kusech se nachází v příloze. Následující tabulka ukazuje dva týdny, maximální a modelový. Maximální týden je vytvořen tak, že z týdenní předpovědi pro rok 2017 je použita maximální hodnota každého výrobku. Jako modelový týden byl využit 29. týden, tedy týden v červenci, kdy je sezóna, ale zároveň došlo k ustálení poptávky.

Tabulka 11 Ukázka týdenní předpovědi poptávky po výrobcích A-E v m3

Týden	Týdenní předpověď výrobků A v m^3	Týdenní předpověď výrobků B v m^3	Týdenní předpověď výrobků C v m^3	Týdenní předpověď výrobků D v m^3	Týdenní předpověď výrobků E v m^3
Maximální	836,34	152,72	52,64	669,53	237,40
Modelový	533,15	120,08	35,64	335,83	150,43

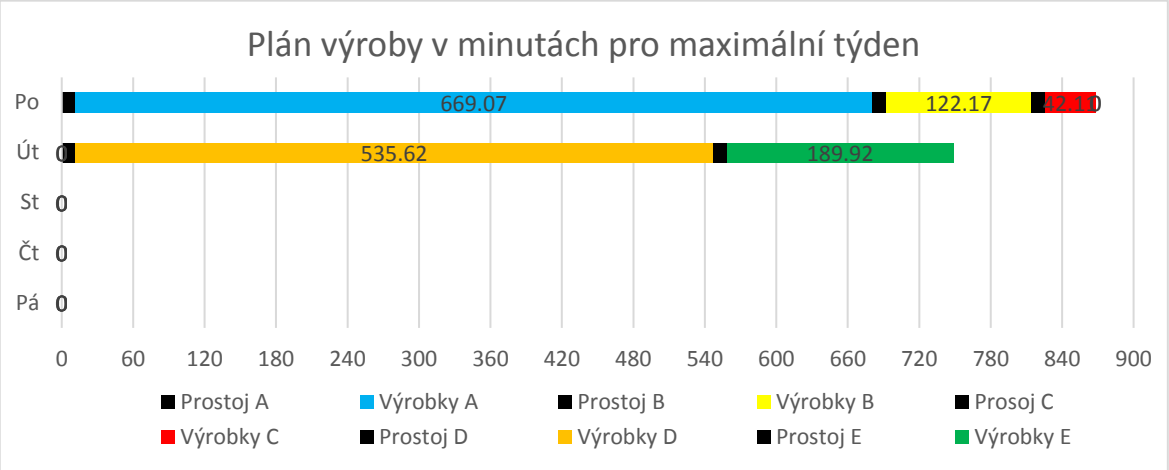
Přestože výrobky A-E tvoří pouze 9,49 % z celkového objemu prodeje v roce 2016 způsobují nejvíce prostojů, a to kvůli četnosti objednávek.

5.3.1 Výrobní plán pro maximální týden v roce 2017

Pro sestavený maximální týden je celková poptávka pouze 1949 m^3 za týden. Denní kapacita výroby na jedné lince je 1575 m^3. Výrobky A-E můžou být zhotoveny na této lince během dvou dnů do zásoby pro celý týden. I skladové prostory jsou dostačující.

Před začátkem zadáním nového typu výrobků je nutné přenastavit linku, z toho důvodu budeme počítat s průměrným prostojem 11,5 minuty. V následujícím

obrázku je znázorněn výrobní plán v minutách pro maximální poptávaná množství jednotlivých výrobků, která jsou pravděpodobná pro rok 2017.

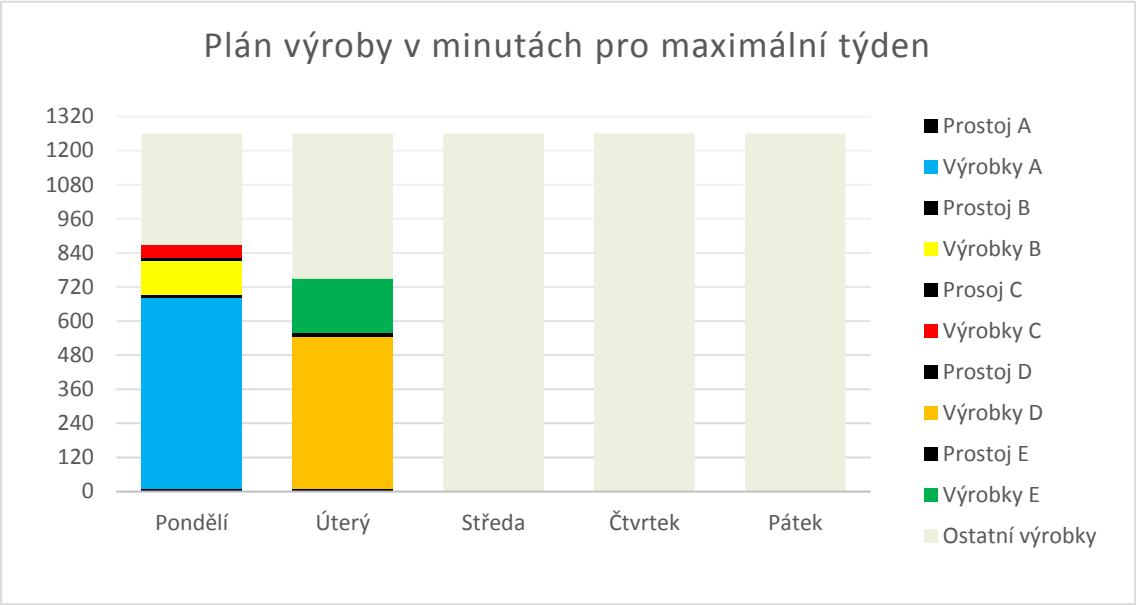


Obrázek 18 Výrobní plán výrobků A-E v minutách pro maximální týden

V pondělí se vyrobí 16727 kusů (837 m3) výrobků A za 669,07 minut a váže se k nim 11,5minutový prostoj, celkový potřebný čas je 680,57 minut, poté bude 11,5minutová konfigurace linky pro výrobky B, kterých se vyrobí 6109 kusů (152,7 m^3) během 122,17 minut. Následuje konfigurace pro výrobky C a jejich výroba 2264 kusů (52,63 m^3) za 42,11 minut. Celkově výrobky A-C zaberou 867, 85 minut. Linka je v provozu 1260 minut denně, takže ve zbylých 392,15 minutách se budou vyrábět ostatní výrobky operativně podle příchozích objednávek.

V úterý budou vyráběny výrobky D 11159 kusů (670 m^3) během 535,62 minut a E 5935 kusů (237 m^3) za 189,92 minut. Po připočítání času na konfiguraci linky bude linka vytížena po dobu 748,54 minut. Ve zbylých 511,46 minutách přijdou opět na řadu ostatní výrobky.

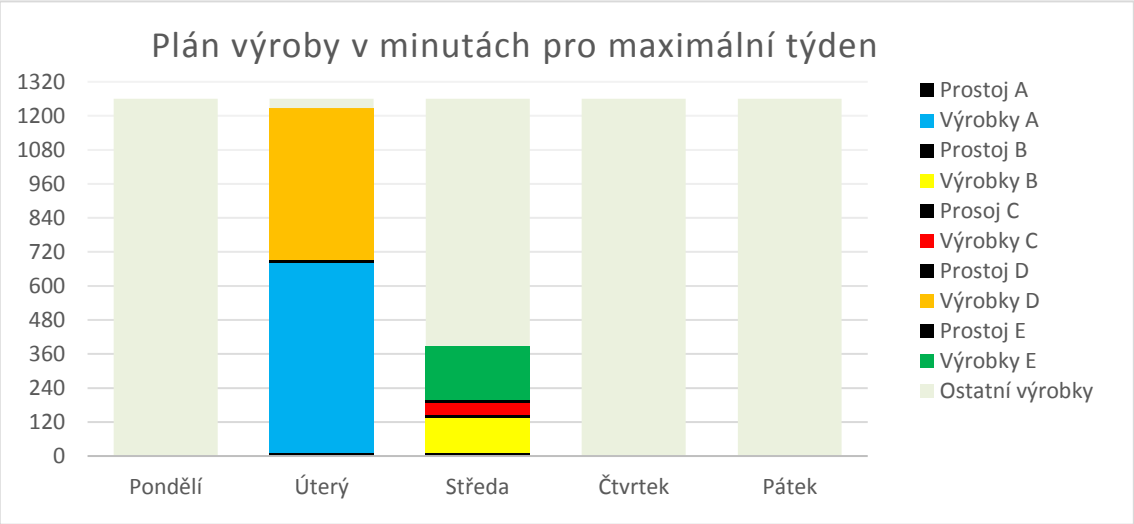
Tímto rozmístěním budou týdenní prostoje způsobené výrobky A-E 57,5 minut. Na ostatních dvou linkách a ve zbylém čase této linky, budou vyráběny ostatní výrobky, u kterých nelze sloučit více objednávek dohromady. Graf na obrázku 27 zobrazuje výrobní plán maximálního týdne pro tuto linku i se zbylými výrobky.



Obrázek 19 Výrobní plán všech výrobků v minutách pro maximální týden (verze 1)

Výrobky A, B a C by měly být vyráběny v pondělí, výrobky D a E v úterý. Důvodů pro toto rozdělení je více. Za prvé se snažíme, aby všechny výrobky stejného typu byly vyrobeny za sebou. Za druhé kvůli třídenní dodací lhůtě nemůžeme vyrábět ve čtvrtek a v pátek, protože objednávka z pondělí ráno by nebyla včas vyřízena. Chceme tedy, aby byl plán splněn co nejdříve, ale zároveň nelze vše nastavit na pondělí, během kterého by se to kapacitně nezvládlo.

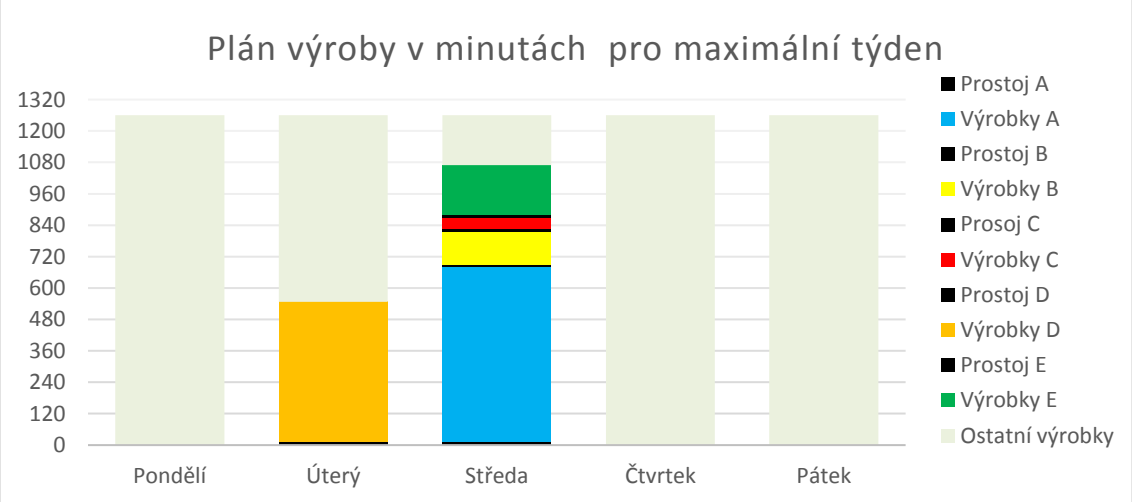
Samozřejmě jsou možné i jiné kombinace. Výrobu lze rozmístit mezi pondělí až středu, stále ale zůstává platná podmínka nepřerušení výroby jiným typem výrobku. Kvůli rychlosti dodání je nejvhodnější rozdělit výrobu mezi pondělí a úterý. V pozdějších dnech by nemusela být včas vyřízená objednávka ze začátku týdne. Pokud by ale byly zadané větší objednávky ostatních výrobků z konce předchozího týdne, plán výrobků A-E by se mohl posunout o den. Případně by se mohla v úterý vyrobit většina (A, D) a ve středu by se vyrobily výrobky B, C a E. Tato situace je znázorněna v následujícím grafu.



Obrázek 20 Výrobní plán všech výrobků v minutách pro maximální týden (verze 2)

Úterý je úmyslně co nejvíce zaplněno, aby byly objednávky co nejdříve vyřízeny.

Jestli by byla potřeba vyrábět nevyřízenou objednávku ostatních výrobků z předešlého týdne, můžeme oproti předchozímu plánu přesunout výrobky A na středu, tato situace je zobrazena na obrázku 21.



Obrázek 21 Výrobní plán všech výrobků v minutách pro maximální týden (verze 3)

5.3.1.1 Shrnutí výrobního plánu pro maximální týden

Podle sestavené předpovědi pro rok 2017 jsme vybrali maximální možný týden a sestavili pro něj výrobní plán. I v tomto týdnu lze uspokojit poptávku po námi sledovaných výrobcích na jedné lince. Podnik by měl rezervovat 1616 minut těmto výrobkům. Nejvhodnější je rozprostřít výrobu mezi pondělí a úterý, aby byla doba dodání co nejkratší. Zároveň je ale nutné jednat operativně. Pokud bude zvýšená poptávka po ostatních výrobcích, může se výroba přesunout na úterý a středu.

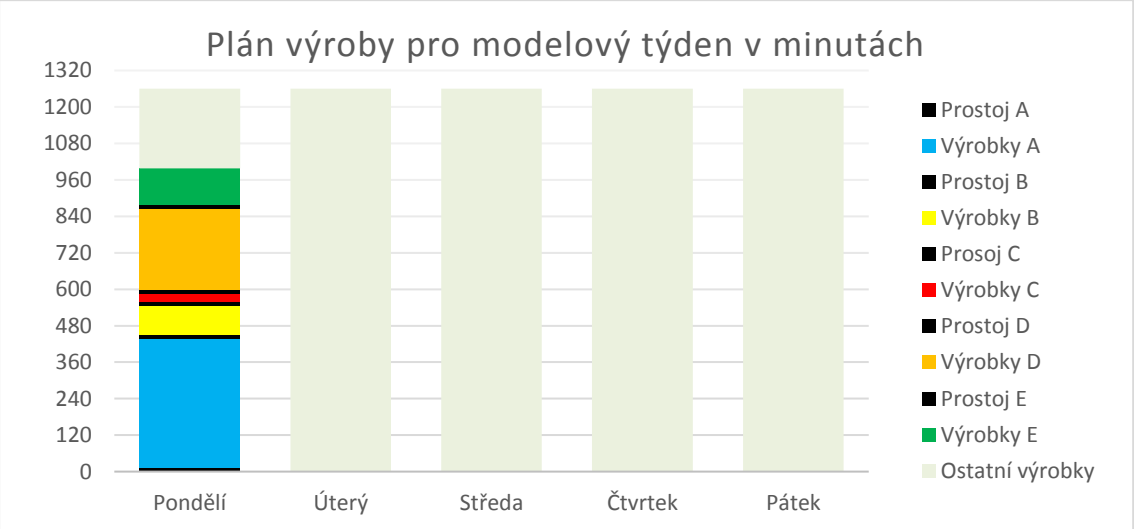
I během nejvytíženějšího týdne bude podnik schopen minimalizovat prostoje. V současné době jsou konfigurační prostoje v průměru 1207,5 minut týdně, z toho 333,5 minut způsobují právě výrobky A-E. Bude-li se podnik řídit sestaveným plánem, může snížit čas spojený s konfigurací linky na 931,5 minut.

5.3.2 Výrobní plán pro modelový týden v roce 2017

Jako modelový týden využijeme 29. týden roku 2017, který je uprostřed sezóny. Poptávka v tomto období bývá již ustálená. Pravděpodobné poptávané množství v m^3 bylo uvedeno v tabulce 14. Vycházíme z vypočítaných předpovědí pomocí časových řad.

Na obrázku 30 vidíme, že je možné zadat do výroby všech pět výrobků v jednom dni a vystačí po celý týden. Zároveň 2000 m^3 skladových prostor je dostačujících pro uskladnění vytvořené zásoby. Celkově bude vyrobeno 1175,13 m^3 výrobků A-E.

Plán pro modelový týden je zobrazen na obrázku 30. V pondělí se bude vyrábět 10663,05709 kusů výrobků A (533,1529 m^3) během 426,52 minut. 4804 kusů (120,084 m^3) výrobků B za 96,07 minut, 3564 kusů (35,63648 m^3) výrobků C za 28,51 minut, 5597 kusů (335,832 m^3) výrobků D po dobu 268,7 minut a 3761 kusů (150,4281 m^3) výrobků E během 120,34 minut. Ke každému typu výrobků se váže jedna 11,5minutová konfigurace linky. Celkem je využito 997,64 minut. Ve zbylých 262,36 minutách je prostor pro ostatní výrobky. Ostatní dny v týdnu se na této lince budou operativně vyrábět ostatní výrobky.



Obrázek 22 Plán výroby v minutách pro modelový týden

Výrobu lze samozřejmě opět rozvrstvit mezi pondělí až středu podle aktuálních požadavků.

Tento modelový týden můžeme brát jako ilustrační pro období s ustálenou poptávkou. Podle vytvořeného plánu se počet konfigurací kvůli výrobkům A-E sníží z průměrných 5,8 denně na 1.

5.3.3 Shrnutí výrobního plánu pro rok 2017

I v maximálním týdnu lze minimalizovat prostoje. Výrobu v období zvýšené poptávky bude třeba rozdělit mezi dva dny. V ostatních týdnech lze vyrobit výrobky A-E během jednoho dne. Rozdělení výroby mezi dny v týdnu se bude řešit již operativně, podle vytíženosti linky.

6 Diskuze

V roce 2016 bylo přímo k výrobě využito 55.2 % časového fondu (21 hodin denně v pracovních dnech). 6,39 % z časového fondu zabrala právě konfigurace linky. Díky analýze současného stavu výroby jsme zjistili, že právě 5 sledovaných výrobků způsobuje 27,62 % prostojů. U těchto pěti výrobků je na rozdíl od ostatních výrobků prostor ke snižování prostojů, a to spojením více objednávek dohromady. Z toho důvodu byl sestaven výrobní plán tak, aby pro tyto výrobky platilo, že stejné typy výrobků jsou vyráběny v řetězci za sebou na týden dopředu. Pro každý typ výrobku tedy vznikne jen jeden prostoj týdně. Tyto výrobky jsou zadávány do výroby v první polovině týdně, aby byly včas připraveny k dodání.

Upřednostňování vybraných pěti výrobků může ve skutečnosti oddalovat výrobu ostatních 208 výrobků. V nejvytíženějším týdnu tyto výrobky zabírají 8,25 % výrobní kapacity. Jestliže bude výroba rozvrstvena mezi dva dny, zaberou 20,62 výrobní kapacity. V případě, že v tomto období bude zvýšená poptávka i po jiných výrobcích, může nastat situace, že výrobky nebudou dodány včas. V takovém případě by bylo nutné rozdělit výrobu pěti výrobků alespoň mezi pondělí až středu. Počet prostojů by zůstal stejný, ale vytížení linky by bylo rozloženo. Kdyby nastala situace, že by bylo nutné rozložit výrobu i na čtvrtek, prostoje by již nebyly minimalizovány. Tato situace je možná ve velmi vytížených týdnech. V běžném týdnu tyto výrobky zatěžují 4,97 % kapacity. Je tedy málo pravděpodobné, aby znemožnily včasnou výrobu ostatních výrobků.

Vymodelovaná předpověď poptávky slouží jako výrobní plán. Samozřejmě je možné, že se ve skutečnosti bude poptávka lišit od predikované hodnoty. Model časových řad, který zachycuje vývoj poptávky byl testován na 5 % hladině významnosti. Spolehlivost odhadu je 95 %. Z tohoto důvodu je zřejmé, že model se může lišit od skutečnosti. V modelu byly použity střední (nejpravděpodobnější) hodnoty, které by měly nastat. Nebyla použita horní hodnota intervalu predikce, protože je možné v případě vyšší poptávky výrobky vyrobit na konci týdne, zároveň nebyla použita nejnižší hodnota, protože výrobky lze v případě nižší poptávky uskladnit. Vychýlení by ale nemělo být výrazné, zvolená hladina významnosti je běžně využívaná pro statistické testování a směrodatné odchylky odhadu nebyly velké.

Sestavená předpověď vycházela z předpokladu, že vývoj poptávky se v roce 2017 bude chovat obdobně jako v předchozích letech. V modelu ale nejsou zahrnuty vnější vlivy, které nelze předvídat a mohly by náhle ovlivnit poptávku. Mohlo by se jednat například o vstoupení nového konkurenta na trh, kampaň proti polystyrenu, získání nového odběratele s velkým objemem poptávek a jiné. V tomto případě by bylo nutné plán přehodnotit nebo doplnit o získané nebo naopak snížit o neuskutečnitelné objednávky.

Prodej ve stavebnictví je také ovlivňován počasím, proto i v případě netypického počasí by poptávka mohla mít jiné chování než obvykle.

Analyzované výrobky jsou ale poptávány na denní bázi, proto v případě mírného přecenění poptávky je lze uskladnit a během několika dnů budou

vyprodány. Pokud by poptávka předčila očekávanou hodnotu, podnik bude mít prostor vyrobit požadované výrobky koncem týdne, byl by tím ale navýšen počet konfigurací linky.

V porovnání se současným stavem, kdy dochází průměrně ke 21 konfiguracím za den, z toho 5,8 konfigurací je způsobeno uvedenými pěti výrobky, se nám podařilo snížit počet konfigurací na 15,2. Podle sestaveného modelu bude každý typ výrobku vyráběn jen jednou týdně. Každý typ výrobku k sobě tedy váže pouze jednu konfiguraci.

7 Závěr

Tato práce je zaměřená na optimalizaci výrobního plánování. Sledovanou problematikou byly prostoje spojené s konfigurací výrobní linky. Při zadání výroby nového typu výrobku, je nutné linku ručně přenastavit. Proto je žádoucí vyrábět co nejvíce výrobků stejného typu za sebou.

Díky analýze současného stavu jsme zjistili, že počet přenastavení lze snížit jen pro 5 typů výrobků, které jsou poptávány na denní bázi. Proto jsme se zaměřili právě na těchto pět výrobků a vytvořili jsme pro ně plán výroby. Sestavení výrobního plánu bylo provedeno na základě prognózy poptávky po těchto výrobcích, a to pomocí dekompozice časové řady s ohledem na sezónnost. Sestavená předpověď poptávky pro rok 2017 zachycuje pravděpodobné poptávané množství výrobků pro každý týden.

I během nejvytíženějšího týdne se nám podařilo nastavit systém tak, aby každý z pěti typů výrobků byl zadán do výroby jen jednou týdně, a tím způsobil jen jednu konfiguraci linky. Pro ostatní výrobky stále platí, že budou vyráběny operativně. Kvůli nízké četnosti objednávek ostatních výrobků nemůžeme zadat do výroby více než jednu objednávku. V opačném případě by nebyla dodržena dodací lhůta.

Prostoje spojené s konfigurací linek se nám podařilo snížit o 55,2 minut denně. Tento čas může být využit k výrobě dodatečných 69 m^3 polystyrenu nebo ke snížení pracovní doby.

Kromě snížení počtu konfigurací by se podnik mohl zabývat synchronizací výrobních linek. Personál nemůže konfigurovat více linek zaráz. To je jeden z důvodů, proč vznikají až 30minutové prodlevy mezi výrobami. Pokud by byla výroba zadávána tak, aby okamžik konfigurace linky nastal vždy ve chvíli, kdy není potřeba obsluhovat ostatní linky, mohla by se průměrná doba konfigurace snížit z 11,5 minuty na 5 minut.

8 Literatura

Acta oeconomica Pragensia: Vědecký sborník Vysoké školy ekonomické v Praze. Praha: Vysoká škola ekonomická. 1995. ISSN 0572-3043.

ADAMEC, VÁCLAV, LUBOŠ STŘELEC A DAVID HAMPEL. *Ekonometrie I: učební text.* Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-703-8.

ARLT, JOSEF A MARKÉTA ARLTOVÁ. *Ekonomické časové řady: [vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace]*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1319-9.

CIPRA, TOMÁŠ. *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 246 s.

GROS, IVAN. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování.* Praha: Grada, 2003. Expert (Grada). ISBN 80-247-0421-8.

HAMPEL, DAVID. *Ekonometrie 2.* 3. vyd. V Brně: Mendelova univerzita v Brně, 2016. ISBN 978-80-7509-427-8.

HEIZER, JAY A BARRY RENDER. *Operations management: processes and supply chains.* 10th ed., Global ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, 2010. ISBN 0135111439.

HELMUT LÜTKEPOHL A MARKUS KRÄTZIG. *Applied time series econometrics*. Cambridge, U.K: Cambridge University, 2004. ISBN 9780511217395.

HINDLS, RICHARD, STANISLAVA HRONOVÁ A ILJA NOVÁK. *Analýza dat v manažerském rozhodování.* 1. vyd. Praha: Grada, 1999, 358 s. ISBN 8071692557

HINDLS, RICHARD. *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007, 415 s. ISBN 978-80-86946-43-6

HOLMAN, ROBERT. *Ekonomie.* 5. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2011. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-006-5.

JABLONSKÝ, JOSEF. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

Jak se pozná normalita pomocí grafů? In: *StatSoft* [online]. 2013, s. 6 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_10_09_StatSoft_Jak_se_pozna_normalita_pomoci_grafu.pdf

KŘIVÝ, IVAN. *Analýza časových řad* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: https://publi.cz/download/publication/45?pc=1. Operační program.

Monitorování a analýza hospodářského cyklu [online]. Praha: Český statistický úřad, 2007, s. 31 [cit. 2016-12-01]. Souborné informace. ISBN 80-7223-574-5.

REDMAN, THOMAS C. *Data driven: profiting from your most important business asset.* Boston, Mass.: Harvard Business Press, c2008. ISBN 1422119122.

SCHROEDER, ROGER G., MEYER. GOLDSTEIN A M. JOHNNY. RUNGTUSANATHAM. *Operations management: contemporary concepts and cases.* 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill/Irwin, c2011. McGraw-Hill/Irwin series operations and decision sciences. ISBN 978-0-07-340338-0.

SVĚTLÍK, VLADIMÍR. *Systémy pro efektivní operativní řízení výroby* [online]. **2002** [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: https://www.systemonline.cz/clanky/systemy-pro-efektivni-operativni-rizeni-vyroby.htm

SYNEK, MILOSLAV A EVA KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika*. 5., přeprac. a dopl. vyd. Praha: C.H. Beck, 2010. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-336-3.

TAKEDA, HITOSHI. *Das synchrone Produktionssystem*. 7. vydání. München: Verlag Franz Vahlen, 2012. ISBN 978 3 8006 4607 4.

TOMEK, GUSTAV A VĚRA VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci.* Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Vývoj měsíční poptávky po výrobcích A 30
Obrázek 2 Graf reziduí výrobků A 32
Obrázek 3 Korelogram reziduí výrobků A 33
Obrázek 4 Predikce poptávky po výrobcích A 33
Obrázek 5 Vývoj poptávky po výrobcích B 34
Obrázek 6 Graf vyrovnaných a skutečných hodnot poptávky po výrobcích B 35
Obrázek 7 Predikce poptávky po výrobcích B 36
Obrázek 8 Vývoj poptávky po výrobcích C 37
Obrázek 9 Graf skutečných a vyrovnaných hodnot poptávky po výrobcích C 37
Obrázek 10 Predikce poptávky po výrobcích C 38
Obrázek 11 Vývoj měsíční poptávky po výrobcích D 39
Obrázek 12 Graf skutečných a vyrovnaných poptávky po výrobcích D 40
Obrázek 13 Predikce poptávky po výrobcích D 41
Obrázek 14 Vývoj poptávky po výrobcích E 42
Obrázek 15 Graf skutečných a vyrovnaných poptávky po výrobcích E 43
Obrázek 16 Korelogram reziduí výrobků E 44
Obrázek 17 Predikce poptávky po výrobcích E 45
Obrázek 18 Výrobní plán výrobků A-E v minutách pro maximální týden 47
Obrázek 19 Výrobní plán všech výrobků v minutách pro maximální týden (verze 1) 48
Obrázek 20 Výrobní plán všech výrobků v minutách pro maximální týden (verze 2) 49
Obrázek 21 Výrobní plán všech výrobků v minutách pro maximální týden (verze 3) 49
Obrázek 22 Plán výroby v minutách pro modelový týden 50

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích A 32
Tabulka 2 Predikce poptávky po výrobcích A 34
Tabulka 3 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích B 35
Tabulka 4 Predikce poptávky po výrobcích B 36
Tabulka 5 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích C 38
Tabulka 6 Predikce poptávky po výrobcích C 39
Tabulka 7 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích D 41
Tabulka 8 Predikce poptávky po výrobcích D 42
Tabulka 9 Ekonometrická verifikace modelu poptávky po výrobcích E 44
Tabulka 10 Predikce poptávky po výrobcích E 45
Tabulka 11 Ukázka týdenní předpovědi poptávky po výrobcích A-E v m3 46
Tabulka 12 Data poptávky po výrobcích A 61
Tabulka 13 Data poptávky po výrobcích B 63
Tabulka 14 Data poptávky po výrobcích C 65
Tabulka 15 Data poptávky po výrobcích D 67
Tabulka 16 Data poptávky po výrobcích E 69
Tabulka 17 Týdenní předpověď výrobků A-E v m^3 71

Přílohy

A Příloha

Tabulka 12 Data poptávky po výrobcích A

Období	Výrobky A neočištěné od kalendářní variace	Výrobky A očištěné od kalendářní variace
I.11	31205,00	30198,39
II.11	70417,50	75447,32
III.11	124463,00	1204h48,06
IV.11	95150,00	95150,00
V.11	100167,50	96936,29
VI.11	104234,50	104234,50
VII.11	91797,50	88836,29
VIII.11	139740,00	135232,26
IX.11	129882,00	129882,00
X.11	134252,50	129921,77
XI.11	82442,50	82442,50
XII.11	40875,00	39556,45
I.12	33857,50	32765,32
II.12	51462,50	53237,07
III.12	150005,00	145166,13
IV.12	94900,00	94900,00
V.12	72137,50	69810,48
VI.12	86215,00	86215,00
VII.12	88130,00	85287,10
VIII.12	84372,50	81650,81
IX.12	112070,00	112070,00
X.12	167340,00	161941,94
XI.12	57492,50	57492,50
XII.12	16725,00	16185,48
I.13	26400,00	25548,39
II.13	26052,50	27913,39
III.13	87695,00	84866,13
IV.13	69242,50	69242,50
V.13	87747,50	84916,94
VI.13	62005,00	62005,00
VII.13	79987,50	77407,26
VIII.13	99175,00	95975,81
IX.13	103870,00	103870,00
X.13	146137,50	141423,39
XI.13	57632,50	57632,50
XII.13	17870,00	17293,55
I.14	35792,50	34637,90
II.14	66700,00	71464,29
III.14	57179,50	55335,00

IV.14	66420,00	66420,00
V.14	90746,50	87819,19
VI.14	72280,00	72280,00
VII.14	76337,50	73875,00
VIII.14	72165,00	69837,10
IX.14	77775,00	77775,00
X.14	84767,50	82033,06
XI.14	52812,50	52812,50
XII.14	21467,50	20775,00
I.15	26385,00	25533,87
II.15	34440,00	36900,00
III.15	82160,00	79509,68
IV.15	85417,50	85417,50
V.15	55873,50	54071,13
VI.15	49585,00	49585,00
VII.15	47005,00	45488,71
VIII.15	52150,00	50467,74
IX.15	71130,00	71130,00
X.15	79165,00	76611,29
XI.15	40910,00	40910,00
XII.15	18845,00	18237,10
I.16	18450,00	17854,84
II.16	37800,00	39103,45
III.16	72645,00	70301,61
IV.16	63287,50	63287,50
V.16	58807,50	56910,48
VI.16	57377,50	57377,50
VII.16	42207,50	40845,97
VIII.16	58520,00	56632,26
IX.16	67875,00	67875,00
X.16	60740,00	58780,65
XI.16	38952,50	38952,50
XII.16	17535,00	16969,35

Tabulka 13 Data poptávky po výrobcích B

Období	Výrobky B neočištěné od kalendářní variace	Výrobky B očištěné od kalendářní variace
I.11	35530,00	34383,87
II.11	51015,00	54658,93
III.11	69745,00	67495,16
IV.11	57215,00	57215,00

V.11	62880,00	60851,61
VI.11	69465,00	69465,00
VII.11	76220,00	73761,29
VIII.11	89605,00	86714,52
IX.11	82985,00	82985,00
X.11	89937,50	87036,29
XI.11	65440,00	65440,00
XII.11	29710,00	28751,61
I.12	30675,00	29685,48
II.12	41625,00	43060,34
III.12	73455,00	71085,48
IV.12	62400,00	62400,00
V.12	58663,00	56770,65
VI.12	62480,00	62480,00
VII.12	59576,00	57654,19
VIII.12	62765,00	60740,32
IX.12	62469,50	62469,50
X.12	108215,00	104724,19
XI.12	50744,00	50744,00
XII.12	14655,00	14182,26
I.13	32355,00	31311,29
II.13	23420,00	25092,86
III.13	64075,00	62008,06
IV.13	48790,00	48790,00
V.13	60715,00	58756,45
VI.13	49105,00	49105,00
VII.13	60135,00	58195,16
VIII.13	77760,00	75251,61
IX.13	67330,00	67330,00
X.13	104505,00	101133,87
XI.13	59385,00	59385,00
XII.13	13680,00	13238,71
I.14	40745,00	39430,65
II.14	50825,00	54455,36
III.14	48450,00	46887,10
IV.14	49890,00	49890,00
V.14	60755,00	58795,16
VI.14	54640,00	54640,00
VII.14	53830,00	52093,55
VIII.14	49650,00	48048,39
IX.14	53563,50	53563,50

X.14	55165,00	53385,48
XI.14	38440,00	38440,00
XII.14	15480,00	14980,65
I.15	27860,00	26961,29
II.15	27400,00	29357,14
III.15	53390,00	51667,74
IV.15	47060,00	47060,00
V.15	41540,00	40200,00
VI.15	46135,00	46135,00
VII.15	35929,50	34770,48
VIII.15	44640,50	43200,48
IX.15	46195,00	46195,00
X.15	50135,00	48517,74
XI.15	34570,00	34570,00
XII.15	18870,00	18261,29
I.16	23240,00	22490,32
II.16	32595,00	33718,97
III.16	43820,00	42406,45
IV.16	41160,00	41160,00
V.16	44140,00	42716,13
VI.16	38795,00	38795,00
VII.16	37460,00	36251,61
VIII.16	47490,00	45958,06
IX.16	45585,00	45585,00
X.16	42900,00	41516,13
XI.16	38370,00	38370,00
XII.16	16490,00	15958,06

Tabulka 14 Data poptávky po výrobcích C

Období	Výrobky C neočištěné od kalendářní variace	Výrobky C očištěné od kalendářní variace
I.11	25086	24276,77
II.11	35283,5	37803,75
III.11	43987,5	42568,55
IV.11	45850	45850
V.11	58125	56250
VI.11	61637,5	61637,5
VII.11	65320	63212,9
VIII.11	81475	78846,77
IX.11	64262,5	64262,5
X.11	73050	70693,55

XI.11	48675	48675
XII.11	21662,5	20963,71
I.12	23150	22403,23
II.12	26750	27672,41
III.12	60712,5	58754,03
IV.12	54225	54225
V.12	51474,5	49814,03
VI.12	48700	48700
VII.12	54037,5	52294,35
VIII.12	51325	49669,35
IX.12	55150	55150
X.12	82675	80008,06
XI.12	41150	41150
XII.12	13862,5	13415,32
I.13	25600	24774,19
II.13	19387,5	20772,32
III.13	48750	47177,42
IV.13	34750	34750
V.13	55750	53951,61
VI.13	46037,5	46037,5
VII.13	56850	55016,13
VIII.13	73845	71462,9
IX.13	59900	59900
X.13	83300	80612,9
XI.13	56137,5	56137,5
XII.13	11137,5	10778,23
I.14	32362,5	31318,55
II.14	37600	40285,71
III.14	40450	39145,16
IV.14	46162,5	46162,5
V.14	62479,5	60464,03
VI.14	52750	52750
VII.14	50212,5	48592,74
VIII.14	48337,5	46778,23
IX.14	42432,5	42432,5
X.14	47551,5	46017,58
XI.14	40475	40475
XII.14	12150	11758,06
I.15	24925	24120,97
II.15	23825	25526,79
III.15	45887,5	44407,26

IV.15	40820	40820
V.15	38700	37451,61
VI.15	54375	54375
VII.15	40475	39169,35
VIII.15	42412,6	41044,45
IX.15	40737,5	40737,5
X.15	48000	46451,61
XI.15	33012,5	33012,5
XII.15	15075	14588,71
I.16	17400	16838,71
II.16	28462,5	29443,97
III.16	42550	41177,42
IV.16	40500	40500
V.16	37425	36217,74
VI.16	41900	41900
VII.16	35612,5	34463,71
VIII.16	43400	42000
IX.16	35412,5	35412,5
X.16	38175	36943,55
XI.16	36237,5	36237,5
XII.16	14025	13572,58

Tabulka 15 Data poptávky po výrobcích D

Období	Výrobky D neočištěné od kalendářní variace	Výrobky D očištěné od kalendářní variace
I.11	4808	4652,903
II.11	19866	21285
III.11	83664	80965,16
IV.11	42542	42542
V.11	52708	51007,74
VI.11	54746	54746
VII.11	55718	53920,65
VIII.11	73234	70871,61
IX.11	65136	65136
X.11	69770	67519,35
XI.11	25290	25290
XII.11	6410	6203,226
I.12	6512	6301,935
II.12	20360	21062,07
III.12	94074	91039,35
IV.12	61650	61650

V.12	40796	39480
VI.12	44758	44758
VII.12	46750	45241,94
VIII.12	47688	46149,68
IX.12	51082	51082
X.12	67588	65407,74
XI.12	23102	23102
XII.12	2046	1980
I.13	5166	4999,355
II.13	4092	4384,286
III.13	39042	37782,58
IV.13	45887	45887
V.13	40086	38792,9
VI.13	38310	38310
VII.13	51056	49409,03
VIII.13	53882	52143,87
IX.13	84410	84410
X.13	66774	64620
XI.13	21842	21842
XII.13	4532	4385,806
I.14	11088	10730,32
II.14	43794	46922,14
III.14	35992	34830,97
IV.14	38266	38266
V.14	49039	47457,1
VI.14	46500	46500
VII.14	55636	53841,29
VIII.14	43856	42441,29
IX.14	54002	54002
X.14	46218	44727,1
XI.14	18636	18636
XII.14	7014	6787,742
I.15	6988	6762,581
II.15	8422	9023,571
III.15	46566	45063,87
IV.15	48450	48450
V.15	40084	38790,97
VI.15	27660	27660
VII.15	30232	29256,77
VIII.15	33246	32173,55
IX.15	41264	41264

X.15	41482	40143,87
XI.15	17000	17000
XII.15	6198	5998,065
I.16	3982	3853,548
II.16	14984	15500,69
III.16	34986	33857,42
IV.16	32870	32870
V.16	31302	30292,26
VI.16	26046	26046
VII.16	22098	21385,16
VIII.16	30384	29403,87
IX.16	34180	34180
X.16	28844	27913,55
XI.16	21526	21526
XII.16	6094	5897,419

Tabulka 16 Data poptávky po výrobcích E

Období	Výrobky E neočištěné od kalendářní variace	Výrobky E očištěné od kalendářní variace
I.11	17604	17036,13
II.11	28023	30024,64
III.11	42699	41321,61
IV.11	42279	42279
V.11	44745	43301,61
VI.11	45252	45252
VII.11	39804	38520
VIII.11	58839	56940,97
IX.11	56856	56856
X.11	58908	57007,74
XI.11	40647	40647
XII.11	16926	16380
I.12	20301	19646,13
II.12	21819	22571,38
III.12	54303	52551,29
IV.12	36912	36912
V.12	30272	29295,48
VI.12	35661	35661
VII.12	36921	35730
VIII.12	36276	35105,81
IX.12	43323	43323
X.12	61383	59402,9

XI.12	28425	28425
XII.12	7617	7371,29
I.13	14484	14016,77
II.13	11838	12683,57
III.13	33399	32321,61
IV.13	23010	23010
V.13	38964	37707,1
VI.13	27255	27255
VII.13	31680	30658,06
VIII.13	45741	44265,48
IX.13	42357	42357
X.13	69987	67729,35
XI.13	30282	30282
XII.13	6852	6630,968
I.14	20481	19820,32
II.14	26850	28767,86
III.14	29049	28111,94
IV.14	33177	33177
V.14	39153	37890
VI.14	30927	30927
VII.14	30402	29421,29
VIII.14	28116	27209,03
IX.14	32376	32376
X.14	26628	25769,03
XI.14	21378	21378
XII.14	7956	7699,355
I.15	14586	14115,48
II.15	13662	14637,86
III.15	31455	30440,32
IV.15	27570	27570
V.15	22110	21396,77
VI.15	21828	21828
VII.15	18630	18029,03
VIII.15	22260	21541,94
IX.15	27252	27252
X.15	31857	30829,35
XI.15	13467	13467
XII.15	7680	7432,258
I.16	10464	10126,45
II.16	14829	15340,34
III.16	21915	21208,06

IV.16	24558	24558
V.16	17667	17097,1
VI.16	22854	22854
VII.16	18771	18165,48
VIII.16	20694	20026,45
IX.16	20805	20805
X.16	23763	22996,45
XI.16	19920	19920
XII.16	6894	6671,613

Tabulka 17 Týdenní předpověď výrobků A-E v m^3

Týdny 2017	Týdenní předpověď výrobků A v m^3	Týdenní předpověď výrobků B v m^3	Týdenní předpověď výrobků C v m^3	Týdenní předpověď výrobků D v m^3	Týdenní předpověď výrobků E v m^3
1	2,077627074	0	5,285886	0	0
2	9,124542423	47,27406	14,38157	0	171,3099
3	8,005580167	58,24597	17,1711	0	147,7808
4	13,88105034	47,54497	24,38744	0	197,1014
5	322,1533245	57,79665	28,18996	51,68934	131,7447
6	454,6295169	57,56694	27,68801	87,39958	150,5916
7	418,9151602	78,74679	25,39314	94,4373	131,0016
8	487,9619985	81,31962	28,9009	669,5274	150,2741
9	360,5831345	82,82536	24,57833	318,1229	121,5544
10	431,3317106	65,96092	31,61219	294,7151	131,6042
11	602,3683854	101,2864	41,53737	348,1609	144,4011
12	612,4475971	115,2071	35,90343	464,5975	159,3307
13	638,2391723	85,2702	51,36646	417,4729	180,1257
14	759,2851175	118,5834	46,6116	427,4101	209,7728
15	739,4958754	118,339	47,40472	450,7013	237,402
16	660,7933626	127,442	52,63617	474,6807	236,5023
17	651,7106446	132,3906	52,0495	351,8498	183,7108
18	578,1496265	90,06342	34,07978	236,8505	134,9468
19	527,585636	110,1703	37,83515	313,7353	145,4136
20	691,135307	80,59479	51,62371	431,2971	207,6108
21	742,3444305	141,5839	45,42636	441,8451	176,4567
22	516,4192656	107,0609	34,79713	221,6956	140,3551
23	509,0681659	75,72712	34,94249	188,1053	149,3094
24	423,6753833	80,53375	30,20016	221,8238	127,2625

25	367,623297	78,94665	31,70826	144,2359	118,1782
26	396,4538881	73,68657	34,73396	221,1774	123,5707
27	401,1624485	88,60473	28,89067	240,9758	119,1372
28	504,944815	29,6956	33,81066	140,2717	106,8208
29	533,1528547	120,084	35,63648	335,832	150,4281
30	456,7698818	94,29317	34,73319	285,5025	163,534
31	399,1233983	72,50946	26,20575	257,3258	77,64017
32	444,8624598	83,71676	26,49409	226,4012	80,94859
33	329,9793984	70,05453	28,40564	242,386	78,60819
34	506,0085779	53,93736	32,34335	220,5228	90,45646
35	494,8461656	78,80689	30,16117	286,6582	92,65059
36	711,0780693	116,1078	51,90243	548,2195	127,093
37	688,7254494	152,717	45,99391	467,0921	150,7612
38	836,3430117	98,09523	45,69835	425,6145	142,9742
39	602,7184696	89,23502	38,86731	340,9119	128,9356
40	767,7073173	68,81885	46,46156	288,7976	129,0724
41	758,9068813	128,6312	48,6544	359,1433	126,3618
42	733,1668164	125,3981	42,24667	395,0842	136,6813
43	589,8339851	126,3218	42,30537	445,5869	123,4565
44	345,9727663	40,34412	20,89392	50,4827	85,26396
45	374,4801279	64,47467	21,9321	76,73418	94,58539
46	265,2752422	50,78262	19,27318	102,8999	90,55053
47	219,8984121	34,2437	16,98817	33,84119	62,5836
48	231,4884514	52,4094	17,81443	52,2018	71,48453
49	57,9638804	0	0	0	52,35084
50	58,6771545	0	0	0	39,88794
51	40,74614584	0	0	0	38,40506
52	1,503319252	0	0	0	9,61376