

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Optimalizace výrobního procesu pomocí lineárního programování

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Karolína Čadková**
Osobní číslo: **E23066**
Studijní program: **N0413A050009 Ekonomika a management**
Specializace: **Ekonomika a management podniku**
Téma práce: **Optimalizace výrobního procesu pomocí lineárního programování**
Zadávající katedra: **Ústav matematiky a kvantitativních metod**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je analyzovat a optimalizovat výrobní proces ve zvoleném podniku. Dle popisu výrobního procesu bude sestaven matematický model, který umožní identifikovat distribuci zdrojů a optimalizovat produkční výstupy. Cílem optimalizace mohou být minimální náklady na výrobu či maximální zisk.

Osnova:

- Výrobní proces a optimalizace.
- Operační výzkum a lineární programování.
- Charakteristika vybraného výrobního procesu.
- Optimalizace výrobního procesu.
- Ekonomická interpretace a formulace doporučení.

Rozsah pracovní zprávy: **50**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- DANTZIG, George B. a THAPA, Mukund N. *Linear programming. 2, Theory and extensions. Springer series in operations research.* New York: Springer-Verlag, c2003. ISBN 0-387-98613-8.
- FÁBRY, Jan. *Matematické modelování.* Praha: Professional Publishing, 2011. ISBN 978-80-7431-066-9.
- FIALA, Petr. *Operační výzkum: nové trendy.* Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.
- GASS, Saul I. *Linear programming: methods and applications.* 5th ed. Mineola: Dover Publications, 2003. ISBN 0-486-43284-X.
- JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.* 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
- JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání. Expert.* Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
- TAHA, Hamdy A. *Operations research: an introduction.* Tenth edition. Harlow: Pearson, 2017. ISBN 978-1-292-16554-7.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Jana Heckenbergerová, Ph.D.**
Ústav matematiky a kvantitativních metod

Datum zadání diplomové práce: **1. září 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2025**

prof. Ing. Jan Stejskal, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. et Ing. Renáta Myšková, Ph.D. v.r.
garant studijního programu

V Pardubicích dne 1. září 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Optimalizace výrobního procesu pomocí lineárního programování jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 4. 2025

Bc. Karolína Čadková v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala své vedoucí diplomové práce paní Mgr. Janě Heckenbergerové, Ph.D. za její odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, která mě podporovala po celou dobu studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací výrobního procesu prostřednictvím lineárního programování. Práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou. V teoretické části je popsán pojem výrobní proces a optimalizace. Dále je v ní vysvětlen pojem operační výzkum a lineární programování včetně tvorby matematických modelů a použití metod, jako je simplexová metoda a nástroj Řešitel. Praktická část se zaměřuje na metodiku práce, charakteristiku vybraného výrobního podniku, tvorbu matematických modelů a jejich optimalizace a je zakončena ekonomickou interpretací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výrobní proces, optimalizace, operační výzkum, lineární programování, ekonomická interpretace

TITLE

Production process optimization using linear programming.

ANNOTATION

This diploma thesis focuses on the optimization of a production process using linear programming. The thesis is divided into a theoretical and a practical part. The theoretical part defines the concepts of the production process and optimization. It also explains the principles of operations research and linear programming, including the creation of mathematical models and the use of methods such as the simplex method and the Solver tool. The practical part is focused on the research methodology, the characteristics of the selected manufacturing company, the formulation and optimization of mathematical models, and concludes with the economic interpretation of the results.

KEYWORDS

Production process, optimization, operations research, linear programming, economic interpretation

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	11
ÚVOD.....	12
1. VÝROBNÍ PROCES A OPTIMALIZACE.....	13
1.1 Výrobní proces.....	13
1.1.1 Typy výrobních procesů	13
1.1.2 Faktory ovlivňující výrobní proces.....	14
1.1.3 Fáze výrobního procesu	15
1.2 Optimalizace výrobního procesu	16
1.2.1 Výhody optimalizace	17
1.2.2 Nevýhody optimalizace	18
2 OPERAČNÍ VÝZKUM A LINEÁRNÍ PROGRAMOVÁNÍ	20
2.1 Operační výzkum.....	20
2.1.1 Budoucnost operačního výzkumu.....	21
2.2 Lineární programování	21
2.2.1 Formulace ekonomického a matematického modelu LP	23
2.2.2 Kanonický tvar.....	25
2.2.3 Simplexova metoda.....	25
2.2.4 Funkce Řešitel.....	27
2.2.5 Ekonomická interpretace	29
3 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉHO PROCESU	30
3.1 Charakteristika výrobního podniku	30
3.2 Výrobní proces.....	31
4 OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU.....	36
4.1 Základní údaje k tvorbě matematických modelů	36
4.2 Tvorba matematického modelu	37
4.2.1 Modely zaměřené na maximalizaci zisku.....	37
4.2.2 Modely zaměřené na minimalizaci nákladů.....	44

4.3	Převod na kanonický tvar	47
4.4	Simplexová metoda a funkce Řešitel.....	48
4.4.1	Řešení modelů zaměřené na maximalizaci zisku	48
4.4.2	Řešení modelů zaměřené na minimalizaci nákladů	54
5	EKONOMICKÁ INTERPRETACE A DOPORUČENÍ.....	57
5.1	Ekonomická interpretace modelů zaměřených na maximalizaci zisku	57
5.2	Ekonomická interpretace modelů zaměřených na minimalizaci nákladů.....	60
5.3	Doporučení.....	63
	ZÁVĚR	64
	POUŽITÁ LITERATURA	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 - Simplexová tabulka.....	26
Obrázek 2 - Nastavení zelené buňky pro použití funkce Řešitel.....	27
Obrázek 3 - Nastavení modré buňky pro použití funkce Řešitel.....	28
Obrázek 4 - Nastavení Řešitele.....	28
Obrázek 5 - Firma Pravé hořické trubičky v Miletíně.....	31
Obrázek 6 - Příprava těsta.....	31
Obrázek 7 - Litinové plotny.....	32
Obrázek 8 - Ořez oplátek.....	32
Obrázek 9 - Navlhárna.....	33
Obrázek 10 - Stáčení trubiček.....	33
Obrázek 11 - Mix náplní.....	34
Obrázek 12 - Automatická a lidská plnička.....	34
Obrázek 13 - Chladárna.....	35
Obrázek 14 - Balení trubiček.....	35
Tabulka 1 - Příklad k použití funkce Řešitel.....	28
Tabulka 2 - Ekonomická interpretace modelu 1.....	37
Tabulka 3 - Ekonomická interpretace modelu 2.....	38
Tabulka 4 - Ekonomická interpretace modelu 3.....	39
Tabulka 5 - Ekonomická interpretace modelu 4.....	40
Tabulka 6 - Ekonomická interpretace modelu 5.....	41
Tabulka 7 - Ekonomická interpretace modelu 6.....	42
Tabulka 8 - Ekonomická interpretace modelu 7.....	43
Tabulka 9 - Ekonomická interpretace modelu 8.....	44
Tabulka 10 - Ekonomická interpretace modelu 9.....	45
Tabulka 11 - Ekonomická interpretace modelu 10.....	46
Tabulka 12 - Ekonomická interpretace modelu 11.....	46
Tabulka 13 - Počáteční řešení simplexovou metodou modelu 1.....	48
Tabulka 14 - Konečné řešení simplexovou metodou modelu 1.....	48
Tabulka 15 - Řešení modelu 1 pomocí Řešitele.....	49
Tabulka 16 - Řešení modelu 2 pomocí Řešitele.....	49

Tabulka 17 - Řešení modelu 3 pomocí Řešitele	50
Tabulka 18 - Řešení modelu 4 pomocí Řešitele	51
Tabulka 19 - Řešení modelu 5 pomocí Řešitele	51
Tabulka 20 - Řešení modelu 7 pomocí Řešitele	52
Tabulka 21 - Řešení modelu 7 pomocí Řešitele	53
Tabulka 22 - Řešení modelu 8 pomocí Řešitele	54
Tabulka 23 - Řešení modelu 9 pomocí Řešitele	54
Tabulka 24 - Řešení modelu 10 pomocí Řešitele	55
Tabulka 25 - Řešení modelu 11 pomocí Řešitele	55
Graf 1 - Porovnání maximalizace zisků a minimalizace nákladů v Kč	62

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

OV	operační výzkum
LP	lineární programování
ST	simplexová tabulka

ÚVOD

V prostředí rostoucí konkurence a dynamických tržních podmínek je kladen důraz na efektivní řízení podnikových procesů, především ve výrobní sféře. Podniky, které chtějí obstát v dlouhodobém horizontu, se musí soustředit na neustálé zlepšování produktivity, snižování nákladů a zvyšování kvality produkce. Klíčovým nástrojem, který v tomto směru nachází stále širší uplatnění, je optimalizace výrobního procesu. Jednou z metod, která umožňuje kvantitativně a systematicky analyzovat a zefektivnit výrobní činnosti, je lineární programování (LP).

Cílem této diplomové práce je analyzovat a optimalizovat výrobní proces ve zvoleném podniku. Na základě podrobného popisu výrobního postupu budou sestaveny matematické modely, které umožní identifikovat optimální distribuci dostupných zdrojů a určit efektivní produkční výstupy. Optimalizační modely budou zohledňovat různá omezení, jako jsou výrobní kapacity, časová dostupnost či spotřeba surovin. Cílem optimalizace je nalezení takového řešení, které minimalizuje výrobní náklady nebo maximalizuje zisk.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se věnuje vymezení základních pojmů, jako je výrobní proces, optimalizace a operační výzkum. Dále je zde podrobně popsáno lineární programování včetně jeho aplikace v oblasti výroby. Praktická část je zaměřena na charakteristiku konkrétního výrobního podniku, popis jeho výrobního procesu a tvorbu optimalizačních modelů. Modely budou řešeny pomocí simplexové metody i nástroje Řešitel v prostředí Microsoft Excel. Na závěr bude provedena ekonomická interpretace výsledků a navržena doporučení pro praxi.

Tato práce si klade za cíl nejen demonstrovat využitelnost kvantitativních metod v řízení výroby, ale i poukázat na praktické přínosy, které může lineární programování přinést při hledání efektivních rozhodnutí v konkrétních podmínkách výrobního podniku.

1. VÝROBNÍ PROCES A OPTIMALIZACE

V této kapitole bude pojednáno o výrobním procesu a jeho optimalizaci. Nejprve jsou představeny základní charakteristiky výrobního procesu, jeho typy a faktory, které ho ovlivňují. Dále jsou popsány jednotlivé fáze výroby od plánování až expedici finálních produktů. V závěru se věnuje pozornost optimalizaci výrobního procesu, jeho cílům, přístupům a metodám včetně využití lineárního programování.

1.1 Výrobní proces

Výrobní proces je definován jako soubor činností, kde jsou vstupní suroviny a materiály přeměněny na finální produkt prostřednictvím technologických operací a pracovních postupů (Černaj, 2024). Při tomto procesu jsou využívány výrobní zdroje, jako je pracovní síla, stroje, energie a další, aby bylo dosaženo požadované kvality a efektivity výroby. Výrobní proces je zároveň ovlivňován faktory, jako jsou dostupnost suroviny, technologický pokrok a požadavky trhu (Heizer a Render, 2014).

1.1.1 Typy výrobních procesů

Výrobní procesy jsou rozděleny do několika druhů výrob na základě charakteristik a objemu produkce. Mezi hlavní typy patří kusová výroba, sériová výroba a hromadná výroba.

Kusová výroba je charakterizována výrobou jednotlivých kusů nebo malých sérií produktů. Tento typ výroby je často využíván pro zakázkovou výrobu, kde jsou produkty přizpůsobeny specifickým požadavkům zákazníka (Jurová, 2016). Podle Simplicable (2017) je kusová výroba vhodná pro výrobu složitých a unikátních produktů. Tento typ výroby je typický pro odvětví, jako je strojírenství, kde je potřeba vyrábět specifické a často jedinečné komponenty (ProjectManager, 2023). Kusová výroba má několik výhod včetně vysoké flexibility a schopnosti rychle reagovat na změny v poptávce. Na druhou stranu, nevýhodou může být vyšší cena za jednotku produkce a delší výrobní časy (Jurová, 2016). Tento typ výroby je často využíván v malých a středních podnicích, kde je kladen důraz na kvalitu a přizpůsobení produktů zákazníkům (Simplicable, 2017).

Sériová výroba zahrnuje výrobu většího množství produktů v omezeném počtu sérií. Tento proces umožňuje efektivnější využití výrobních zařízení a snížení nákladů na jednotku produkce (Simplicable, 2017). Sériová výroba je často využívána v automobilovém průmyslu, kde je potřeba vyrábět velké množství identických dílů (ProjectManager, 2023). Tento typ výroby umožňuje dosažení vyšší produktivity a standardizace výrobků, což vede k nižším nákladům a vyšší kvalitě (Jurová, 2016). Sériová výroba má také své nevýhody včetně nižší

flexibility a vyšších nákladů na změnu výrobního procesu. Tento typ výroby je vhodný pro produkty, které mají stabilní a předvídatelnou poptávku (Simplicable, 2017). V automobilovém průmyslu je sériová výroba klíčová pro dosažení efektivity a konkurenceschopnosti (ProjectManager, 2023).

Hromadná výroba je zaměřena na nepřetržitou výrobu velkého množství standardizovaných produktů. Tento typ výroby je typický pro průmyslové odvětví, kde je kladen důraz na vysokou produktivitu a nízké výrobní náklady (ProjectManager, 2023). Hromadná výroba je často využívána v potravinářském průmyslu, kde je potřeba vyrábět velké množství produktů s minimálními náklady (Simplicable, 2017). Umožňuje dosažení velmi nízkých nákladů na jednotku produkce díky ekonomii z rozsahu. Tento typ výroby je však méně flexibilní a může být náročný na změnu výrobního procesu (Jurová, 2013). Hromadná výroba je vhodná pro produkty, které mají vysokou a stabilní poptávku, jako jsou potraviny, nápoje a spotřební zboží (ProjectManager, 2023).

Podle Jurové (2016) jsou výrobní procesy klíčovým prvkem pro dosažení efektivity a konkurenceschopnosti podniku. Každý typ výrobního procesu má své specifické výhody a nevýhody, které je třeba zvážit při plánování a řízení výroby. Výběr vhodného typu výrobního procesu závisí na mnoha faktorech, včetně charakteristik produktu, objemu produkce a požadavků trhu (Simplicable, 2017).

1.1.2 Faktory ovlivňující výrobní proces

Výrobní proces je ovlivňován řadou faktorů, které mohou mít zásadní dopad na efektivitu a kvalitu výroby. Mezi hlavní faktory patří technologie, suroviny, pracovní síla a logistika.

Technologie hraje klíčovou roli ve výrobním procesu. Moderní technologie umožňují automatizaci a zvyšují efektivitu výroby. Podle Chirumally et al. (2025) je digitální transformace v průmyslových podnicích považována za klíčový faktor pro zvýšení konkurenceschopnosti. Implementace pokročilých technologií, jako jsou robotika a umělá inteligence, může výrazně zlepšit výrobní procesy (Rootstock, 2022).

Suroviny jsou dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje výrobní proces. Náklady na suroviny a jejich dostupnost mohou mít zásadní vliv na celkové výrobní náklady. Fluktuační ceny komodit a narušení dodavatelských řetězců mohou vést k významným změnám nákladů (GEMS Manufacturing Ltd, 2024). Efektivní strategie nákupu a silné vztahy s dodavateli jsou nezbytné pro minimalizaci dopadů těchto změn (Moellhausen, 2024).

Pracovní síla je dalším klíčovým faktorem, který ovlivňuje výrobní proces. Dostupnost kvalifikovaných pracovníků a jejich produktivita jsou zásadní pro úspěch výroby. Podle studie Deloitte a Manufacturing Institute (2021) se očekává, že problémy s přilákáním a udržení pracovníků budou pokračovat i v budoucnosti. Investice do školení zaměstnanců a zlepšení pracovních podmínek mohou pomoci zvýšit produktivitu a udržet kvalifikované pracovníky (Vedantu, 2024).

Logistika je dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje výrobní proces. Efektivní logistické plánování je nezbytné pro zajištění plynulého toku surovin a hotových výrobků. Podle Mojro (2024) je logistické plánování klíčové pro včasné dodávky a eliminaci neefektivností v logistických procesech. Implementace pokročilých logistických řešení, jako jsou systémy řízené umělou inteligencí, může výrazně zlepšit efektivitu logistiky (TUKE, 2014).

Výrobní proces je tedy ovlivňován řadou faktorů, které je třeba pečlivě řídit a optimalizovat. Technologie, suroviny, pracovní síla a logistika jsou klíčovými prvky, které mohou výrazně ovlivnit efektivitu a kvalitu výroby.

1.1.3 Fáze výrobního procesu

Výrobní proces je složitý a zahrnuje několik klíčových fází, které musí být pečlivě řízeny a monitorovány, aby byla zajištěna efektivita a kvalita výroby. Mezi hlavní fáze patří plánování, příprava surovin a vstupních materiálů, výrobní operace, kontrola kvality, balení a expedice.

Plánování je první fází výrobního procesu, ve které je rozhodováno o tom, jak bude produkt vyráběn. Tento proces zahrnuje rozhodování o správě dodavatelského řetězce, surovinách, zaměstnancích a fyzickém prostoru, kde bude výroba probíhat (ProjectManager, 2024). Plánování výroby je klíčové pro zajištění, že zdroje budou využity efektivně a že produkty budou vyráběny v požadované kvalitě a množství (OptiProERP, 2023).

Příprava surovin a vstupních materiálů je další důležitou fází, ve které jsou suroviny připravovány pro výrobu. Tento proces zahrnuje třídění, čištění, řezání, mletí nebo míchání surovin, aby bylo dosaženo požadovaných specifikací (1Library, 2023). Příprava surovin je nezbytná pro zajištění, že všechny materiály splňují technické požadavky a jsou připraveny k použití ve výrobním procesu (World Paper Mill, 2023).

Výrobní operace zahrnují samotný proces výroby, při kterém jsou suroviny a vstupní materiály přeměňovány na hotové produkty. Tento proces zahrnuje různé operace, jako je řezání, tvarování, montáž a svařování, v závislosti na typu produktu (WallStreetMojo, 2023). Výrobní

operace musí být pečlivě řízeny a optimalizovány, aby byla zajištěna efektivita a kvalita výroby (Augmentir, 2024).

Kontrola kvality je klíčovou fází, ve které jsou produkty testovány a kontrolovány, aby bylo zajištěno, že splňují stanovené standardy kvality. Tento proces zahrnuje inspekci surovin, kontrolu během výroby a finální kontrolu hotových produktů (ProjectManager, 2024). Kontrola kvality je nezbytná pro zajištění, že produkty splňují požadavky zákazníků a že jsou bez vad (Kinmore, 2025).

Balení a expedice jsou posledními fázemi výrobního procesu, ve kterých jsou hotové produkty baleny a připravovány k expedici zákazníkům. Tento proces zahrnuje výběr vhodných obalových materiálů, balení produktů a jejich označení pro přepravu (BlueBoxPackaging, 2024). Efektivní balení a expedice jsou klíčové pro zajištění, že produkty dorazí k zákazníkům včas a v dobrém stavu (DiscoverEngineering, 2024).

1.2 Optimalizace výrobního procesu

Optimalizace výrobního procesu je proces, při kterém je výrobní systém analyzován a upravován s cílem zvýšit jeho efektivitu, snížit náklady a maximalizovat výstup. Tento proces je prováděn na základě identifikace kritických bodů výroby, eliminace ztrát a zavedení opatření ke zvýšení produktivity (Slack, Brandon-Jones a Johnston, 2022).

Optimalizace výrobního procesu je často realizována pomocí kvantitativních metod, mezi které patří analýza toků materiálů, využití metod štíhlé výroby nebo implementace moderních informačních systémů pro řízení výroby (Heizer, Render a Munson, 2020). Štíhlá výroba se zaměřuje na minimalizaci plýtvání prostřednictvím technik, jako je například metoda Just-in-Time (JIT), která snižuje potřebu nadměrných zásob a optimalizuje tok materiálů v podniku (Womack a Jones, 2003).

Další možností je využití teorie omezení, která identifikuje hlavní úzká místa ve výrobním procesu a soustředí se na jejich odstranění. Tento přístup je účinný zejména v případech, kdy je kapacita jednotlivých částí výroby nerovnoměrná a je třeba zajistit plynulost celého výrobního řetězce (Goldratt a Cox, 2016).

Jedním z přístupů k optimalizaci výrobního procesu je využití lineárního programování. Tato metoda umožňuje modelovat výrobní proces jako soustavu rovnic a nerovnic, kde jsou maximalizovány klíčové ukazatele, například zisk nebo výrobní kapacita, zatímco jsou dodržována omezení jako dostupnost surovin, časové kapacity strojů nebo omezení na

skladovací prostory (Bazaraa, Jarvis a Sherali, 2010). V praxi lze lineární programování aplikovat například na optimalizaci plánování výroby, minimalizaci odpadu nebo efektivní alokaci výrobních zdrojů (Winston, 2004).

Dalším aspektem optimalizace výrobního procesu je jeho udržitelnost. Firmy se snaží minimalizovat spotřebu energie a materiálů, snížit množství odpadu a optimalizovat logistiku tak, aby docházelo k co nejmenší environmentální zátěži. K tomu mohou být využívány modely vícekritériální optimalizace, které umožňují nalézt kompromis mezi ekonomickými a ekologickými cíli (Slack, Brandon-Jones a Johnston, 2022). Moderní přístupy zahrnují i cirkulární ekonomiku, která usiluje o efektivnější využití materiálů a minimalizaci odpadu prostřednictvím recyklace a znovuvyužití výrobků (Geissdoerfer et al., 2017).

Význam optimalizace výrobního procesu v současném průmyslovém prostředí stále roste. Konkurence nutí podniky k neustálému zvyšování efektivity a využívání moderních nástrojů, jako jsou umělá inteligence a strojové učení, které umožňují prediktivní řízení výroby a minimalizaci neefektivit (Heizer, Render a Munson, 2020). Digitalizace výrobních procesů společně s implementací technologií Průmyslu 4.0 přináší nové možnosti pro automatizaci a optimalizaci výrobních operací (Kagermann, Wahlster a Helbig, 2013).

1.2.1 Výhody optimalizace

Optimalizace výrobního procesu přináší řadu výhod, které mohou výrazně zlepšit efektivitu a konkurenceschopnost podniku. Jednou z největších výhod optimalizace výrobního procesu je zvýšení produktivity. Zavedení efektivnějších postupů, automatizace a moderních technologií může výrazně zkrátit dobu výroby a zvýšit množství vyrobených produktů. Například v automobilovém průmyslu může zavedení automatizovaných montážních linek zvýšit rychlost výroby a zároveň snížit počet chyb (Escare, 2024).

Optimalizace výrobního procesu může vést k významnému snížení nákladů. Efektivnější využití zdrojů, minimalizace odpadu a zlepšení kvality výrobků mohou snížit výrobní náklady. Například v potravinářském průmyslu může zavedení nových systémů pro sledování kvality a bezpečnosti potravin snížit množství zmetků a zvýšit efektivitu výroby (TecnoDigital, 2024).

Optimalizace výrobního procesu může také vést ke zlepšení kvality výrobků. Zavedení nových kontrolních systémů a technologií může zvýšit přesnost a konzistenci výroby, což vede k vyšší kvalitě konečných produktů. Například ve farmaceutickém průmyslu může zavedení nových systémů pro sledování a kontrolu výroby léků zvýšit kvalitu a bezpečnost léků (Endress+Hauser, 2024).

Podniky, které optimalizují své výrobní procesy, mohou získat konkurenční výhodu na trhu. Efektivnější výroba, nižší náklady a vyšší kvalita výrobků mohou zvýšit konkurenceschopnost podniku a přilákat nové zákazníky. Například v technologickém průmyslu může zavedení nových výrobních technologií zvýšit rychlost inovací a zlepšit postavení podniku na trhu (TecnoDigital, 2024).

Optimalizace výrobního procesu může také zvýšit flexibilitu a adaptabilitu podniku. Zavedení moderních technologií a automatizace může umožnit rychlé přizpůsobení výroby změnám na trhu a požadavkům zákazníků. Například v textilním průmyslu může zavedení nových výrobních technologií umožnit rychlé přizpůsobení výroby novým módním trendům (Escare, 2024).

1.2.2 Nevýhody optimalizace

Jedním z hlavních rizik optimalizace výrobního procesu je nedostatečné zapojení zaměstnanců. Pokud zaměstnanci nejsou dostatečně informováni a vyškoleni o nových postupech, může dojít k odporu vůči změnám. Tento odpor může dále vést k neefektivní implementaci nových procesů a snížení celkové produktivity. Zaměstnanci, kteří nerozumí důvodům a výhodám změn, mohou být méně motivovaní a méně ochotní spolupracovat (Escare, 2024).

Dalším významným rizikem jsou vysoké náklady na implementaci nových technologií a procesů. Počáteční investice do školení zaměstnanců, nákupu nového vybavení a softwaru mohou být velmi vysoké. Návratnost těchto investic nemusí být okamžitá, což může představovat finanční zátěž pro podnik. V některých případech může být obtížné získat potřebné finanční prostředky, což může zpomalit nebo zcela zastavit proces optimalizace (TecnoDigital, 2024).

Optimalizace výrobního procesu může vést k dočasnému přerušování výroby. Během implementace nových systémů a technologií může dojít k výpadkům a zpožděním, což může mít negativní dopad na dodací lhůty a spokojenost zákazníků. Přechod na nové procesy může být složitý a časově náročný, což může vést k dočasnému snížení produktivity a zvýšení nákladů (Endress+Hauser, 2024).

Zvýšená automatizace a digitalizace výrobních procesů mohou vést k větší závislosti na technologiích. V případě technických problémů nebo výpadků může dojít k významným narušením výroby. Závislost na technologiích také zvyšuje riziko kybernetických útoků, které

mohou mít vážné důsledky pro bezpečnost a kontinuitu výroby. Podniky musí investovat do robustních bezpečnostních opatření a pravidelné údržby, aby minimalizovaly tato rizika (TecnoDigital, 2024).

Zaměstnanci mohou být vůči změnám skeptičtí a mohou preferovat zavedené postupy. Tento odpor může zpomalit nebo zcela zablokovat proces optimalizace. Je důležité, aby vedení podniku aktivně komunikovalo se zaměstnanci, vysvětlovalo důvody a výhody změn a zapojovalo je do procesu rozhodování. Bez aktivní podpory zaměstnanců může být optimalizace výrobního procesu obtížná a méně úspěšná (Escare, 2024).

2 OPERAČNÍ VÝZKUM A LINEÁRNÍ PROGRAMOVÁNÍ

Tato kapitola se zaměří na teoretické aspekty operačního výzkumu a lineárního programování, přičemž bude kladen důraz na základní principy a metody. Dále budou diskutovány praktické aplikace těchto metod a jejich význam pro efektivní rozhodování v různých oblastech.

2.1 Operační výzkum

Operační výzkum (OV), známý také jako operační analýza, je interdisciplinární obor, který využívá matematické a analytické metody k řešení složitých rozhodovacích problémů. Jeho hlavním cílem je optimalizovat procesy a rozhodnutí v různých oblastech, jako jsou ekonomika, logistika, vojenské operace a další. Tento obor se stal klíčovým nástrojem pro zlepšování efektivity a efektivního využívání zdrojů v mnoha průmyslových odvětvích (Jablonský, 2007).

Operační výzkum vznikl během druhé světové války, kdy byl používán k optimalizaci vojenských operací a zdrojů. Vojenské týmy analytiků pracovaly na zlepšení efektivity radarových systémů, optimalizaci tras konvojů a strategickém plánování vojenských operací. Po válce se metody operačního výzkumu začaly aplikovat i v civilním sektoru, kde se rychle rozšířily do oblastí jako je výroba, doprava a zdravotnictví (Fábry, 2011).

Jedním z klíčových prvků operačního výzkumu je matematické modelování (Jablonský, 2007). To zahrnuje vytváření abstraktních modelů, které reprezentují reálné situace a problémy. Tyto modely umožňují analytikům simulovat různé scénáře a hledat optimální řešení. Modely mohou být jednoduché, jako jsou lineární rovnice, nebo složitější, zahrnující nelineární vztahy a dynamické systémy (Wikisofia, 2023).

Optimalizace je dalším klíčovým aspektem operačního výzkumu. Cílem je najít nejlepší možné řešení pro daný problém, což může zahrnovat maximalizaci zisku, minimalizaci nákladů nebo optimalizaci využití zdrojů. Mezi nejčastěji používané metody patří:

- Lineární programování: Používá se k řešení problémů, kde jsou cílová funkce a omezení vyjádřeny lineárními rovnicemi (Fábry, 2011).
- Nelineární programování: Řeší problémy s nelineárními vztahy.
- Dynamické programování: Používá se pro problémy, které lze rozdělit na menší, jednodušší podproblémy.
- Teorie grafů: Analyzuje sítě a optimalizuje cesty, například v dopravě a telekomunikacích (Jablonský, 2007).
- Aplikace operačního výzkumu

Operační výzkum má široké spektrum aplikací v různých odvětvích:

- **Ekonomika a výroba:** Optimalizace výrobních procesů, řízení zásob, plánování výroby a alokace zdrojů (Jablonský, 2007).
- **Logistika a doprava:** Optimalizace tras, řízení dopravy, skladování a distribuce.
- **Zdravotnictví:** Plánování a řízení zdravotnických služeb, optimalizace rozvrhů a alokace zdrojů.
- **Vojenské operace:** Strategické plánování, simulace bojových scénářů a alokace vojenských zdrojů (Fábry, 2011).

2.1.1 Budoucnost operačního výzkumu

S rozvojem technologií a dostupností velkých dat se operační výzkum neustále vyvíjí. Moderní metody, jako je strojové učení a umělá inteligence, jsou stále více integrovány do tradičních optimalizačních technik, což umožňuje řešit ještě složitější problémy s vyšší přesností a efektivitou (Wikisofia, 2023).

Operační výzkum je tedy dynamický a neustále se rozvíjející obor, který hraje klíčovou roli v optimalizaci procesů a rozhodování v mnoha různých odvětvích. Jeho aplikace přinášejí významné výhody v podobě zvýšené efektivity, snížení nákladů a lepšího využití zdrojů.

2.2 Lineární programování

Lineární programování (LP) je disciplínou operačního výzkumu, která se zabývá řešením rozhodovacích problémů. Ten lze chápat jako realizaci určitých procesů, kde je potřeba respektovat podmínky a najít co nejlepší možné řešení, aby bylo možné dosáhnout optimálních výsledků (Jablonský, 2007).

LP je mocný nástroj, který umožňuje efektivní alokaci zdrojů a optimalizaci rozhodovacích procesů. V ekonomii a managementu se používá k řešení široké škály problémů, včetně plánování výroby, optimalizace dopravy, alokace kapitálu a mnoha dalších oblastí (Jablonský, 2007). Díky své flexibilitě a schopnosti řešit složité problémy je lineární programování nezbytným nástrojem pro analytiku a manažery (Gass, 2003).

Podle Dantziga a Thapy (2003) je lineární programování jednou z hlavních aplikací matematiky v podnikání, průmyslu a ekonomii. Poskytuje metodologii pro optimalizaci výstupu, který je lineární funkcí několika vstupů. Gass (2003) zdůrazňuje, že lineární programování zahrnuje teoretické, výpočetní a aplikační koncepty, které jsou nezbytné pro řešení reálných problémů. Fábry (2011) ve své knize o matematickém modelování uvádí, že lineární programování je

klíčovou disciplínou operačního výzkumu a ekonometrie. Fiala (2010) se zaměřuje na nové trendy v operačním výzkumu a zdůrazňuje význam moderních metod a přístupů v optimalizaci ekonomických vztahů. Jablonský (2007) poskytuje komplexní přehled kvantitativních modelů pro ekonomické rozhodování, včetně lineárního programování.

Lineární programování se ve výrobě používá k řešení různých optimalizačních problémů:

- Plánování výroby: LP pomáhá určit optimální množství výrobků, které by měly být vyrobeny v daném časovém období, aby byly splněny požadavky zákazníků a zároveň byly minimalizovány náklady na výrobu a skladování (Jablonský, 2007).
- Alokace zdrojů: LP umožňuje efektivní rozdělení omezených zdrojů, jako jsou suroviny, pracovní síla a výrobní kapacity, mezi různé výrobní činnosti tak, aby bylo dosaženo co nejvyšší efektivity (Fábry, 2011).
- Řízení zásob: LP se používá k optimalizaci úrovně zásob, aby byly minimalizovány náklady na skladování a zároveň byla zajištěna dostatečná dostupnost materiálů pro výrobu (Endress+Hauser, 2024).

Příklady použití lineárního programování ve výrobním procesu

1. Optimalizace výrobního plánu: Představme si výrobní podnik, který vyrábí několik druhů produktů. Cílem je maximalizovat zisk při omezených výrobních kapacitách a dostupných surovinách. Pomocí LP lze vytvořit matematický model, který zahrnuje účelovou funkci (maximalizace zisku) a omezení (dostupnost surovin, výrobní kapacity). Řešením tohoto modelu získáme optimální výrobní plán (Jablonský, 2019).
2. Řízení zásob: Dalším příkladem je optimalizace úrovně zásob ve výrobním podniku. Cílem je minimalizovat náklady na skladování a objednávání materiálů. LP model zahrnuje účelovou funkci (minimalizace nákladů) a omezení (dostupnost skladovacích prostor, minimální úroveň zásob). Řešením tohoto modelu získáme optimální úroveň zásob (Fábry, 2011).

Použití lineárního programování ve výrobním procesu přináší několik výhod:

- Efektivita: LP umožňuje rychle a efektivně najít optimální řešení složitých výrobních problémů.
- Flexibilita: LP modely lze snadno upravit a přizpůsobit změnám ve výrobním procesu nebo vnějších podmínkách.

- Přesnost: LP poskytuje přesné a kvantitativní výsledky, které lze snadno interpretovat a implementovat (Endress+Hauser, 2024).

2.2.1 Formulace ekonomického a matematického modelu LP

Ekonomická formulace je zaměřena na praktickou aplikaci a interpretaci modelu v kontextu ekonomických problémů. Jsou identifikovány cíle, jako je maximalizace zisku nebo minimalizace nákladů, a definována omezení vycházející z reálných ekonomických podmínek, jako jsou dostupné zdroje, výrobní kapacity nebo poptávka (Hillier a Lieberman, 2010). Je často vyjádřena v pojmech, které jsou srozumitelné pro manažery a rozhodovatele, a klade důraz na interpretaci výsledků a jejich praktickou použitelnost (Bazaraa, Jarvis a Sherali, 2010)

Matematická formulace lineárního programování představuje proces převodu reálného problému do matematické formy, což umožňuje jeho analýzu a řešení pomocí matematických metod. Tento postup zahrnuje několik zásadních kroků, které jsou podrobně popsány níže.

Prvním krokem při tvorbě matematického modelu je určení rozhodovacích proměnných. Tyto proměnné reprezentují množství nebo úroveň různých činností či zdrojů, které mají být optimalizovány, a jsou obvykle označeny jako (x_1, x_2, \dots, x_n) . Identifikace těchto proměnných je nezbytná pro formulaci celého modelu (Strathmore University, 2023). Podle Fábryho (2011) je důležité pečlivě definovat tyto proměnné, protože tvoří základ celého modelu. Gass (2003) zdůrazňuje, že správná identifikace rozhodovacích proměnných je klíčová pro úspěšnou optimalizaci, protože umožňuje přesně kvantifikovat cíle a omezení modelu. Dantzig a Thapa (2003) dodávají, že rozhodovací proměnné musí být jasně definovány, aby bylo možné efektivně řídit optimalizační proces.

Další klíčovou částí je definování účelové funkce, která vyjadřuje cíl optimalizace - například maximalizaci zisku nebo minimalizaci nákladů. Tato funkce se zapisuje jako lineární kombinace rozhodovacích proměnných s odpovídajícími koeficienty, jež představují přínosy či náklady jednotlivých proměnných. Například účelová funkce má formu $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$, kde c_i označuje příslušný koeficient (University of Kentucky, 2023). Gass (2003) uvádí, že objektivní funkce je lineární kombinací rozhodovacích proměnných a její správná formulace je nezbytná pro dosažení požadovaných výsledků. Dantzig a Thapa (2003) dodávají, že objektivní funkce musí být jasně definována a kvantifikována, aby bylo možné efektivně řídit optimalizační proces. Jablonský (2007) zdůrazňuje, že objektivní funkce by měla být formulována tak, aby co nejlépe odrážela cíle organizace.

Formulace omezujících podmínek tvoří další zásadní krok. Tato omezení mohou zahrnovat dostupnost surovin, výrobní kapacity, pracovní sílu a další faktory. Vyjadřují se pomocí rovnic nebo nerovnic, které odrážejí omezení zdrojů či jiné požadavky, jež musí být splněny. Fiala (2010) zdůrazňuje, že omezení jsou klíčovým prvkem lineárního programovacího modelu, protože definují hranice, ve kterých se optimalizace může pohybovat. Jablonský (2007) uvádí, že správná formulace omezení je nezbytná pro zajištění realistických a dosažitelných výsledků modelu. Podle Dantziga a Thapy (2003) je důležité, aby omezení byla formulována přesně a jasně, aby bylo možné efektivně řídit optimalizační proces. Například omezující podmínka může mít tvar $a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \leq b$, kde a_i jsou koeficienty a b představuje dostupné množství zdroje (Stanford University, 2023).

Součástí modelování je i zahrnutí nezáporných podmínek, které zajistí, že rozhodovací proměnné nenabývají záporných hodnot. Tyto podmínky jsou obvykle vyjádřeny jako $x_i \geq 0$ pro všechna i (Strathmore University, 2023). Po specifikaci rozhodovacích proměnných, definování účelové funkce a stanovení omezujících podmínek vznikne kompletní matematický model, který lze formulovat jako optimalizační problém. Tento problém je následně řešen různými metodami, například simplexovým algoritmem. Obecný matematický model může vypadat i takto:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n, \rightarrow \max \text{ nebo } \min \quad (2.1)$$

za podmínek

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1,$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2,$$

:

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m,$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

Z účelová funkce také psaná jako $f(x)$,

x proměnná modelu,

n počet strukturních proměnných modelu,

m počet vlastních omezení,

c_j , $j = 1, 2, \dots, n$ - cenový koeficient příslušející j -té proměnné,

b_i , $i = 1, 2, \dots, m$ - hodnota pravé strany příslušející i -tému omezení,

a_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ - strukturní koeficient vyjadřující vztah mezi i -tým činitelem a j -tým procesem (Matematické programování, br).

Sestavený matematický model je dále analyzován. Tento postup zahrnuje použití příslušných algoritmů, jako je simplexový algoritmus, k nalezení optimálního řešení. Optimální řešení buď maximalizuje zisk, nebo minimalizuje náklady při současném respektování všech omezujících podmínek (University of Kentucky, 2023). Závěrečnou fází je interpretace získaných výsledků a jejich aplikace na reálný problém. Tato fáze zahrnuje analýzu optimálního řešení a jeho dopadu na rozhodovací procesy a strategické cíle organizace (Strathmore University, 2023).

2.2.2 Kanonický tvar

Kanonický tvar lineárního programování je standardní formát, ve kterém jsou úlohy lineárního programování formulovány pro usnadnění jejich řešení. Tento tvar zahrnuje maximalizaci účelové funkce, nezáporné proměnné a omezení vyjádřená rovnicemi.

Úloha lineárního programování je v kanonickém tvaru, pokud je účelová funkce maximalizována, všechny proměnné jsou nezáporné a všechna omezení jsou vyjádřena rovnicemi (Bazaraa, Jarvis a Sherali, 2010; Dantzig a Thapa, 2003).

Použití kanonického tvaru má několik výhod, včetně standardizace, jednodušší aplikace metod a lepšího pochopení struktury úlohy. Simplexová metoda, která je jednou z nejpoužívanějších metod pro řešení úloh lineárního programování, iterativně hledá optimální řešení pohybem po hranách polyedru definovaného omezeními úlohy. Proces začíná na jednom vrcholu polyedru a postupně se přesouvá k sousedním vrcholům, dokud není nalezeno optimální řešení (Hillier a Lieberman, 2010).

Další podrobnosti o kanonickém tvaru zahrnují jeho aplikaci v různých oblastech, jako je výroba a logistika. Například při plánování výroby může být kanonický tvar použit k optimalizaci výrobních procesů a minimalizaci nákladů (Heizer a Render, 2014). V logistice může být použit k optimalizaci přepravních tras a skladových zásob (Jurová, 2016).

Kanonický tvar je také důležitý pro pochopení a aplikaci pokročilých metod, jako je dualita a citlivostní analýza. Dualita v lineárním programování umožňuje analyzovat vztah mezi primární a duální úlohou, což může poskytnout cenné informace o optimálním řešení a jeho stabilitě (Gass, 2003). Citlivostní analýza pak umožňuje zkoumat, jak změny v parametrech úlohy ovlivňují optimální řešení (Fábry, 2011).

2.2.3 Simplexová metoda

Simplexová metoda patří mezi nejčastěji používané algoritmy pro řešení úloh lineárního programování. Tuto metodu vyvinul George Dantzig a její princip spočívá v prohledávání

konečného množství základních řešení s cílem nalézt optimální výsledek (Dantzig a Thapa, 2003). Metoda nachází široké uplatnění v oblastech, jako je výroba, logistika nebo finance, kde se klade důraz na efektivní využití zdrojů a minimalizaci nákladů.

Proces začíná formulací úlohy, která je převedena do kanonického tvaru, kde jsou všechny omezení vyjádřeny jako rovnice a všechny proměnné jsou nezáporné. Řádky ST odpovídají vlastním omezením. V prvním řádku pod c_1, c_2, \dots, c_n je účelová funkce matematické rovnice. Sloupce tabulky odpovídají vektorům koeficientů strukturních a přídatných proměnných. Pravé strany matematického modelu vlastních omezení jsou 4. sloupcem tabulky představující v tabulce x . Třetí sloupec obsahuje cenové koeficienty daných indexů. Poslední sloupec je pro pomocnou hodnotu t (Černaj, 2024).

i	\mathcal{B}_h	$c_{\mathcal{B}_h}$	x_h	c_1	c_2	\dots	c_j	\dots	c_n
				p_1	p_2		p_j		p_n
1	p_{i_1}	c_{i_1}	$x_{i_1}^h$	p_{11}	p_{12}		p_{1j}		p_{1n}
2	p_{i_2}	c_{i_2}	$x_{i_2}^h$	p_{21}	p_{22}		p_{2j}		p_{2n}
:									
:									
i	p_{i_i}	c_{i_i}	$x_{i_i}^h$	p_{i1}	p_{i2}		p_{ij}		p_{in}
:									
:									
m	p_{i_m}	c_{i_m}	$x_{i_m}^h$	p_{m1}	p_{m2}		p_{mj}		p_{mn}
$m+1$			$f(x_h)$	$z_1 - c_1$	$z_2 - c_2$		$z_j - c_j$		$z_n - c_n$

Obrázek 1 - Simplexová tabulka

Zdroj: Linda a Volek, 2016

Poté je vytvořena počáteční simplexová tabulka, která obsahuje koeficienty zadané úlohy. Tabulka je rozdělena do několika částí: základní proměnné, nezákladní proměnné a cílová funkce (BeeWaTec, 2024). Iterativní proces zahrnuje výběr vstupní proměnné na základě největšího negativního koeficientu v řádku cílové funkce (pro maximalizační úlohy) a výběr výstupní proměnné na základě poměru hodnot pravé strany omezení k odpovídajícím koeficientům vstupní proměnné (ELUC, 2024). Pivotování je proces, při kterém se aktualizuje simplexová tabulka, a to přepočítáním všech hodnot v tabulce (Fábry, 2011).

Po každé iteraci se testuje, zda je aktuální řešení optimální. Pokud jsou všechny koeficienty v řádku cílové funkce nezáporné (pro maximalizační úlohy), je nalezeno optimální řešení (Fiala, 2010). Pokud optimální řešení není nalezeno, iterativní proces pokračuje, dokud není nalezeno optimální řešení nebo není zjištěno, že úloha nemá řešení (Gass, 2003).

2.2.4 Funkce Řešitel

Matematická funkce Řešitel je určena jako klíčový nástroj pro nalezení optimálního řešení v rámci daného matematického modelu. Tato funkce je využívána především v optimalizačních úlohách, kde je zapotřebí maximalizovat či minimalizovat daný cílový parametr při splnění všech definovaných omezení (Hillier a Lieberman, 2021).

Funkce Řešitel je typicky formulována jako objektivní funkce, která je podrobena soustavě omezujících podmínek. V lineárním programování je tato funkce obvykle reprezentována jako lineární kombinace rozhodovacích proměnných (Bazaraa, Jarvis a Sherali, 2010). Proces optimalizace je prováděn pomocí funkce Řešitel (Winston, 2004). Pro ilustraci příkladu řešení budeme vycházet z metodiky prezentované na stránkách Ablebits.com (2024).

$$f(x): 6,9x_4 \rightarrow \max$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,74x_1 + 0,9x_2 + 1,08x_3 + 0,9x_4 \leq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad x_2 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad x_3 + \quad \leq 50000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad x_4 \leq 56000$$

$$\text{nezápornost} \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

Daný matematický model se převede do kanonického tvaru a vytvoří se tabulka. Zelená buňka představuje účelovou funkci, ve které je potřeba nastavit propojení mezi ostatními buňkami, tzn. že použijeme funkci součin. skalární do které vybereme řádky žluté a cílové funkce, viz níže.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
x1	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Z
un	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	12

Obrázek 2 - Nastavení zelené buňky pro použití funkce Řešitel

Zdroj: Vlastní zpracování

Modré buňky představují omezení matematického modelu, které je třeba také propojit tak, že zvolíme opět funkci součin. skalární a do ní zvolíme žluté řádky, které je potřeba zafixovat

pomocí klávesy F4 a omezení, viz obrázek níže, které následně roztáhneme do ostatních modrých buněk. Žluté buňky představují výsledné řešení modelu.

The screenshot shows the Excel Solver function bar with the formula `=SOUCIN.SKALARNI(B4:J4; B2:J2)`. Below it is a table with columns labeled x1 through x9 and Z. The first row (referred to as 'rešení' in the caption) has yellow cells for x1-x9 and a green cell for Z containing '0'. The second row (referred to as 'cílová funkce') has blue cells for x1-x9 and a blue cell for Z containing '0'. The third row (referred to as 'omezení') has blue cells for x1-x9 and a blue cell for Z containing '0'. The values in the blue cells are: x1: 0, x2: 0, x3: 0, x4: -6,9, x5: 0, x6: 0, x7: 0, x8: 0, x9: 0, Z: 0. The values in the yellow cells are: x1: 0,73, x2: 0,9, x3: 1,08, x4: 0,9, x5: 1, x6: 0, x7: 0, x8: 0, x9: 0, Z: 0(\$J\$2).

Obrázek 3 - Nastavení modré buňky pro použití funkce Řešitel

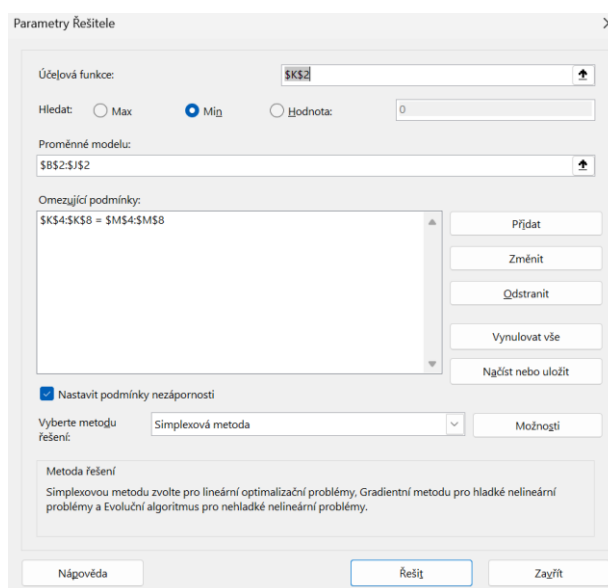
Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 1 - Příklad k použití funkce Řešitel

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Z		
řešení											0	
cílová funkce	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0	0	54000
omezení	0,73	0,9	1,08	0,9	1	0	0	0	0	0	0	74000
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	60000
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	50000
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	56000
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	

Zdroj: Vlastní zpracování

Při spuštění funkce Řešitel se objeví tabulka, kdy do účelové funkce zvolíme zelenou buňku (jedná o maximalizaci zisku, ale při převodu na kanonický tvar se změní účelová funkce na min), následně zvolíme do řádku hledat min. Do proměnné modelu zvolíme celý žlutý řádek a do omezujících podmínek nastavíme modré buňky, které se rovnají pravým stranám. Poté zmáčkneme funkci řešit a ukáže se nám optimální řešení modelu.



Obrázek 4 - Nastavení Řešitele

Zdroj: Vlastní zpracování

Při použití funkce Řešitel je zohledňována nejen efektivita výpočtu, ale také robustnost modelu a jeho schopnost přizpůsobit se různým scénářům (Schrijver, 1998). Významnou roli hraje také kvalita vstupních dat, neboť nepřesnosti mohou vést k chybným výsledkům a suboptimálním rozhodnutím. Proto je doporučováno provádět citlivostní analýzu, která umožňuje posoudit vliv změn parametrů na konečný výstup modelu (Hillier a Lieberman, 2021).

V rámci lineárního programování je funkce Řešitel nejčastěji spojována se simplexovou metodou, která byla vyvinuta Georgem Dantzigem v roce 1947. Tato metoda je založena na postupném přesouvání mezi vrcholy přípustné oblasti, dokud není nalezen optimální bod (Dantzig, 1998). V případě složitějších úloh, kde se vyskytují nelineární vztahy, jsou využívány pokročilejší techniky, jako je metoda vnitřních bodů, která umožňuje efektivnější průchod řešením (Boyd a Vandenberghe, 2004).

V současné době je Řešitel integrován do různých softwarových platforem, které umožňují snadnější formulaci optimalizačních modelů. Například v podnikovém prostředí jsou často využívány pro plánování výroby, alokaci zdrojů nebo řízení dodavatelských řetězců (Winston, 2004). Díky pokrokům v oblasti výpočetní techniky je nyní možné řešit i velmi rozsáhlé problémy, které by dříve nebylo možné zvládnout v reálném čase.

2.2.5 Ekonomická interpretace

Ekonomická interpretace v lineárním programování spočívá v převodu výsledků matematických modelů do kontextu reálných ekonomických problémů a jejich aplikaci k praktickým situacím. Tento proces zahrnuje analýzu a objasnění výstupů z lineárního programování s ohledem na ekonomické teorie i konkrétní okolnosti. Například proměnné v těchto úlohách mohou představovat množství výrobků, které je třeba vyrobit, nebo zdroje, které je nutné efektivně rozdělit. Cílová funkce naopak může odrážet snahu minimalizovat náklady či maximalizovat zisk (Fábry, 2011). K určení ekonomické interpretace se využívají matematické a statistické metody, které zpracovávají výsledky získané při řešení úloh lineárního programování. Mezi klíčové nástroje patří simplexová metoda, analýza citlivosti a duální analýza. Tyto techniky pomáhají nalézt optimální řešení a zkoumat, jak změny parametrů modelu mohou ovlivnit dosažené výsledky (Fiala, 2010).

3 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉHO PROCESU

V této kapitole bude představen podnik, ve kterém je realizována výroba a následně popsán výrobní proces. Nejprve bude popsána historie podniku hořických trubiček a následně bude rozebrán samotný výrobní proces, včetně použitých surovin, technologií a jednotlivých fází výroby.

3.1 Charakteristika výrobního podniku

Podle webové stránky Pravé hořické trubičky, s.r.o., n.d., je město Hořice především známé výrobou hořických trubiček. Podle legendy byl recept na jejich výrobu sdělen paní Líčkové ranějším osobním kuchařem císaře Napoleona při jeho návratu přes České země po porážce v Rusku v roce 1812 jako odměna za poskytnuté ošetřování. Existence obdobné pochoutky je doložena již na stole francouzského Krále Slunce Ludvíka XIV., přičemž její zobrazení bylo zachyceno i na obraze z roku 1630, tedy ještě před obdobím jeho panování.

Podle jiné legendy bylo již v době Napoleonova tažení do Ruska zaznamenáno, že trpěl žaludečními potížemi, a proto mu jeho osobním kuchařem byly pečeny tenké dietní oplatky z proseté pšeničné mouky s trochou mléka, žloutku, oleje, cukru a soli, které si oblíbil. Myšlenka sypaní a stáčení oplatek do podoby trubiček se však údajně zrodila až v Hořicích.

Rodinná receptura byla později zdokonalena Karlem Kofránkem, cukrářem, který se do rodiny přizemil. Tato pochoutka byla jím vyráběna pod názvem Kofránkovy hořické trubičky. S pomocí Františka Křížika byl vyvinut elektrický přístroj na výrobu oplatek - dvě pánve, které se přiklápěly proti sobě, mezi něž bylo lito těsto, čímž vznikla oplatka. Za tento přístroj, který zdokonalil proces pečení, byl v roce 1898 udělen patent.

Po roce 1949 byly však všechny výrobní závodněny a výroba soustředěna do národního podniku Pardubický perník, později do podniku Průmysl trvanlivého pečiva Praha. Obchodní výroba byla následně postupně přesunuta mimo Hořice, přestože místní obyvatelé pro vlastní potřebu pekli trubičky nadále. Tradiční ruční výroba byla v Hořicích obnovena až po roce 1990, přičemž v roce 1999 byla zahájena výroba firmou Pravé hořické trubičky, s.r.o.

Pravé Hořické trubičky Miletín se pyšní ruční výrobou. Zatímco jiné firmy se snaží nahradit manuální práci stroji, v Miletíně kladou důraz na ruční práci. Oplatky jsou v zásadě podobné, avšak liší se v náplních. Tento výrobek je chráněn Evropskou unií a na území, kde se vyrábí, má status chráněného zeměpisného označení původu. To znamená, že výroba hořických

trubiček je vymezena na oblast Hořic a okolních 6 kilometrů. V Hořicích se nacházejí tři trubičkárny, další tři jsou v přilehlých vesnicích, přičemž největší z nich sídlí právě v Miletíně.



Obrázek 5 - Firma Pravé hořické trubičky v Miletíně

Zdroj: Pravé hořické trubičky, s.r.o., n.d.

3.2 Výrobní proces

V následujících řádcích bude detailně popsán celý výrobní proces hořických trubiček od prvotní přípravy surovin až po finální zabalení hotového produktu.

Nejprve je namícháno velmi řídké těsto, do kterého je přidáno velké množství vody, do kterého se dávkuje bílá hladká mouka, sušené vaječné žloutky, mléko a olej. Vše je velmi krátce, během dvou minut, promícháno, čímž je vytvořeno řídké těsto, které je následně přelito do zásobníků stroje. Svou konzistencí připomíná těsto na palačinky.



Obrázek 6 - Příprava těsta

Zdroj: Vlastní

Vzniklé těsto je zaměstnanci převezeno do dávkovače stroje na oplatky, které si samočinně dávkují těsto pomocí čerpadel na litinovou rozpálenou plotnu. Hmota je roztažena a za necelou minutu je oplatka upečena. Hotový kus je následně odebrán robotickou rukou a přesunut do zásobníku.



Obrázek 7 - Litinové plotny

Zdroj: Vlastní

Ze zásobníku si zaměstnanci berou oplatky na ořezání, aby byla dosažena ideálně stejná délka a objem trubičky. Ořezávání je prováděno po tečně, což zajišťuje, že kraj je daleko pevnější, než kdyby byla oplatka stáčená po kulaté straně. Zbytky nejsou vyhazovány, ale jsou nejemno přidávány jako zahušťovadlo do krému, čímž mu je dodána naprosto unikátní chuť.



Obrázek 8 - Ořez oplatek

Zdroj: Vlastní

Ořezané oplatky se přepraví o patro výš do řízené navlhárny, kde je s nimi nakládáno s maximální péčí. V tomto speciálně upraveném prostoru, kde je udržována stálá teplota přibližně 31 stupňů Celsia a vlhkost dosahuje 80 %, jsou oplatky ponechány k odpočinku. Zůstávají po dobu 3 až 4 týdnů, během nichž je jim postupně dodávána optimální vláčnost potřebná pro další zpracování. Tento proces zajišťuje, že oplatky získají správnou strukturu a nebudou při následném stáčení praskat.



Obrázek 9 - Navlhárna

Zdroj: Vlastní

Další částí procesu je ruční smotávání trubiček, které byly předtím ponechány k odpočinku v navlhárně. Díky obsažené vodě v oplatkách je umožněna jejich opětovná tvárnost, což je klíčové pro správné stáčení oplatek. Po přiložení oplatky na rozpálenou lihovou plotnu je vlhkost aktivována, čímž dochází k jejímu změknutí a lepší přizpůsobivosti. Následně je pomocí dřevěného tvořítko opatrně stočena do charakteristického tvaru. Na konci procesu je trubička ponechána krátce odpočívat, aby se její okraje pevně spojily a vytvořily nepropustný váleček. Tento krok nemůže být prováděn strojem, neboť křehké oplatky vyžadují jemný a citlivý přístup, kterého stroje nejsou schopny dosáhnout. Kritický je zejména moment finálního spojení, který může být správně proveden pouze zkušeným pracovníkem. Zajímavostí je, že tato precizní činnost je výhradně vykonávána ženami. Důvodem je skutečnost, že žádný muž nedisponuje tak jemnou motorikou a citlivostí potřebnou pro mikro pohyby při této delikátní práci. Každá zručná pracovnice dokáže během jedné 7,5hodinové směny stočit přibližně 4-6 tisíc trubiček.



Obrázek 10 - Stáčení trubiček

Zdroj: Vlastní

Stočené trubičky jsou následně přepraveny ke strojům, kde se naplní požadovanou příchutí. Náplně jsou vyráběny v osmi základních druzích: čokoládová, lísko-oříšková, vanilkovo-skořicová, kokosová, kávová, vaječný likér a jogurtová. Jak však poznamenává vedoucí výroby, chuť zákazníků je poměrně konzervativní, a proto je čokoládová náplň stále nejoblíbenější. Základem každé náplně jsou dvě klíčové suroviny - neztužený rostlinný tuk a větší množství cukru, které jí dodávají požadovanou konzistenci a sladkost. Stabilita krému je zajišťována přidáním rýžového škrobu a sušeného mléka, čímž je dosaženo jemné, ale pevné struktury. Následně jsou postupně přidávány chuťové nosiče, které určují finální chuť a aroma každého druhu náplně.



Obrázek 11 - Mix náplní

Zdroj: Vlastní

Frekventované příchutě, jako je čokoládová či vanilková, jsou plněny automatickou plničkou, která zajišťuje vysokou efektivitu a konzistentní kvalitu. Naopak méně běžné varianty, jako kávová nebo kokosová, jsou plněny ručně, což umožňuje větší flexibilitu při výrobě menších šarží. Zatímco ruční plnička zvládne naplnit přibližně 10 - 12 tisíc trubiček během jedné směny, automatizovaný stroj dokáže stejné množství naplnit za pouhou hodinu, což výrazně urychluje výrobu nejoblíbenějších příchutí.



Obrázek 12 - Automatická a lidská plnička

Zdroj: Vlastní

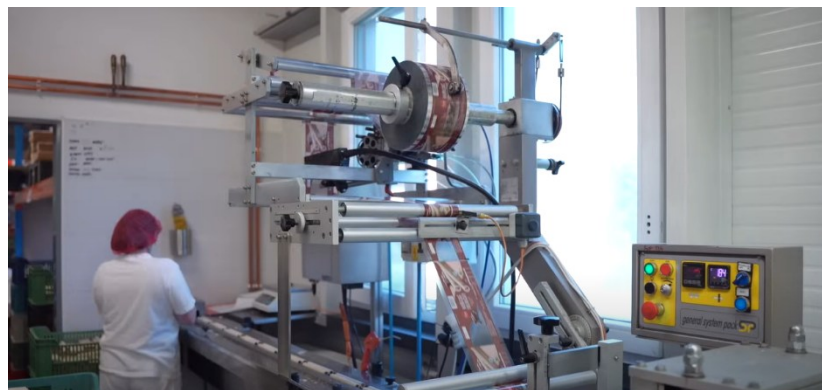
Naplňené trubičky se přesunou do chladírny, kde probíhá stabilizace krémů a odpočívají zde po dobu 12 hodin, což umožňuje krémům dosáhnout požadované konzistence. Jakmile se trubičky ochladí, krém zůstává po oloupaní oplatky jako krásný polotuhý váleček, který je pro zákazníky tím největším lákadlem a oblíbeným charakteristickým znakem produktu.



Obrázek 13 - Chladírna

Zdroj: Vlastní

Tradičně se hořické trubičky balí po dvou kusech, což zajišťuje pohodlné a atraktivní balení pro zákazníky. Trubičky jsou vyváženy pouze na Slovensko, protože kapacita výroby nestačí na pokrytí dalších exportních trhů.



Obrázek 14 - Balení trubiček

Zdroj: Vlastní

V českých obchodech je možné trubičky zakoupit v řetězci Penny, kde jsou nabízeny pod privátní značkou Enjoy. Kromě toho si zákazníci mohou ve firemní prodejně vychutnat jedinečný zážitek, kdy si mohou smotat vlastní trubičku. Tato trubička není plněná, ale obsahuje máslo, med a posypku, což jí dodává originální a domácí charakter.

4 OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU

V rámci praktické části byl vytvořen dotazník za účelem získání vstupních údajů o výrobě hořických čokoládových trubiček. Tento dotazník byl následně distribuován do firmy, která se specializuje na výrobu těchto produktů. Výsledky dotazníku poskytují přehled o různých aspektech výroby, distribuce a nákladů spojených s tímto produktem. Dodatečně získané údaje o výrobě byly firmou poskytnuty na základě položených otázek týkajících se přímo konkrétní věci. Pro optimalizaci výrobního procesu bude použita Simplexová metoda a funkce Řešitel v Excelu. Tento postup umožní nalézt optimální řešení pro výrobní proces.

4.1 Základní údaje k tvorbě matematických modelů

Na základě vstupních údajů získaných z dotazníkového šetření jsou zde shrnuty klíčové parametry potřebné pro tvorbu matematických modelů. Tyto údaje slouží k definování vstupních proměnných, omezení a optimalizačních kritérií, která budou využita při návrhu modelu. Z důvodu požadavku firmy, byly skryté přílohy týkající se přesného receptu a množství surovin potřebné na oplatky i čokoládovou náplň.

Čokoládové trubičky v bílé oplatce jsou nabízeny ve dvou typech balení: kartony po 50 kusech nebo 25 kusech. Cena za balíček, který obsahuje dvě trubičky, je stanovena na 6,90 Kč pro maloobchod a 15 Kč na e-shopu. Výrobky jsou dostupné prostřednictvím několika distribučních kanálů, včetně EDI, e-mailu a obchodních zástupců. Minimální objednávka přes e-shop je možná po jednotlivých kusech, zatímco při využití dopravce je minimální množství stanoveno na 70 kartonů, což odpovídá půl paletě.

Náklady na suroviny pro výrobu jedné trubičky jsou pečlivě kalkulovány. Cena oplatky je 0,64 Kč bez DPH, plnění trubiček 2,42 Kč bez DPH a balení trubiček 5,32 Kč bez DPH. Dostupnost surovin je zajištěna měsíčními dodávkami, které zahrnují 5 800 kg mouky, 4 000 kg cukru, 3 200 kg mléka, 10 500 kg tuku, 300 kg žloutků, 40 kg aroma a 2 000 kg škrobu. Probíhají 2 směny denně a pracovní sílu tvoří 53 zaměstnanců pracujících na 7,5hodinové směně, z toho 40 výrobních pracovníků a zbytek skladníků. Pracovní doba je od 6:00 do 14:00 a od 14:00 do 22:00, bez omezení, s možností údržby během provozu nebo v sobotu.

Výrobní kapacita firmy: 74 000 ks oplatek za dvě směny, stáčením 40 000 až 50 000 ks trubiček, 60 000 ks naplněných trubiček za dvě směny, zabalení 56 000 ks. Časová náročnost jednotlivých operací je 1 minuta na oplatku, 20 vteřin až 1 minuta na plnění a 50 vteřin na stáčení.

4.2 Tvorba matematického modelu

V rámci praktické části jsou vytvořeny matematické modely, které jsou navrženy s cílem optimalizovat maximální zisk a minimalizovat náklady výrobního procesu. Modely jsou vytvořené na základě dat získaných z dotazníku o výrobních procesech.

4.2.1 Modely zaměřené na maximalizaci zisku

Model 1

V tabulce jsou uvedeny základní údaje k vytvoření modelu 1 na maximalizaci zisku. Balení trubičky se skládá ze dvou samostatných trubiček. Do cílové funkce proto zvolíme maximalizaci ceny za 1 kus balení, a protože je prodáváme zabalené, tak k tomu dáme x_4 . Firma má denně 2 směny po 8 hodinách, ale budeme počítat pouze 7,5h, kdy vynecháme 30minutovou pauzu. Výpočet časové kapacity proběhl výpočtem směna/výrobní kapacita daných produktů, tím zjistíme, jak dlouho trvá 1 proces, protože firma na dané produkty využívá několik strojů.

Tabulka 2 - Ekonomická interpretace modelu 1

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	74 000
Stáčení	1,08	50 000
Náplň	0,90	60 000
Balení	0,90	56 000
Směna	54 000	-
Cena za balení trubiček	6,90 Kč	

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplatek

x_2počet stáčených oplatek

x_3počet naplněných trubiček

x_4počet zabalených trubiček

$$f(x): 6,9 x_4 \rightarrow \max \quad (4.1)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,74x_1 + 0,9x_2 + 1,08x_3 + 0,9x_4 \leq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad x_2 + \quad \leq 50000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad x_3 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad x_4 \leq 56000$$

$$\text{nezápornost} \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

Cílová funkce modelu 1 představuje maximalizaci zisku z prodaných trubiček za 2 směny. První podmínka představuje časové omezení směny, která trvá 7,5 hodiny a je zde převedena na vteřiny kvůli stejným jednotkám, jedna oplatka trvá vyrobit 0,73 vteřin, stáčení jedné oplatky trvá 1,08, jedna trubička trvá naplnit čokoládovou náplní 0,9 vteřin a zabalit trubičky trvá 0,9 vteřin. Druhá podmínka představuje maximální kapacitu vyrobených oplatek za denní produkci je 74 000 ks, třetí podmínka je na maximální počet stočených trubiček 50 000 ks, čtvrtá podmínka je na maximální počet naplněných trubiček je 60 000 ks a pátá podmínka tvoří maximální počet zabalených trubiček 56 000 ks.

Model 2

Do druhého modelu přidáme podmínky týkající se propojení výroby, kde vycházíme z údajů dané v tabulce uvedenou níže. Podmínky časové a výrobní kapacity zůstávají stejné.

Tabulka 3 - Ekonomická interpretace modelu 2

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	74 000
Stáčení	1,08	50 000
Náplň	0,90	60 000
Balení	0,90	56 000
Směna	54 000	-
Cena za balení trubiček	6,90 Kč	

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplatek

x_2počet stáčených oplatek

x_3počet naplněných trubiček

x_4počet zabalených trubiček

$$f(x): 6,9 x_4 \rightarrow \max \quad (4.2)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 1,08x_3 + 0,9x_4 \leq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad \quad x_2 + \quad \leq 50000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad \quad x_3 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad \quad x_4 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplatek} \quad x_1 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby stáčení} \quad \quad x_2 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplň} \quad \quad \quad x_3 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

Do modelu 2 bylo přidáno omezení týkající se provázanosti výrobky. To tedy znamená, že musíme vyrobit alespoň 2 oplatky oproti balení, podmínka následující znamená, musíme stočit alespoň 2 trubičky oproti balení a poslední nová podmínka znamená, že musíme naplnit 2 trubičky oproti balení a opět platí, že počítáme maximalizaci zisku za 2 směny denně.

Model 3

V tomto modelu se přidá omezující podmínka týkající se pracovní vytiženosti a opět se vychází z údajů dané tabulkou níže. Chceme vyrobit co nejvíce a efektivně využít všechny výrobní kapacity na maximum za pracovní den. Zde zůstává model stejný, jen se přidala podmínka týkající se směny a otočila se znaménka.

Tabulka 4 - Ekonomická interpretace modelu 3

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	74 000
Stáčení	1,08	50 000
Náplň	0,90	60 000
Balení	0,90	56 000
Směna	54 000	-
Cena za balení trubiček	6,90 Kč	

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplatek

x_2počet stáčených oplatek

x_3počet naplněných trubiček

x_4počet zabalených trubiček

$$f(x): 6,9 x_4 \rightarrow \max \quad (4.3)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 1,08x_2 + 0,9x_3 + 0,9x_4 \leq 54000$$

$$\text{časová kapacita vytiženost} \quad 0,73x_1 + 1,08x_2 + 0,9x_3 + 0,9x_4 \geq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad \quad x_2 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad \quad x_3 + \quad \leq 50000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad \quad x_4 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplatek} \quad x_1 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby stáčení} \quad \quad x_2 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplň} \quad \quad \quad x_3 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

Model 4

V tomto modelu necháme omezení týkající se pracovní vytíženosti a porušíme podmínku týkající se časového omezení, abychom zjistili potřebný čas na výrobu. Základní údaje k tvorbě modelu vycházejí z tabulky níže.

Tabulka 5 - Ekonomická interpretace modelu 4

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	74 000
Stáčení	1,08	50 000
Náplň	0,90	60 000
Balení	0,90	56 000
Směna	54 000	-
Cena za balení trubiček	6,90 Kč	

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplátek

x_2počet stáčených oplátek

x_3počet naplněných trubiček

x_4počet zabalených trubiček

$$f(x): 6,9 x_4 \rightarrow \max \quad (4.4)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita vytíženost} \quad 0,73x_1 + 1,08x_2 + 0,9x_3 + 0,9x_4 \geq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplátek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad \quad x_2 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad \quad x_3 + \quad \leq 50000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad \quad x_4 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplátek} \quad x_1 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby stáčení} \quad \quad x_2 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplň} \quad \quad \quad x_3 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

Model 5

V tomto modelu si stanovíme podmínku, co kdybychom chtěli vyrobit alespoň 10 000 ks zabalených hořických trubiček a pokusíme se zjistit, v jaké fázi výroby se nestíhá. Základní údaje vycházejí z tabulky viz níže.

Tabulka 6 - Ekonomická interpretace modelu 5

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	74 000
Stáčení	1,08	50 000
Náplň	0,90	60 000
Balení	0,90	56 000
Směna	54 000	-
Cena za balení trubiček	6,90 Kč	

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplatek

x_2počet stáčených oplatek

x_3počet naplněných trubiček

x_4počet zabalených trubiček

$$f(x): 6,9 x_4 \rightarrow \max \quad (4.5)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 1,08x_3 + 0,9x_4 \leq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad \quad x_2 + \quad \leq 50000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad \quad x_3 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad \quad \quad x_4 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplatek} \quad x_1 - \quad \quad \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby stáčení} \quad \quad \quad x_2 - \quad \quad \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplň} \quad \quad \quad \quad \quad x_3 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{minimální výroba zabalených trubiček} \quad \quad \quad \quad \quad x_4 \geq 10000$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

Model 6

Model vychází ze stejných údajů a má stále stejnou cílovou funkci a jsou zde přidány údaje týkající se potřebných surovin na výrobu a jejich maximální skladnost. Porovnáme si, zda vyčerpají některé potřebné suroviny, ale v tomto modelu zaměřený na denní produkci, by se nemělo nic vyčerpat, ale porovnáme ho následně s měsíčním. Jsou zde přidány omezující podmínky týkající se surovin potřebné na výrobu vycházejících z údajů dané v tabulce.

Tabulka 7 - Ekonomická interpretace modelu 6

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Výrobní kapacita (ks)	Mouka (kg)	Cukr (Kg)	Mléko (Kg)	Tuk (Kg)	Žloutky (Kg)	Aroma (Kg)	Škrob (Kg)
Oplatka	0,73	74 000	0,005	0,0002	0,0004	0	0,0002	0	0
Náplň	0,9	60 000	0	0,0042	0,0016	0,08	0	0,0002	0,0011
Směna	54 000	-	5800	4000	3200	10500	300	40	2000
Stáčení	1,08	50 000	-	-	-	-	-	-	-
Balení	0,9	56 000	Skladové zásoby surovin (kg)						

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplátek

x_2počet stáčených oplátek

x_3počet naplněných trubiček

x_4počet zabalených trubiček

$$f(x): 6,9 x_4 \rightarrow \max \quad (4.6)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 1,08x_3 + 0,9x_4 \leq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplátek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad \quad x_2 + \quad \leq 50000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad \quad x_3 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad \quad x_4 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplátek} \quad x_1 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby stáčení} \quad \quad x_2 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplň} \quad \quad \quad x_3 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{kapacita mouky} \quad 0,005x_1 + \quad \leq 5800$$

$$\text{kapacita cukru} \quad 0,0002x_1 + 0,0042x_2 \quad \leq 4000$$

$$\text{kapacita mléka} \quad 0,0004x_1 + 0,0016x_2 \quad \leq 3200$$

$$\text{kapacita tuku} \quad \quad \quad 0,08x_2 \quad \leq 10500$$

$$\text{kapacita žloutků} \quad 0,0002x_1 \quad \leq 300$$

$$\text{kapacita aroma} \quad \quad \quad 0,0002x_2 \quad \leq 40$$

$$\text{kapacita škrobů} \quad \quad \quad 0,0011x_2 \quad \leq 2000$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

Model 7

Tento model je téměř identický předchozí, ale budeme počítat jako měsíční výrobu (44 směn), abychom zjistili, zda se nějaké suroviny využijí na maximum a nějaké zůstanou nevyužité.

Tabulka 8 - Ekonomická interpretace modelu 7

Výroba trubiček za 1 měsíc	Časová kapacita (vteřiny)	Výrobní kapacita (ks)	Mouka (kg)	Cukr (Kg)	Mléko (Kg)	Tuk (Kg)	Žloutky (Kg)	Aroma (Kg)	Škrob (Kg)
Oplatka	0,73	1 628 000	0,005	0,0002	0,0004	0	0,0002	0	0
Náplně	0,9	1 320 000	0	0,0042	0,0016	0,08	0	0,0002	0,0011
Směna	1 188 000	-	5800	4000	3200	10500	300	40	2000
Stáčení	1,08	1100000	-	-	-	-	-	-	-
Balení	0,9	1 232 000	Skladové zásoby surovin (kg)						

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplatek

x_2počet stáčených oplatek

x_3počet naplněných trubiček

x_4počet zabalených trubiček

$$f(x): 6,9 x_4 \rightarrow \max \quad (4.7)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 1,08x_3 + 0,9x_4 \leq 1188000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 1628000$$

$$\text{výrobní kapacita - stáčení} \quad \quad \quad x_2 + \quad \leq 1100000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_3 + \quad \leq 1320000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_4 \leq 1232000$$

$$\text{návaznost výroby oplatek} \quad x_1 - \quad \quad \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby stáčení} \quad \quad \quad x_2 - \quad \quad \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplň} \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_3 - \quad 2x_4 \geq 0$$

$$\text{kapacita mouky} \quad 0,005x_1 + \quad \leq 5800$$

$$\text{kapacita cukru} \quad 0,0002x_1 + 0,0042x_2 \quad \leq 4000$$

$$\text{kapacita mléka} \quad 0,0004x_1 + 0,0016x_2 \quad \leq 3200$$

$$\text{kapacita tuku} \quad \quad \quad 0,08x_2 \quad \leq 10500$$

$$\text{kapacita žloutků} \quad 0,0002x_1 \quad \leq 300$$

$$\text{kapacita aroma} \quad \quad \quad 0,0002x_2 \quad \leq 40$$

$$\text{kapacita škrobů} \quad \quad \quad 0,0011x_2 \quad \leq 2000$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

4.2.2 Modely zaměřené na minimalizace nákladů

Model 8

Nyní si vytvoříme základní model minimalizace nákladů na výrobu a ověříme si, že to lze optimalizovat. Vyjdeme ze základních údajů týkající se nákladů na výrobu jedné trubičky a maximální výrobní kapacity. Z dotazníku víme náklady na dané polotovary, ale musíme si je přepočítat na jednotlivé náklady, protože jsou uvedeny v celku tzn. 0,64 Kč na oplatku, 2,42 Kč, když je trubička naplněná a 5,32 Kč, když je trubička zabalená. Od balení odečteme oplatky a náplň a vzniknou náklady na balení. Od náplně odečteme náklady na oplatky a vzniknou náklady na náplň. Vycházíme z údajů viz níže v tabulce.

Tabulka 9 - Ekonomická interpretace modelu 8

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Náklady na 1 ks (v Kč)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	0,64	74 000
Náplně	0,90	1,79	60 000
Balení	0,90	2,26	56 000
Směna	54 000	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplatek

x_2počet naplněných trubiček

x_3počet zabalených trubiček

$$f(x): 0,64 x_1 + 1,79 x_2 + 2,26 x_3 \rightarrow \min \quad (4.8)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 0,9x_3 \leq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad x_2 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad x_3 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplatek} \quad x_1 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplně} \quad x_2 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{nezápornost} \quad x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Cílová funkce představuje náklady na oplatky, naplnění a zabalení trubiček v Kč. První podmínka se týká časového omezení na směnu, která je 7,5 hodiny a převedená na vteřiny kvůli stejným časovým jednotkám. Druhá podmínka se týká výrobní kapacity strojů na maximální výrobu oplatek. Třetí podmínka se týká maximální kapacity naplněných trubiček. Čtvrtá podmínka se týká maximální kapacity strojů, které zabalí trubičky. Poslední podmínky tvoří

provázanost výroby tak, aby bylo zajištěno, že nejdříve se vyrobí oplatka, která se pak naplní a zabalí. Jelikož stáčení trubiček nemá uvedené náklady, tak není přidáno.

Model 9

Do tohoto modelu je přidána podmínka týkající se vytiženosti pracovišť a vychází se ze základních údajů dané tabulkou viz níže.

Tabulka 10 - Ekonomická interpretace modelu 9

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Náklady na 1 ks (v Kč)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	0,64	74 000
Náplně	0,90	1,79	60 000
Balení	0,90	2,26	56 000
Směna	54 000	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1 ...počet vyrobených oplatek

x_2 ...počet naplněných trubiček

x_3 ...počet zabalených trubiček

$$f(x): 0,64 x_1 + 1,79 x_2 + 2,26 x_3 \rightarrow \min \quad (4.9)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 0,9x_3 \leq 54000$$

$$\text{časová kapacita - vytiženost} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 0,9x_3 \geq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad x_2 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad x_3 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplatek} \quad x_1 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplně} \quad \quad x_2 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Model 10

Tento model propojíme s modelem maximalizace zisku, kde bylo zjištěné optimum výroby při získání maximálního zisku z výroby a to 8 626 ks balení trubiček, a zjistíme minimální náklady na výrobu.

Tabulka 11 - Ekonomická interpretace modelu 10

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Náklady na 1 ks (v Kč)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	0,64	74 000
Náplně	0,90	1,79	60 000
Balení	0,90	2,26	56 000
Směna	54 000	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplátek

x_2počet naplněných trubiček

x_3počet zabalených trubiček

$$f(x): 0,64 x_1 + 1,79 x_2 + 2,26 x_3 \rightarrow \min \quad (4.10)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 0,9x_3 \leq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplátek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad x_2 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad x_3 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplátek} \quad x_1 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplně} \quad x_2 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{minimální počet zabalených trubiček} \quad x_3 \geq 8626$$

$$\text{nezápornost} \quad x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Model 11

Nyní si vytvoříme model za předpokladu, že chceme co největší využitost pracovišť s minimálním požadavkem výroby 8 626 ks zabalených trubiček.

Tabulka 12 - Ekonomická interpretace modelu 11

Výroba trubiček za 2 směny	Časová kapacita (vteřiny)	Náklady na 1 ks (v Kč)	Výrobní kapacita (ks)
Oplatka	0,73	0,64	74 000
Náplně	0,90	1,79	60 000
Balení	0,90	2,26	56 000
Směna	54 000	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování

x_1počet vyrobených oplatek

x_2počet naplněných trubiček

x_3počet zabalených trubiček

$$f(x): 0,64 x_1 + 1,79 x_2 + 2,26 x_3 \rightarrow \min \quad (4.11)$$

za podmínek

$$\text{časová kapacita} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 0,9x_3 \leq 54000$$

$$\text{časová kapacita - vytíženost} \quad 0,73x_1 + 0,9x_2 + 0,9x_3 \geq 54000$$

$$\text{výrobní kapacita - oplatek} \quad x_1 + \quad \leq 74000$$

$$\text{výrobní kapacita - náplň} \quad \quad x_2 + \quad \leq 60000$$

$$\text{výrobní kapacita - balení} \quad \quad \quad x_3 \leq 56000$$

$$\text{návaznost výroby oplatek} \quad x_1 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{návaznost výroby náplně} \quad \quad x_2 - \quad 2x_3 \geq 0$$

$$\text{minimální počet zabalených trubiček} \quad \quad \quad x_3 \geq 8626$$

$$\text{nezápornost} \quad \quad \quad x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

4.3 Převod na kanonický tvar

V této části bude pro ilustraci převeden na kanonický tvar jeden vybraný matematický model, konkrétně model 1, ostatní modely jsou rovněž převedeny na kanonický tvar a je s nimi v modelech standardně počítáno, avšak vzhledem k jejich rozsáhlosti zde nebudou jednotlivě ukázány. Postup převodu na kanonický tvar je podrobně popsán v teoretické části práce.

Převod modelu 1

$$f(x): - 6,9 x_4 \rightarrow \min$$

za podmínek

$$0,74x_1 + 1,08x_2 + 0,9x_3 + 0,9x_4 + x_5 = 54000$$

$$x_1 + \quad \quad \quad x_6 = 74000$$

$$\quad x_2 + \quad \quad \quad x_7 = 60000$$

$$\quad \quad x_3 + \quad \quad \quad x_8 = 50000$$

$$x_9 = 56000$$

$$x_1, \dots, x_4 \geq 0$$

4.4 Simplexová metoda a funkce Řešitel

Řešení matematických modelů budeme provádět v programu Excel funkcí Řešitel. Jak se využívá Řešitel jsme si představili v kapitole 2.2.4.

4.4.1 Řešení modelů zaměřené na maximalizaci zisku

Model 1

Nejprve tento model vyřešíme pomocí Simplexové metody a následně ho porovnáme s Řešitelem.

Tabulka 13 - Počáteční řešení simplexovou metodou modelu 1

			c	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0
i	báze	cB	x	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9
1	p5	0	54000	0,73	1,08	0,9	0,9	1	0	0	0	0
2	p6	0	74000	1	0	0	0	0	1	0	0	0
3	p7	0	50000	0	1	0	0	0	0	1	0	0
4	p8	0	60000	0	0	1	0	0	0	0	1	0
5	p9	0	56000	0	0	0	1	0	0	0	0	1
m+1			0	0	0	0	6,9	0	0	0	0	0

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 14 - Konečné řešení simplexovou metodou modelu 1

			c	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0
i	báze	cB	x	p1	p2	p3	p9	p5	p6	p7	p8	p9
1	P5	0	3600	0,73	1,08	0,9	0	1	0	0	0	-0,9
2	P6	0	74000	1	0	0	0	0	1	0	0	0
3	P7	0	50000	0	1	0	0	0	0	1	0	0
4	P8	0	60000	0	0	1	0	0	0	0	1	0
5	P4	0	56000	0	0	0	1	0	0	0	0	1
m+1		0	-386400	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,9

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{\text{opt}} = (3600, 74000, 50000, 60000, 56000)$ a $f(x^{\text{opt}}) = 386\,400$ Kč

Simplexová metoda nám ukázala, že maximální zisk za 2 směny denně je 386 400 Kč.

Tabulka 15 - Řešení modelu 1 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Z		
řešení	4931,51	0	0	56000	0	69068,5	50000	60000	0	-386400		
cílová funkce	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0		
omezení	0,73	1,08	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	54000 =	54000
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	74000 =	74000
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	50000 =	50000
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	60000 =	60000
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	56000 =	56000

Zdroj: Vlastní zpracování

Jak lze vidět, tak cílová funkce obou modelů vyšla totožně.

$$x^{\text{opt}} = (4932, 0, 0, 56000, 0, 69069, 60000, 50000) \text{ a } f(x^{\text{opt}}) = 386\,400 \text{ Kč}$$

Pokud vyrobíme 4 932 ks oplatek a prodáme jich 56 000 ks balení bude zisk 386 400 Kč. Přičemž kapacita směny x5 je využita na maximum. Kapacita oplatek x6 není využita na maximum a je zde volno na výrobu 69 069 ks. Kapacita stáčení x7 nám zbyla na 50 000 ks. Kapacita na náplně x8 nám zbyla 50 000 ks a kapacita na balení x9 je využita na maximum.

Model byl sestaven v jeho nejjednodušší podobě, aby bylo možné ověřit základní fungování optimalizace. Bylo však zjištěno, že model postrádá klíčová omezení, což vede k nereálnému výsledku. V aktuálním nastavení je maximalizována výroba balíčků x4, aniž by byla zohledněna omezení, které určují návaznost výroby na sebe. Z tohoto důvodu jsou v řešení prodávány balíčky trubiček, aniž by byly k dispozici potřebné vstupní komponenty nebo byly vůbec vyrobeny. Model musí být dále rozšířen o dodatečná omezení, která zajistí realistické výrobní podmínky.

Model 2

Tento model je rozšířen o podmínky týkající se návaznosti na výrob a řešení probíhá už jen pomocí funkce Řešitel.

Tabulka 16 - Řešení modelu 2 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	Z		
řešení	17252,4	17252,4	17252,4	8626,2	0	56747,6	32747,6	42747,6	47373,8	0	0	0	-59520,8		
cílová funkce	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
omezení	0,7	1,08	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	74000 =	74000
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	50000 =	50000
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	60000 =	60000
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	56000 =	56000
	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0 =	0
	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0 =	0
	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0 =	0

Zdroj: Vlastní zpracování

$$x^{\text{opt}} = (17253, 17253, 17253, 8626, 0, 56747, 42748, 32747, 47374, 0, 0, 0, 0) \text{ a } f(x^{\text{opt}}) = 59\,520 \text{ Kč}$$

Pokud vyrobíme 17 253 ks oplatek, stočíme 17 243 ks trubiček, naplníme 17 243 ks oplatek a zároveň je zabalíme a prodáme 8 627 ks bude zisk 59 520 Kč. Směna x5 je využita na maximum. Výrobní kapacita oplatek x6, není využita na maximum a je zde volná kapacita 56 747 ks oplatek, s tím nám také souvisí x7 a to stáčení, kde je taky volná kapacita 42 748 ks trubiček, náplň x8 má taky volnou kapacitu 32 747 ks a poslední balení x10 má nevyužitou kapacitu 47 374 ks. Při stávajícím výrobním procesu s danou maximální kapacitou včetně časového procesu lze vidět, že je zde nevyužití výrobní kapacity oplatek, náplně, stáčení i balení trubiček. Byly kontrolovány, zda omezení v tomto modelu platí, a všechna kapacitní a časová omezení byla dodržena. To znamená, že všechny stanovené limity pro jednotlivé výrobní fáze byly respektovány a nelze je překročit.

Model 3

Pokud bychom chtěli využít maximální pracovní vytíženost pro maximalizaci zisku z jednotlivých trubiček tak, aby byly dodrženy 2 směny denně, tak získáme následující řešení.

Tabulka 17 - Řešení modelu 3 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	Z		
řešení	17088,61	17088,61	17088,61	8544,304	0	0	56911,39	32911,39	42911,39	47455,7	0	0	0	54000		
cílová funk	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
omezení	0,73	1,08	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000	
	0,73	1,08	0,9	0,9	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000	
	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	74000 =	74000	
	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	50000 =	50000	
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	60000 =	60000	
	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	56000 =	56000	
	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0 =	0	
	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0 =	0	
0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0 =	0		

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{opt} = (17088, 17088, 17088, 8544, 0, 0, 56911, 32911, 42911, 47455, 0, 0, 0)$ a $f(x^{opt}) = 54\ 000$ Kč

Pokud vyrobíme 17 088 ks oplatek, stočíme jich 17 088 ks, naplníme 17 088 ks a zabalíme z nich 8 544ks a zároveň prodáme, tak budeme mít maximální zisk 54 000 Kč. Přičemž směna x5 je tedy využita na úplné maximum, kapacita oplatek x6 je nevyužitá 56 911 ks, kapacita stáčení x7 opět nevyužitá 32 911 ks, náplň trubiček x8 nevyužitá 42 911 ks, nevyužitá kapacita balení x9 47 455 ks. Jak lze z výsledků vidět, tak se výroba částečně snížila. Byly také kontrolovány, zda platná omezení v tomto modelu platí, a všechna kapacitní a časová omezení byla dodržena. To znamená, že všechny stanovené limity pro jednotlivé výrobní fáze byly respektovány a nelze je překročit.

Model 4

Tento model je vytvořenýna porušení časové kapacity s cílem zjistit, při jakém čase dojde k maximálnímu využití výrobních kapacit.

Tabulka 18 - Řešení modelu 4 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	Z		
řešení	74000	50000	50000	25000	119300	0	0	10000	31000	24000	0	0	-172500		
cílová funkce	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
omezení	0,7	1,08	0,9	0,9	-1	0	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000	
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	74000 =	74000	
	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	50000 =	50000	
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	60000 =	60000	
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	56000 =	56000	
	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0	0	0 =	0	
	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0 =	0	
	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0 =	0	

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{opt} = (74000, 50000, 50000, 25000, 119300, 0, 0, 10000, 31000, 24000, 0, 0)$ a $f(x^{opt}) = 172\,500$ Kč

Pokud vyrobíme 74 000 ks oplatek, z toho stočíme a naplníme 50 000 ks a poté je zabalíme a prodáme po 25 000 ks, tak maximální možný zisk bude 172 000 Kč. Přičemž, zde vzniká problém, a to ten, že směna přesahuje maximální možnou časovou kapacitu což při převodu daných vteřin je 33,1 hodiny. To znamená, že aby byla využita maximální možná kapacita, tak by museli vyrábět 33,1 hodin denně, což není vůbec možné. Tento model porušuje podmínku časové kapacity, proto je nereálný, ale cílem bylo ukázat při jaké časové kapacitě jsou využity všechny výrobní kapacity.

Model 5

Tento model představuje řešení, co kdybychom si stanovili podmínku výroby trubiček na požadavek 10 000 ks zabalených denně.

Tabulka 19 - Řešení modelu 5 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	Z		
řešení	7397,26	20000	20000	10000	0	66602,7	40000	30000	46000	0	0	0	0	-69000		
cílová funkce	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
omezení	0,73	1,08	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000	
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	74000 =	74000	
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	50000 =	50000	
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	60000 =	60000	
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	56000 =	56000	
	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-12602,7 =	0	
	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0 =	0	
	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0 =	0	
	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	10000 =	10000	

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{opt} = (7397, 20000, 20000, 10000, 0, 66602, 40000, 30000, 46000, 0, 0, 0, 0)$ a $f(x^{opt}) = 69\,000$ Kč

Při výrobě 7 397 ks oplatek, stáčení 20 000 ks oplatek do trubiček a následné naplnění 20 000 ks, kde by se jich zabalilo 10 000 ks by to zisk by to sice zvýšilo, ale nevyrobilo by se dostatečné množství oplatek, takže bychom opět prodávali něco, co nemáme. Jak lze vidět, tak porušení omezení je právě u výroby oplatek, ostatní jsou platná.

Model 6

Tento model vychází z předcházejících údajů doplněných o potřeby surovin na výrobu oplatek a náplní a jejich maximální měsíční kapacita. Byly vytvořeny 2 modely, a to jeden na denní a druhý měsíční a porovná se, zda se využije celá maximální kapacita jednotlivých surovin.

Tabulka 20 - Řešení modelu 7 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
řešení	17088,6	17088,6	17088,6	8544,3	0	56911,4	42911,4	32911,4	47455,7	0
cílová funkce	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0
omezení	0,73	1,08	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	-1
	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0
	0,005	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0002	0,0042	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0004	0,0016	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0002	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,0002	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,0011	0	0	0	0	0	0	0	0	

x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	Z		
0	0	5714,56	3924,81	3165,823	9132,911	296,5823	36,58228	1981,202532	-58955,7		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74000 =	74000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000 =	50000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60000 =	60000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56000 =	56000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 =	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 =	0
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0 =	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5800 =	5800
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4000 =	4000
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3200 =	3200
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10500 =	10500
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	300 =	300
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	40 =	40
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2000 =	2000

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{opt} = (17088, 17088, 17088, 8544, 0, 56911, 42911, 32911, 47455, 0, 0, 0, 5714, 3924, 3165, 9132, 296, 36, 1981)$ a $f(x^{opt}) = 58\ 955$ Kč

Pokud prodáme 17 088 ks oplatek, stočíme jich 17 088 ks a zároveň je naplníme 17 088 ks oplatek a zabalíme 8 544 ks, tak bude zisk 58 955 Kč. Směna x5 je využita na maximum. Kapacita oplatek x6 není využita na maximum a je zde volné množství 56 911 ks. Volnou

kapacitu mají taky stáčení x7 a to 42 911 ks. Náplň má volnou kapacitu 32 911 ks a balení 47 455 ks. Proměnné x10 - x12 nám tvoří provázanost výroby, která je splněna. Proměnné týkající se surovin, kdy x13 tvoří mouku a volná kapacita je 5 714 kg, x14 se týká cukru, kde je volná kapacita 3 924 kg, proměnná x15 se týká mléka s volnou kapacitou 3 165 kg, tuk x16 má volnou kapacitu 9 132 kg, volná kapacita žloutků x17 je 296 kg, předposlední x18 aroma má volnou kapacitu 36 kg a poslední škrob x19 má volnou kapacitu 1 981 kg.

Model 7

Tabulka 21 - Řešení modelu 7 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
řešení	1160000	131250	155986,11	65625	0	468000	858750	1164013,9	1166375	1028750
cílová funkce	0	0	0	-6,9	0	0	0	0	0	0
omezení	0,73	1,08	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0
	0,005	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0002	0,0042	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0004	0,0016	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0002	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,0002	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0,0011	0	0	0	0	0	0	0	0

x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	Z		
0	24736,111	0	3216,75	2526	0	68	13,75	1855,625	-452812,5		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1188000 =	1188000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1628000 =	1628000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	990000 =	990000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1320000 =	1320000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1232000 =	1232000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 =	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 =	0
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0 =	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5800 =	5800
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4000 =	4000
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3200 =	3200
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10500 =	10500
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	300 =	300
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	40 =	40
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2000 =	2000

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{opt} = (1160000, 131250, 151863, 65625, 0, 468000, 1188750, 838136, 1166375, 1028750, 0, 20613, 0, 3216, 2526, 0, 68, 13,75, 1855,625)$ $f(x^{opt}) = 452\ 812$ Kč

Pokud vyrobíme 1 160 000 ks oplatek, naplníme jich 131 250 ks, stočíme 151 863 ks a zabalíme 65 625 ks, tak nám to přinese zisk 452 812 Kč. Přičemž je směna x5 využita na maximum. Volnou kapacitu představují x6 oplatky v podobě 468 000 ks, x7 náplně 1 118 750 ks, x8 stáčení 838 136 ks, balení x9 1 116 375 ks, x10 je provázanost, x13 mouka využita na maximum, cukr x14 je volná kapacita 3 216 kg, mléko x15 volná kapacita 2 526 kg, tuk x16

využit na maximum, žlutky x17 volná kapacita 68 kg, aroma x18 volná kapacita 13,75 kg, škrob x19 volná kapacita 1 855 kg. Kontrola platných omezujících podmínek ukázala jejich platnost.

4.4.2 Řešení modelů zaměřené na minimalizaci nákladů

Model 8

Tabulka 22 - Řešení modelu 8 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x9	x10	Z		
řešení	0	0	0	54000	74000	60000	56000	0	0	0		
cílová funkce	0,64	1,78	2,26	0	0	0	0	0	0	0		
omezení	0,7	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	54000	= 54000
	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	74000	= 74000
	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	60000	= 60000
	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	56000	= 56000
	1	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0	0	= 0
	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	-1	0	= 0

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{opt} = (0, 0, 0, 54000, 74000, 60000, 56000, 0, 0)$ a $f(x^{opt}) = 0$ Kč

Pokud vyrobíme 0 ks oplatek a 0 ks jich naplníme, tak náklady jsou 0 Kč. Tento model představuje nulovou výrobu s nulovými náklady. Byly také kontrolovány, zda platná omezení v tomto modelu platí, a všechna kapacitní a časová omezení byla dodržena.

Model 9

Tento model nám zjistí, jaká je vytíženost jednotlivých pracovišť.

Tabulka 23 - Řešení modelu 9 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Z		
řešení	73972,6	0	0	0	27,39726	60000	56000	73972,6	0	0	47342,46575		
cílová funkce	0,64	1,78	2,26	0	0	0	0	0	0	0	0		
omezení	0,73	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	0	54000	= 54000
	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	74000	= 74000
	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	60000	= 60000
	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	56000	= 56000
	1	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	= 0
	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	= 0
	0,73	0,9	0,9	0	0	0	0	0	0	0	-1	54000	= 54000

Zdroj: Vlastní zpracování

$x^{opt} = (73973, 0, 0, 0, 28, 60000, 56000, 74973, 0, 0)$ a $f(x^{opt}) = 47\ 343$ Kč

Pokud vyrobíme 73 972 ks oplatek, tak náklady budou 47 343 Kč. Přičemž se naplní 0 ks trubiček a zabalí se jich taky 0 ks. Jak lze vidět, pokud se využije celá směna na maximum, tak bude využita pouze na výrobu oplatek, protože není stanovena minimální výrobní podmínka.

Byly také kontrolovány, zda platná omezení v tomto modelu platí, a všechna kapacitní a časová omezení byla dodržena.

Model 10

Tento model vychází z již vypočítaného optimálního maximálního zisku při výrobě 8 626 ks vyrobených a zabalených trubiček a tím zjistíme, kolik stojí náklady na výrobu.

Tabulka 24 - Řešení modelu 10 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Z		
řešení	17252	17252	8626	18115,84	56748	42748	47374	0	0	0	61244,6		
cílová funkce	0,64	1,78	2,26	0	0	0	0	0	0	0			
omezení	0,73	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000	
	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	74000 =	74000	
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	60000 =	60000	
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	56000 =	56000	
	1	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0	0 =	0	
	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	-1	0 =	0	
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	8626 =	8626

Zdroj: Vlastní zpracování

$$x^{\text{opt}} = (17252, 17252, 8626, 18115, 56748, 42748, 47374, 0, 0, 0) \text{ a } f(x^{\text{opt}}) = 61\,244 \text{ Kč}$$

Při výrobě 17 252 ks oplatek a jejich následné naplnění a zabalení do 8 626 ks nám vzniknou náklady 61 244 Kč. Přičemž je zde volná kapacita směny x4 a to při převodu činí 5 hodin. Volná kapacita oplatek x6 je 56 748 ks, náplní x7 42 748 ks a zabalení 47 374 ks. Byly také kontrolovány, zda platná omezení v tomto modelu platí, a všechna kapacitní a časová omezení byla dodržena.

Model 11

Tento model představuje maximální vytíženost pracovišť při minimální výrobě.

Tabulka 25 - Řešení modelu 11 pomocí Řešitele

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	Z		
řešení	42068,22	17252	8626	0	0	31931,78	42748	47374	24816,2	0	0	77126,98		
cílová funkce	0,64	1,78	2,26	0	0	0	0	0	0	0	0			
omezení	0,73	0,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	0	54000 =	54000	
	0,73	0,9	0,9	0	-1	0	0	0	0	0	-1	54000 =	54000	
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	74000 =	74000	
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	60000 =	60000	
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	56000 =	56000	
	1	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0	0	0 =	0	
	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0 =	0	
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	8626 =	8626	

Zdroj: Vlastní zpracování

$$x^{\text{opt}} = (42068, 17252, 8626, 1262, 31931, 42748, 47374, 24816, 0, 0, 0) \text{ a } f(x^{\text{opt}}) = 77\,126 \text{ Kč}$$

Byl by vyroben stejný počet balení trubiček a to 8 626 ks, ale také vyrobeno více oplatek a to 42 068 ks, naplnění by zůstalo stejné a to 17 252 ks. Byly také kontrolovány, zda platná omezení v tomto modelu platí, a všechna kapacitní a časová omezení byla dodržena.

Při tvorbě optimalizačních modelů v této práci nebyla zohledněna časová návaznost jednotlivých výrobních fází. Nebyla řešena prodleva mezi výrobou oplatek a jejich následným naplněním, stáčením a zabalením. V praxi však tato prodleva existuje - oplatky musí po výrobě několik dní vlhnout, aby byly vhodné ke zpracování. V rámci modelu bylo nicméně předpokládáno, že oplatky jsou ihned po výrobě využitelné, a to záměrně, aby bylo možné soustředit se na optimalizaci výrobních kapacit a ziskovosti bez dalších komplikujících faktorů.

Z praktického hlediska tato zjednodušení nejsou nijak omezující, protože ve výrobním provozu funguje zásobní systém - oplatky vyrobené jednou směnou se obvykle využívají až za několik dní, zatímco daná směna vyrábí novou várku, která opět počká. Proces je tedy cyklický a propojený, čímž se časová prodleva přirozeně vyrovnává. Tato dynamika umožňuje, aby jednotlivé fáze běžely souběžně, bez nutnosti přímého denního navazování.

Zařazení této časové složky do modelu by však vyžadovalo velmi rozsáhlá data - bylo by nutné sledovat tok polotovarů v čase, včetně jejich skladování, přesného času vlhnutí a dostupnosti oplatek v daných výrobních dnech. Model by se tak musel rozšířit o časové proměnné, víceetapovou optimalizaci, případně i simulační přístup, který by zohlednil posun mezi výrobou a spotřebou. To by vedlo ke vzniku výrazně složitějšího vícestupňového modelu, jehož tvorba a výpočetní řešení by byly časově i technicky náročnější. Z hlediska cíle této práce - tedy ukázat možnosti optimalizace výroby pomocí lineárního programování - by taková složitost byla neefektivní a mohla by zastírat hlavní přínosy modelu. Proto byly zvoleny zjednodušené, ale stále realistické podmínky, které umožnily dobře interpretovat výrobní možnosti a potenciál ziskovosti i při absenci detailního časového rozvrhu.

5 EKONOMICKÁ INTERPRETACE A DOPORUČENÍ

Nyní se podrobněji zaměříme na ekonomickou interpretaci jednotlivých modelů, která zahrnuje analýzu výsledků dosažených v každém modelu. V této části budou podrobně popsány klíčové faktory, které ovlivňují výrobní proces, a jak se jednotlivé parametry a omezení promítají do celkových nákladů a zisku. Na základě těchto analýz budou formulována případná konkrétní doporučení, která mohou pomoci podniku dosáhnout lepší efektivity a maximalizace zisku. Tato doporučení budou vycházet z výsledků optimalizačních modelů a budou směřovat k identifikaci a eliminaci neefektivních oblastí výrobního procesu, což povede k lepšímu využití dostupných zdrojů a vyššímu ekonomickému výkonu.

5.1 Ekonomická interpretace modelů zaměřených na maximalizaci zisku

V rámci optimalizace procesu maximalizace zisku bylo vytvořeno celkem 7 modelů, z nichž jeden je základní a ostatní představují rozšiřující modely, které byly navrženy tak, aby se co nejvíce přiblížily reálným podmínkám výrobního procesu. Tyto rozšiřující modely zohledňují různé aspekty, které ovlivňují výrobu, jako jsou pracovní vytíženost, dostupnost surovin, minimální poptávka, čímž poskytují detailnější a realističtější obraz o fungování výroby a její optimalizaci.

Model 1

V prvním modelu byly použity dvě různé metody pro řešení optimalizačního úkolu - simplexová metoda a funkce Řešitel v softwaru, které byly aplikovány na stejný soubor dat. Obě tyto metody vedly k identickému výsledku, kdy maximální zisk za dvě směny denně činí 386 400 Kč. Tento výsledek ukazuje, že při daných kapacitách a výrobních parametrech je teoreticky možné dosáhnout tohoto vysokého zisku, pokud by výroba probíhala podle optimalizovaných podmínek stanovených modelem.

I když je zisk na první pohled velmi atraktivní, model nebere v úvahu výrobní provázanost, což znamená, že nejsou zohledněny vzájemné závislosti mezi jednotlivými výrobními kroky. V praxi to znamená, že například omezení v jedné fázi výroby může negativně ovlivnit výkon navazujících fází výroby. Tento nedostatek provázanosti vede k tomu, že model nedokáže plně zohlednit skutečné výrobní podmínky a může být nerealistický, pokud by měl být implementován v praxi.

Model 2

Výsledky tohoto modelu, který již zahrnuje provázanost mezi jednotlivými výrobními fázemi, ukazují, že při optimalizaci výroby a zisku za předpokladu maximální využitelnosti strojů a zařízení dosahuje podnik maximálního zisku 59 520 Kč při výrobě 8 626 ks balení trubiček. Některé fáze výroby nejsou využívány na maximum, i když stroje běží na maximální kapacitě, kapacita na oplátky, stáčení, náplň a balení trubiček není dostatečně využita. Tento výsledek odráží neefektivní využití dostupných výrobních kapacit a ukazuje, že i když stroje vyrábějí na plný výkon, stále existuje prostor pro zvýšení celkového zisku tím, že se více využijí kapacity v těchto fázích výrobního procesu.

Model 3

Ve srovnání s předchozím modelem, který se zaměřoval na optimalizaci výroby a maximalizaci zisku při maximálním využití strojů a zařízení, model zaměřující se na pracovní vytíženost ukazuje určité odlišnosti. V předchozím modelu, který vycházel z maximálního využití strojů a zařízení, jsme dosáhli zisku 59 520 Kč při výrobě 8 626 ks balení trubiček. Model 2 však nebral v úvahu podrobněji pracovní vytíženost jednotlivých fází výroby a neukázal, jak efektivně jsou využívány pracovní kapacity v každé fázi.

V novém modelu, který zahrnuje pracovní vytíženost, jsme dosáhli zisku 54 000 Kč při výrobě 17 088 ks oplátek, jejich stáčení a naplnění, přičemž bylo zabaleno a prodáno 8 544 ks. Tento zisk je nižší než v předchozím modelu. Zde se opět ukazuje, že některé fáze výroby nejsou využívány na plnou kapacitu, konkrétně výroba oplátek je o 44 986 ks nižší než její maximální kapacita, což naznačuje, že by bylo možné zvýšit produkci a tím i zisk.

V porovnání tedy předchozí model ukazuje vyšší zisk díky plnému využití výrobních kapacit, ale bez ohledu na pracovní vytíženost jednotlivých fází. Tento model zaměřený na pracovní vytíženost přináší nižší zisk, ale poskytuje realističtější obraz o využití kapacit ve všech fázích výroby. I když není dosaženo maximálního zisku, tento model ukazuje potenciál pro zlepšení efektivity a zisku, pokud by byly lépe optimalizovány pracovní kapacity a procesy v jednotlivých výrobních fázích.

Model 4

Tento model ukazuje maximální teoretický zisk ve výši 172 500 Kč při výrobě 74 000 ks oplátek, z nichž 50 000 ks je následně stáčeno a naplněno a poté zabaleno do 25 000 ks. Výsledky ukazují, že i když by kapacita strojů umožnila tuto produkci, celková doba výroby by

přesáhla běžný den, což by vyžadovalo 33,1 hodiny výroby denně - což není v praxi možné. Tímto je porušena podmínka časového omezení, protože dané časové limity pro pracovní směnu (7,5 hodiny denně) jsou překročeny.

Tento model byl však vytvořen pouze teoreticky, aby bylo ukázáno na využití výrobních kapacit. I když bylo předem jasné, že dojde k porušení časového omezení, cíl byl ukázat, jak by teoreticky mohly být výrobní kapacity plně využity bez ohledu na čas. Výsledek tak slouží spíše jako ukázka pro optimální využití strojního vybavení, přičemž je jasné, že v praxi by bylo třeba model upravit, aby respektoval reálná časová omezení výrobního procesu, který jsme si ukázali v přechozích modelech.

Model 6

Model 6 byl vytvořen s cílem analyzovat, jak jsou v rámci výrobního procesu čerpány suroviny potřebné k výrobě oplatek a náplní. Tento model byl vypočítán jako denní model pro dvě pracovní směny a ukazuje, že volná kapacita některých surovin není využita na maximum. To odpovídá reálným podmínkám, kdy není vždy nutné vyčerpat celkový dostupný objem surovin, protože optimální množství surovin odpovídá skutečným požadavkům výroby. Model tedy demonstruje, že při specifikovaných výrobních parametrech jsou suroviny využívány efektivně v rámci stanovených omezení.

Model 7

Model 7 byl počítán na základě 22 pracovních dní (44 směn) a slouží k maximalizaci zisku za současného sledování skladnosti surovin při dlouhodobém provozu. Tento model dosáhl optimálního zisku 452 812 Kč při výrobě přes 1,16 milionu oplatek, z nichž bylo následně stáčeno 131 250 ks oplatek, naplněno 151 863 ks trubiček a zabaleno 65 625 ks finálních balení. Výsledky dále ukazují, že některé suroviny například mouka a tuk jsou využity na maximum, zatímco u jiných zůstává určité množství volné kapacity - například u cukru, mléka, žloutků, aromatu a škrobu.

Bylo by možné strategicky upravit nákupní politiku - například zvýšit nákup surovin, u kterých je stávající poptávka nevyužitá, a omezit objednávky těch, u nichž dochází k přebytku. Takový přístup by mohl vést ke zvýšení celkové produkce, efektivnějšímu využití výrobních kapacit a úsporám nákladů, jelikož optimalizovaná skladnost surovin pomůže eliminovat neefektivní nadbytečné zásoby. Celkově tento model dokazuje, že i při neúplném využití některých kapacit

lze při správném zajištění vstupních surovin dosáhnout vysokého zisku, přičemž existuje prostor pro další zlepšení ekonomické efektivity výroby.

5.2 Ekonomická interpretace modelů zaměřených na minimalizaci nákladů

V rámci optimalizace výrobního procesu s cílem minimalizace nákladů byly vytvořeny celkem 4 modely. Jeden z nich představuje základní model bez dalších omezení, zatímco zbývající tři modely jsou rozšiřující a byly navrženy tak, aby lépe odpovídaly reálným podmínkám výroby. Tyto modely se postupně zaměřují na pracovní vytíženost, minimální požadovanou výrobu a kombinaci obou těchto faktorů. Díky tomu poskytují komplexnější pohled na možnosti úspory nákladů a efektivního plánování výroby v různých situacích.

Model 8

Tento model představuje situaci, kdy se nevyrobí žádné hotové výrobky - tedy žádné oplatky nejsou naplněny, stočeny ani zabaleny (první tři složky jsou nulové). Naopak ostatní složky vektorového řešení představují volné kapacity ve výrobním procesu, které zůstávají nevyužité. Ekonomicky to znamená, že nevznikají žádné náklady ani žádné tržby, protože se nevyrobí ani jeden kus. Jedná se o tzv. triviální řešení, kdy podnik nevstupuje do výroby, a tedy nedosahuje zisku, ale zároveň ani neztrácí.

Je však důležité zdůraznit, že toto řešení sloužilo pouze jako test funkčnosti modelu - ověřovalo se, zda model správně funguje a zda je možné jej spočítat bez chyb. Výsledné řešení není určeno k reálnému použití, ale jen jako ověření výpočtového postupu a základního nastavení omezení.

Model 9

Tento model se zaměřuje na minimalizaci nákladů s ohledem na vytíženost jednotlivých výrobních fází. Výsledky ukazují, že bylo vyrobeno 73 972 kusů oplatek, přičemž celkové náklady dosáhly 47 343 Kč. Ve výsledném řešení byla veškerá kapacita směny využita výhradně na výrobu oplatek, zatímco další fáze výrobního procesu - naplnění, stáčení a balení - zůstaly zcela nevyužité.

Tato situace nastala zejména z důvodu, že v modelu chybí omezení na minimální výrobu hotových trubiček, což umožnilo optimalizačnímu řešení rozdělit výrobu výhradně do fáze oplatek, která je nákladově nejvýhodnější. Tento výsledek však naznačuje, že výrobní proces není optimálně vyvážený. Zaměření pouze na jednu část výroby sice vede ke snížení nákladů, ale zároveň nevytváří hotový finální produkt, který by mohl generovat příjmy. V praxi by taková strategie nebyla udržitelná, protože nedochází k prodeji výrobků a tvorbě zisku.

Z hlediska optimalizace je proto klíčové hledat takové řešení, které nejen snižuje náklady, ale zároveň zachovává plynulost celého výrobního řetězce a využívá dostupné kapacity rovnoměrně napříč všemi výrobními fázemi.

Model 10

Tento model vychází z cíle minimalizovat náklady při využití dostupných výrobních kapacit. Optimalizací bylo dosaženo řešení, ve kterém se vyrobí 17 252 kusů oplatek, které jsou následně naplněny a zabaleny do 8 626 kusů finálních trubiček. Celkové náklady v tomto případě činí 61 244 Kč.

Z výsledků je patrné, že v několika fázích výroby dochází k nevyužití dostupné kapacity - například u výroby oplatek zůstává nevyužitých 56 748 kusů. To znamená, že směna nebyla plně vytížena, ačkoliv by to z kapacitního hlediska bylo možné. Pokud je cílem dále snižovat jednotkové náklady, je žádoucí zvýšit využití dostupné kapacity. V tomto konkrétním případě by bylo možné navýšit výrobu oplatek, čímž by se lépe využila kapacita ve fázích naplnění a balení. Tímto krokem lze dosáhnout efektivnějšího rozložení fixních nákladů a nižších nákladů na jeden kus. K efektivnímu řízení nákladů je klíčové, aby byl výrobní plán rovnoměrně rozložen mezi všechny fáze výroby. Vyvážené zatížení kapacit vede k efektivnímu využití zdrojů a přispívá k dosažení optimálních nákladů při zachování plynulého chodu výroby.

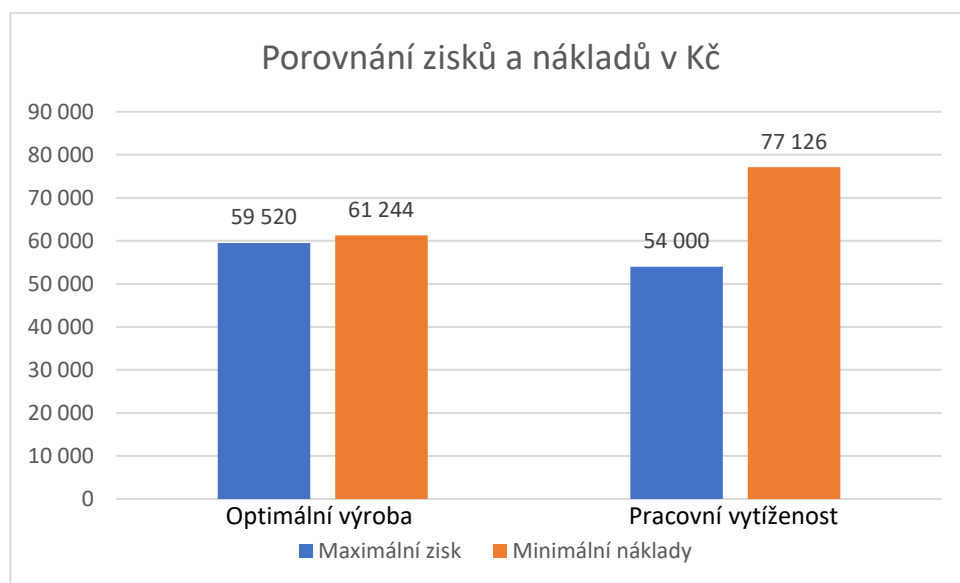
Model 11

Tento model je postaven na snahu minimalizovat náklady, ale zároveň zajistit vytíženost pracoviště, tedy efektivní využití dostupné směny. Zároveň model zachovává podmínku minimální výroby, která zajišťuje určitou úroveň produkce finálních výrobků. Na základě optimalizačního výpočtu bylo dosaženo řešení, ve kterém se - stejně jako v předchozím modelu - vyrobí 8 626 balení finálních trubiček, což odpovídá naplnění 17 252 kusů oplatek (2 ks trubiček na jedno balení).

Klíčový rozdíl však nastává v množství samotných oplatek: zatímco předchozí model pracoval s jejich minimálním množstvím (17 252 ks), v tomto případě je vyrobeno celkem 42 068 ks oplatek. Tento nárůst umožnil plnější využití dostupného pracovního času, čímž došlo ke zvýšení vytíženosti pracoviště, a to bez negativního dopadu na výsledný počet finálních výrobků.

Z ekonomického hlediska toto řešení ukazuje, že i při zachování minimálního množství hotových trubiček lze optimalizací využití směny dosáhnout efektivnějšího rozložení výrobních činností, což přispívá k lepší alokaci zdrojů a může mít příznivý dopad na snížení jednotkových nákladů, zejména při opakované a dlouhodobé výrobě. Tento model zároveň poskytuje cenný vhled do toho, jak může být výroba navržena, tak, aby byl pracovní čas maximálně využit, aniž by došlo ke zbytečnému přetížení některé části procesu. Rovnováha mezi minimální výrobou a efektivním provozem představuje důležitý kompromis mezi provozní realitou a ekonomickou efektivitou.

Nyní si porovnáme modely na maximalizaci zisku a minimalizaci nákladů, konkrétně se bude jednat o modely č. 2, 4, 10, 11 pro porovnání mezi maximálním dosaženým ziskem a minimální náklady na výrobu. Jedná se o varianty zaměřené na optimální výrobu a pracovní vytíženost. První sloupec porovnává optimální výrobu maximalizace zisku modelem č. 2 a minimální náklady na výrobu modelem č. 10. Druhý sloupec porovnává pracovní vytíženost maximalizace zisku modelem č. 4 a minimální náklady na pracovní vytíženost model č. 11.



Graf 1 - Porovnání maximalizace zisků a minimalizace nákladů v Kč

Zdroj: Vlastní zpracování

Jak lze z grafu vyčíst, v obou sledovaných variantách jsou celkové možné zisky nižší než vynaložené náklady, což naznačuje, že za současných podmínek není výroba z ekonomického hlediska efektivní. Zásadním faktorem, který tuto situaci ovlivňuje, je nastavená prodejní cena. V současnosti se balení trubiček prodává do maloobchodů a supermarketů za cenu 6,9 Kč, což však nepokrývá náklady na jeho výrobu.

Na druhé straně e-shopová cena produktu činí 15 Kč, což představuje výrazně vyšší marži a potenciál k dosažení zisku. Tento rozdíl poukazuje na možnou strategii, jak zlepšit ekonomickou výkonnost celého procesu - přehodnocení cenové politiky vůči maloobchodním partnerům. Zvýšení prodejní ceny v segmentu B2B by mohlo firmě umožnit pokrýt výrobní náklady a dosáhnout alespoň minimální ziskovosti.

5.3 Doporučení

Na základě analýzy výsledků optimalizačních modelů lze identifikovat několik klíčových oblastí, ve kterých má firma prostor pro zvýšení ekonomické efektivity a ziskovosti. Z výsledků modelů vyplývá, že i když je pracovní směna plně vytížena, výrobní kapacity strojů a pracovníků nejsou využity na maximum. Kromě toho je třeba věnovat pozornost správnému řízení zásob surovin a přehodnocení cenové politiky. Doporučená opatření jsou následující.

Ačkoli jsou pracovní směny plně obsazeny, výsledky analýz ukazují, že dostupné kapacity strojů a pracovníků nejsou zcela využity. Doporučuje se provést podrobnou analýzu jednotlivých výrobních fází s cílem identifikovat rezervy v organizaci práce a vytížení zařízení. Při této analýze je nutné počítat s tím, že některé činnosti, zejména stáčení trubiček, nelze plně nahradit strojovou technologií a zůstanou manuálně náročné. Optimalizací alokace pracovních činností a modernizací zařízení tam, kde je to možné, lze zvýšit efektivitu výroby, dosáhnout vyšší produkce a tím i zvýšit celkový zisk.

Výroba oplatek tvoří základní pilíř celého výrobního cyklu hotových trubiček. Potvrzuje se, že kapacitní omezení právě v této fázi má negativní dopad na efektivitu dalších výrobních kroků. Proto se doporučuje zvážit organizační opatření, jako je například zavedení specializovaných směn zaměřených pouze na výrobu oplatek, rozšíření výroby na víkendové směny, případně investice do nákupu dalších strojů na výrobu oplatek. Tím lze minimalizovat riziko vzniku úzkých míst, zajistit plynulost výroby a podpořit dosažení vyšší produkce.

Analýza ukazuje, že některé suroviny jako například mouka a tuk jsou využívány na maximum, zatímco u jiných dochází k nadbytku. Pro optimalizaci nákladů je vhodné pravidelně vyhodnocovat aktuální spotřebu surovin a přizpůsobovat objednávky reálným potřebám výroby. Snížení nadbytečných zásob nejen ušetří náklady, ale také oslabí nároky na skladovací prostory. Současná prodejní cena produktu v maloobchodním segmentu 6,9 Kč za balení nedokáže pokrýt výrobní náklady, zatímco e-shopová cena 15 Kč přináší výrazně vyšší marži. Firma by měla zvážit úpravu cenové politiky vůči B2B odběratelům. Tím se zajistí, že prodejní ceny budou lépe odpovídat výrobním nákladům a celková ziskovost podniku se výrazně zlepší.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat a optimalizovat vybraný výrobní proces pomocí metod lineárního programování s důrazem na maximalizaci zisku a minimalizaci nákladů. V teoretické části byly popsány klíčové pojmy spojené s výrobním procesem, optimalizací, operačním výzkumem a lineárním programováním. Praktická část se zaměřila na výrobní proces firmy vyrábějící hořické trubičky a následnou tvorbu matematických modelů optimalizace.

V rámci optimalizačního řešení bylo vytvořeno celkem jedenáct modelů - sedm zaměřených na maximalizaci zisku a čtyři na minimalizaci nákladů. Tyto modely postupně zohledňovaly různé reálné aspekty výroby, jako jsou kapacitní omezení, pracovní vytíženost, omezené zásoby surovin nebo minimální požadovaná výroba. Modely byly řešeny pomocí simplexové metody a nástroje Řešitel v Excelu.

Z výsledků modelů vyplynulo, že teoreticky lze dosáhnout velmi vysokého zisku, avšak pouze za předpokladu ideálních podmínek bez časových či technologických omezení. Modely, které již tyto limity zahrnovaly, ukázaly, že klíčem k vyšší efektivitě a ziskovosti je především rovnoměrné využití všech výrobních fází a efektivní rozložení pracovní činnosti během směny. Zároveň se ukázalo, že výrobní proces je silně závislý na dostatečném množství oplatek, které představují základ celého výrobního řetězce.

Z hlediska nákladové optimalizace se jako nejefektivnější ukázaly modely, které kombinovaly požadavek minimální výroby s vyšším využitím směny. Zásadním zjištěním bylo, že i při zachování fixního množství finálních výrobků lze zlepšit ekonomickou efektivitu například zvýšením objemu výroby oplatek, což umožní lepší využití kapacit bez nutnosti navýšování nákladů.

Závěrečná doporučení pro podnik zdůrazňují zejména potřebu zvýšení využití strojních i pracovních kapacit, posílení výroby oplatek, optimalizaci nákupu surovin a přehodnocení cenové politiky, především v segmentu B2B. Z modelů totiž vyplynulo, že současná prodejní cena 6,9 Kč v maloobchodech není schopna pokrýt náklady, zatímco přímý prodej prostřednictvím e-shopu za cenu 15 Kč nabízí výrazně vyšší ziskovost.

Celkově lze konstatovat, že aplikace lineárního programování přináší podniku cenný nástroj pro strategické plánování výroby a hospodaření se zdroji. Práce prokázala, že optimalizační modely lze úspěšně využít nejen pro teoretickou analýzu, ale i jako praktický nástroj pro

zefektivnění výrobních procesů v reálném podnikovém prostředí. Výsledky ukazují, že důkladná analýza a správné nastavení modelu může přinést významné úspory i vyšší zisky, a tedy přispět ke zvýšení konkurenceschopnosti podniku.

POUŽITÁ LITERATURA

- 1Library. (2023). Preparation of raw materials - General production process description. Dostupné z: www.1library.net/article/preparation-raw-materials-general-production-process-description.y6o02o7y
- Augmentir. (2024). Manufacturing Operations Management: A Complete Guide. Dostupné z: www.augmentir.com/resources/manufacturing-operations-management
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J. a Sherali, H. D. (2010) *Linear Programming and Network Flows*. 4. vyd. Hoboken: Wiley. Dostupné z: <https://www.wiley.com/en-us/Linear+Programming+and+Network+Flows%2C+4th+Edition-p-9780470462720>
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J. a Sherali, H. D. (2010) *Linear Programming and Network Flows*. 4. vyd. Hoboken: Wiley. Dostupné z: <https://www.wiley.com/en-us/Linear+Programming+and+Network+Flows%2C+4th+Edition-p-9780470462720>
- BeeWaTec. (2024). *Plánování a řízení výroby*. [online] Dostupné z: <https://www.beewatec.com/cs/blog/planovani-a-rizeni-vyroby-zaklady>
- BlueBoxPackaging. (2024). How Packaging Production Works: 13 Essential Steps. Dostupné z: www.blueboxpackaging.com/packaging-production-process/
- Boyd, S. a Vandenberghe, L. (2004) *Convex Optimization*. Cambridge: Cambridge University Press. Dostupné z: <https://web.stanford.edu/~boyd/cvxbook/>
- Černaj, T. (2024). *Výroba a výrobný proces*. EuroEkonom.sk.
- Dantzig, G. B. (1998) *Linear Programming and Extensions*. Princeton: Princeton University Press. Dostupné z: <https://press.princeton.edu/books/hardcover/9780691059136/linear-programming-and-extensions>
- Dantzig, G. B. a Thapa, M. N. (2003) *Linear Programming. 2, Theory and Extensions*. Springer series in operations research. New York: Springer-Verlag.
- DANTZIG, George B. a THAPA, Mukund N. *Linear programming. 2, Theory and extensions*. Springer series in operations research. New York: Springer-Verlag, 2003. ISBN 0-387-98613-8.
- Deloitte & Manufacturing Institute. (2021). Study on Workforce Challenges in Manufacturing. Dostupné z: www.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/future-of-manufacturing-talent.html
- DiscoverEngineering. (2024). Manufacturing Processes in Packaging Industry. Dostupné z: www.discoverengineering.org/manufacturing-processes-in-packaging-industry/

- Dvořák, J. (2025) 'Simplexová metoda pro známé počáteční řešení úlohy LP', SlideServe. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/rufina/simplexov-metoda-pro-zn-m-poc-tecn-re-en-lohy-lp>
- ELUC. (2024). *Výrobní technologické postupy*. [online] Dostupné z: https://eluc.ikap.cz/uploads/attachments/486/Vyrobní_tecnologicke_postupy.pdf
- Endress+Hauser (2024) Analýza rizik výrobního procesu ve firmě XY. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/29836/kresta_2014_dp.pdf
- Endress+Hauser. (2024). *Optimalizace procesů ve výrobě*. [online] Dostupné z: <https://www.cz.endress.com/cs/focus-topics/optimalizace-procesu-ve-vyrobe>
- Escare (2024) Zkušenosti s optimalizací procesů, lean manufacture & kaizen workshopy & lean management & produktivita práce. Dostupné z: <https://www.escare.cz/blog/zkusenosti-optimalizaci-procesu/>
- Escare. (2024). *Zkušenosti s optimalizací procesů*. [online] Dostupné z: <https://www.escare.cz/blog/zkusenosti-optimalizaci-procesu/>
- Fábry, J. (2011) *Matematické modelování*. Praha: Professional Publishing, 2011. ISBN 978-80-7431-066-9.
- FIALA, Petr. *Operační výzkum: nové trendy*. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.
- GASS, Saul I. *Linear programming: methods and applications*. 5th ed. Mineola: Dover Publications, 2003. ISBN 0-486-43284-X.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P. a Hultink, E. J. (2017) 'The Circular Economy - A new sustainability paradigm?', *Journal of Cleaner Production*, 143, s. 757-768.
- GEMS Manufacturing Ltd. (2024). 12 Critical Factors Affecting Manufacturing Costs and How to Mitigate Them in Operation. Dostupné z: www.gems-mfg.com/12-critical-factors-affecting-manufacturing-costs-and-how-to-mitigate-them-in-operation/
- Goldratt, E. M. a Cox, J. (2016) *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. 4. vyd. Great Barrington: North River Press.
- HEIZER, J. a RENDER, B., 2014. *Řízení výroby a provozu*. Praha: Grada Publishing.
- Heizer, J., Render, B. a Munson, C. (2020) *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. 13. vyd. Harlow: Pearson.
- Hillier, F. S. a Lieberman, G. J. (2010) *Introduction to Operations Research*. 9th edn. New York: McGraw-Hill.

- Hillier, F. S. a Lieberman, G. J. (2021) *Introduction to Operations Research*. 11. vyd. New York: McGraw-Hill. Dostupné z: <https://www.mheducation.com/highered/product/introduction-operations-research-hillier-lieberman/M9781260587380.html>
- Chirumalla, K., Oghazi, P., Nnewuku, R. E., Tuncay, H., & Yahyapour, N. (2025). Critical factors affecting digital transformation in manufacturing companies. *International Entrepreneurship and Management Journal*. Dostupné z: www.springer.com/article/10.1007/s11365-024-01056-3
- Chopra, S. a Meindl, P. (2019) *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. 7. vyd. Harlow: Pearson.
- JABLONSKÝ, Josef. Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
- Jurová, M. (2016) *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada.
- Jurová, M. (2016). *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada.
- Kagermann, H., Wahlster, W. a Helbig, J. (2013) *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Frankfurt: German Academy of Science and Engineering.
- Kinmore. (2025). Production process control: importance, steps and examples. Dostupné z: www.kinmore.com/articles/production-process-control-importance-steps-and-examples/
- LINDA, Bohdan a VOLEK, Jozef. *Lineární programování*. Vydání 6. opravené a doplněné. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2016. ISBN 978-80-7560-018-9.
- Matematické programování*. SlidePlayer. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1976992/>
- MIN, Jungyeon, 2016. *Balloons*. Online. In: Pixabay. June 16, 2016. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/photos/bal%C3%B3nek-p%C4%9Bkn%C3%BD-barvit%C3%BD-vodn%C3%AD-bal%C3%B3nek-1565746/>. [cit. 2023-10-18].
- MM Průmyslové spektrum. (2024). *Optimalizace výrobního procesu*. [online] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-vyrobniho-procesu>
- Moellhausen. (2024). Industrial factors influencing availability and price of raw materials. Dostupné z: www.magazine.moellhausen.com/industrial-factors-influencing-availability-and-price-of-raw-materials/
- Mojro. (2024). Top 5 Factors that Influence Logistics Planning. Dostupné z: www.mojro.com/resource-top-5-factors-that-influence-logistics-planning/
- OneIndustry. (2024). *Výroba, výrobní proces*. [online] Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/vyroba-vyrobni-proces/>

OptiProERP. (2023). What Are the Steps in Production Planning and Control? Dostupné z: www.optiproerp.com/blog/what-are-the-steps-in-production-planning-and-control/

Pravé hořické trubičky, s.r.o. (n.d.) *Historie hořických trubiček*. Available at: https://www.horicketrubicky.cz/o_spolecnosti.php

ProjectManager. (2023). The Production Process: Steps & Types. Dostupné z: www.projectmanager.com/blog/production-process

ProjectManager. (2024). Production Planning 101: Making a Production Plan. Dostupné z: www.projectmanager.com/blog/production-planning

Rootstock. (2022). 5 Factors Affecting Production Management & Best Practices. Retrieved from www.rootstock.com/cloud-erp-blog/5-factors-affecting-production-management-best-practices/

Schrijver, A. (1998) *Theory of Linear and Integer Programming*. Chichester: John Wiley & Sons. Dostupné z: <https://www.wiley.com/en-us/Theory+of+Linear+and+Integer+Programming-p-9780471982325>

Simplicable. (2017). 6 Types of Production Process. Dostupné z: www.simplicable.com/new/production-process

Slack, N., Brandon-Jones, A. a Johnston, R. (2022) *Operations Management*. 9. vyd. Harlow: Pearson.

Stanford University (2023) *Optimization Models and Formulations I*. Available at: <https://web.stanford.edu/class/msande211x/Lecture012023.pdf>

Strathmore University (2023) *Linear Programming: Model Formulation and Solution*. Available at: https://sbselearning.strathmore.edu/pluginfile.php/6504/mod_resource/content/1/Linear%20Programming.pdf.

TecnoDigital (2024) Analýza rizik ve výrobě a návrh systému pro jejich minimalizaci. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41033/%C5%BE%C3%A1lek_2017_dp.pdf?sequence=1

TUKE. (2014). The Business Logistics Process. Dostupné z: www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/30-2014/pdf/263-265.pdf

University of Kentucky (2023) *Linear Programming*. Available at: <https://www.uky.edu/~dsianita/300/online/LP.pdf>

Vedantu. (2024). Factors of Production - Labour: Meaning, Characteristics, and FAQs. Dostupné z: www.vedantu.com/commerce/factors-of-production-labour

- WallStreetMojo. (2023). Manufacturing Operations - What Are They, Examples, Types. Dostupné z: www.wallstreetmojo.com/manufacturing-operations/
- Wikisofia. (2023). *Operační výzkum*. [online] Dostupné z: https://wikisofia.cz/wiki/Opera%C4%8Dn%C3%AD_v%C3%BDzkum
- Winston, W. L. (2004) *Operations Research: Applications and Algorithms*. 4. vyd. Belmont: Cengage Learning. Dostupné z: <https://www.cengage.com/c/operations-research-applications-and-algorithms-4e-winston/>
- Womack, J. P. a Jones, D. T. (2003) *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2. vyd. New York: Free Press.
- World Paper Mill. (2023). Paper Making Process: From Raw Materials to Finished Products. Dostupné z: www.worldpapermill.com/paper-making-process/
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J. a Sherali, H. D. (2010) *Linear Programming and Network Flows*. 4th edn. Hoboken: Wiley.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Dotazník pro získání vstupních údajů

PŘÍLOHA A: Dotazník pro získání vstupních údajů

Dobrý den,

Jmenuji se Karolína Čadková a jsem studentkou na Univerzitě Pardubice na fakultě ekonomicko-správní obor Ekonomika a management podniku. V rámci své diplomové práce se zaměřuji na optimalizaci výrobních procesů s využitím lineárního programování. V této souvislosti se na Vás obracím s žádostí o poskytnutí údajů, které by mi pomohly lépe porozumět výrobním praktikám a procesům Vaší firmy.

Ráda bych Vás požádala o co nejpřesnější a nejpodrobnější informace, které by mohly přispět k úspěšnému vypracování mé práce. Uvědomuji si, že některé údaje mohou být důvěrné nebo citlivé. V takovém případě bych byla otevřená domluvě na skrytí praktické části mé práce, aby tyto informace zůstaly pouze pro interní potřebu a nedostaly se na veřejnost.

Děkuji Vám za zvážení mé žádosti a budu vděčná za jakoukoli pomoc, kterou mi můžete poskytnout. Těším se na případnou spolupráci.

S pozdravem,

Karolína Čadková
karolina.cad@seznam.cz

Typ výrobku: Jaké varianty hořčických trubiček nabízíte (např. různé příchutě, velikosti)?

Hlavní: Čokoláta, Ořech, Vanilka : Dále klob, araš, dia, vanička, sýr, jogurt, káva,
Balení: Karton 50 ks (2x) Karton 25 ks

Cenové informace: Jaká je cena za kus nebo balení? Existují slevy při větším odběru?*

CENA ZA BALÍČEK (2 TRUB.) ČOKOLÁDA 6,90 BEZ DPH ⇒ NEPATAJÍ CENA COU VTEJ

* ANO

Kvalita surovin: Jaké suroviny se používají? Jsou přírodní, organické nebo obsahují umělá barviva/přísady?

PŘÍRODNÍ

TUŽE PŘÍDÁVÁME AZHATA LIHOV!

Certifikace: Má produkt nějaké certifikáty kvality, hygieny nebo původu?

CERTIFIKACI MÁME IFO NA CELÝ PŘÍRODU ⇒ HYGIENA, KVALITA VŠE

Dostupnost: Jaké jsou možnosti objednání? Jaká je dodací lhůta?

- EDI, EMAIL, OBCHODNÍ ZÁKAZNÍK
- S PRACOVNÍM DAV

Minimální objednávka: Existuje minimální množství pro objednávku?

- TOUŽE ENYOT VE PO KUVREK
- S TOUŽAVOU MINIMUM 0,5 g/k ⇒ 70 ks

☑ **Způsob dopravy:** Jaké jsou možnosti dopravy a jaké jsou náklady na dopravu?

EVTEBNÍ DOPRAVA = CEN
CENA ZA PAKETU cca 900-1000,- Kč DPH

☑ **Záruka a reklamační podmínky:** Jaké jsou podmínky pro případ reklamace nebo vrácení zboží?

- 12 MĚSÍCŮ

- TOM. = DÍKEM TOTO + DODACÍ LIST OD DODAVCE S POTVRZENÍM SKLADNICE

☑ **Náklady na suroviny:** Cena jednotlivých surovin (mouka, cukr, kakao, máslo atd.) potřebných pro výrobu jedné trubičky. Nejlépe vyjmenovat a napsat za 1 kus.

DMATKA: 0,64 PLNĚNÍ: 1,42 ZAKVA: 5,32 Kč DPH

HOVLA: ~~1,00~~ ~~1,00~~

VÍŽ PŘÍLOHY 2x

☑ **Náklady na energii:** Náklady na elektřinu, plyn nebo jiné energie potřebné na provoz strojů a pečení.

NEVÍČKĚ: ELEKTŘINA: 40.000,- Kč DPH
PLYN: 15.000,- Kč DPH
VODA: 12.000,- Kč DPH

• **Náklady na pracovní sílu:** Mzdy pracovníků zapojených do různých fází výroby (příprava těsta, plnění, balení atd.).

ZARADNÍ MZDA: 19.000,- PRÉMIE 1.000 - 12.000,-
PRŮMĚR 25.000,-/os.

• **Náklady na údržbu a provoz strojů:** Pravidelné náklady spojené s údržbou a provozem výrobních strojů.

cca 30.000,-

• **Náklady na obaly:** Cena obalových materiálů (krabice, fólie apod.)

FOLIE: cca 200,-/kg Kč DPH

KARTON: cca 10,-/kg Kč DPH

Skladovací kapacita: Maximální množství hotových výrobků, které můžete skladovat před distribucí.

cca 43 palc

Dostupnost surovin: Kolik surovin je k dispozici během daného časového období (např. denní nebo týdenní dodávky mouky, cukru apod.).

NEVÍČKA: mouka: 5.000 kg, cukr: 4.000 kg, mléko: 3.200 kg,
tuk: 10.500 kg, žloutky: 300 kg, aroma: 40 kg, všeob: 200

• **Dostupnost pracovní síly:** Kolik pracovníků je k dispozici a na kolik hodin denně/týdně mohou pracovat

53x (7,5)

40x výrobních lidí → 23400 kapacita strojů

• **Časová omezení:** Pracovní doba, omezení směn, případné omezení provozu strojů (např. údržba).

6-14:00 14-22:00

ÚPRAVA NENÍ → PŘÍPADNÁ ÚPRAVA BĚHEM PROVOZU NEBO VOBOTA

Minimální a maximální výrobní množství: Některé stroje nebo procesy mohou mít technologická omezení na minimální nebo maximální dávku.

1 DEN: PRAHA: 44.000 OPAK ZA 2 SMĚNY = MAX
PLNĚNÍ: 60.000 NAPLNĚNÝCH TRUBICEK ZA DVE SMĚNY = MAX
BALENÍ: PRAHA
STÁŘENÍ: 40-50000 STÁŘENÝCH TRUBICEK

• **Časová náročnost jednotlivých operací:** Kolik času je potřeba na výrobu jedné dávky nebo jedné trubičky (např. čas na pečení, chlazení, balení).

1 OPAK = 1 MINUTA

1 PLNĚNÍ = 20 SEKUND → 1 MIN.

1 STÁŘENÍ = 50 SEKUND - 1 MIN.

• **Omezení kapacity balicí linky:** Kolik jednotek lze zabalit za hodinu nebo den.

ZA DEN 1 SMĚNA: 4 PRAHA → 860 KARTONŮ (50 bal)