



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV INFORMATIKY

INSTITUTE OF INFORMATICS

OPTIMALIZACE VYUŽITÍ VÝROBNÍ KAPACITY POMOCÍ LINEÁRNÍHO PROGRAMOVÁNÍ

OPTIMIZATION OF PRODUCTION CAPACITY UTILIZATION LINEAR PROGRAMMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Samuel Smoroň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Doskočil, Ph.D., MSc

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav informatiky
Student:	Samuel Smoroň
Studijní program:	Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor:	Manažerská informatika
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Doskočil, Ph.D., MSc
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Optimalizace využití výrobní kapacity pomocí lineárního programování

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Cíle práce, metody a postupy zpracování
Teoretická východiska práce
Analýza současného stavu
Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Hlavním cílem práce je navrhnout model optimalizace využití výrobní kapacity firmy s využitím lineárního programování.

Základní literární prameny:

ANDERSON, D.R. et al. Quantitative Methods for Business. 13th ed. Boston: Cengage Learning, 2016. ISBN 978-1-285-86631-4.

GRASSEOVÁ, M. a kol. Efektivní rozhodování: analyzování - rozhodování - implementace a hodnocení. Brno: Edika, 2013. ISBN 978-80-266-0179-1.

GROS, I. Kvantitativní metody v manažerském rozhodování. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

ŠUBRT, T. a kol. Ekonomicko-matematické metody. 2. upr. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

WISNIEWSKI, M. Metody manažerského rozhodování. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1996. ISBN 80-7169-089-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně dne 29.2.2020

L. S.

doc. RNDr. Bedřich Půža, CSc.
ředitel

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou plánovania výroby a s tým súvisiaceho využitia výrobnéj kapacity podniku. Pri riešení je využitá simplexová metóda ako súčasť lineárneho programovania. Je vytvorený variabilný optimalizačný model pomocou doplnku Riešiteľ, ktorý rešpektuje stanovené obmedzenia. Výstupom je aj formulár v jazyku VBA na jednoduchšie spravovanie modelu. Optimalizačný model je nápomocný pri manažérskom rozhodovaní firmy.

Kľúčové slová

Lineárne programovanie, optimalizačný model, výrobná kapacita, vínná nádrž, pивný tank

Abstract

The bachelor thesis deals with the issue of production planning and the related use of the company's production capacity. The solution uses the simplex method as part of linear programming. A variable optimization model is created using the Solver add-on, which respects the set constraints. The output is also a VBA form for easier model management. The optimization model is helpful in the managerial decision-making of the company.

Key words

Linear programming, optimization model, production capacity, wine tank, beer tank

Bibliografická citace

SMORONĚ, Samuel. *Optimalizace využití výrobní kapacity pomocí lineárního programování* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127593>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky. Vedoucí práce Radek Doskočil.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že predložená bakalárska práca je pôvodná a spracoval som ju samostatne. Prehlasujem, že citácie použitých prameňov sú úplné a že som vo svojej práci neporušil autorské práva (v zmysle Zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

V Brne dňa 12.05.2020

.....

podpis študenta

Pod'akovanie

Ďakujem doc. Ing. Radkovi Doskočilovi, Ph.D., MSc, za odborné vedenie, usmernenia a užitočné rady pri tvorbe mojej bakalárskej práce. Moje pod'akovanie patrí taktiež Ing. Petrovi Jančimu za sprístupnenie firemných informácií k práci. Ďakujem za podporu a trpezlivosť mojej rodine a priateľom.

OBSAH

ÚVOD	10
CIELE PRÁCE, METÓDY A POSTUP SPRACOVANIA	11
1 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ	12
1.1 Proces rozhodovania	12
1.1.1 Fázy rozhodovacieho procesu.....	13
1.1.2 Metódy rozhodovania	14
1.1.3 Ekonomicko – matematické metódy.....	14
1.1.3.1 Rozhodovacie modely.....	15
1.1.3.2 Teória hier	15
1.1.3.3 Teória zásob	15
1.1.3.4 Teória grafov.....	15
1.1.3.5 Modely multikriteriálneho rozhodovania.....	16
1.2 Lineárne programovanie	16
1.2.1 Význam a historický vývoj lineárneho programovania.....	17
1.2.2 Formulácia modelu lineárneho programovania	17
1.2.3 Premenné v modeli lineárneho programovania	17
1.2.4 Limitujúce podmienky v lineárnom programovaní	18
1.2.5 Formulovanie kriteriálnej funkcie	18
1.2.6 Grafické znázornenie modelu	19
1.2.7 Simplexová metóda	19
1.2.8 Vybrané druhy úloh lineárneho programovania	19
1.2.8.1 Distribučné úlohy.....	20
1.2.8.2 Rezné plány.....	20
1.2.8.3 Úlohy výrobného plánovania	20
1.2.9 Postup aplikácie lineárneho programovania.....	21
1.2.9.1 Formulácia ekonomického modelu.....	21
1.2.9.2 Formulácia matematického modelu	21
1.2.9.3 Výpočet matematického modelu.....	22
1.2.9.4 Ekonomická alebo vecná interpretácia riešenia	22
1.3 Problematika riadenia a plánovania výroby.....	23
1.3.1 Transformačný proces fyzického výkonu.....	23

1.3.2	Špecifiká zákazkovej výroby	23
1.4	Doplnok Riešiteľ a VBA	24
2	ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU	26
2.1	Charakteristika spoločnosti.....	26
2.2	Analýza štruktúry výroby	27
2.3	Rentabilita jednotlivých výrobkov.....	31
2.4	Výrobná kapacita podniku	32
2.5	Riadenie zásob vstupného materiálu.....	33
2.6	Charakteristika problému.....	34
2.7	Sumarizácia vstupných údajov	35
3	VLASTNÉ NÁVRHY RIEŠENIA, PRÍNOS NÁVRHOV RIEŠENÍ	37
3.1	Definícia ekonomického problému.....	37
3.1.1	Variant 1	38
3.1.2	Variant 2	38
3.1.3	Variant 3	39
3.1.4	Variant 4	39
3.2	Definovanie matematického modelu	39
3.2.1	Variant 1	40
3.2.2	Variant 2	43
3.2.3	Variant 3	44
3.2.4	Variant 4	46
3.3	Vyriešenie matematického modelu.....	47
3.3.1	Variant 1	49
3.3.2	Variant 2	50
3.3.3	Variant 3	51
3.3.4	Variant 4	51
3.4	Ekonomická interpretácia matematického modelu.....	52
3.4.1	Variant 1	52
3.3.2	Variant 2	52
3.3.3	Variant 3	53
3.3.4	Variant 4	53
3.4	Súhrnný komentár a porovnanie variantov	54

3.5	Ročný objem výroby – porovnanie.....	55
3.6	Postoptimalizačná analýza.....	58
3.7	Prínosy vytvoreného modelu	59
ZÁVER		63
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV		65
ZOZNAM GRAFOV		67
ZOZNAM OBRÁZKOV		68
ZOZNAM TABULIEK		69
PRÍLOHY		70

ÚVOD

Jednou z najdôležitejších úloh v práci každého manažéra je rozhodovanie. V rozličných situáciách využívajú manažéri rôzne metódy rozhodovania. V niektorých prípadoch rozhodnú na základe predchádzajúcich odborných znalostí a skúseností z riešenia podobných problémov. Inokedy využijú exaktné metódy rozhodovania, kde možno jednotlivé faktory kvantifikovať. K takýmto metódam môžeme zaradiť aj lineárne programovanie, ktorým sa zaoberáme v bakalárskej práci.

Lineárne programovanie ako súčasť operačného výskumu umožňuje transformovať reálne problémy do matematickej podoby, následne ich matematicky riešiť. Efektívne sa dá využiť na riešenie problémov výrobných podnikov ako je plánovanie výroby, distribučné problémy alebo tvorba rezných plánov.

Využitie výrobnjej kapacity podniku je jedným z dôležitých faktorov ovplyvňujúcich jeho efektívnosť. Predstavuje pomerne zložitý problém, keďže na využitie výrobnjej kapacity vplýva veľké množstvo externých aj interných faktorov. Keď ich dokážeme pomenovať a matematicky vyjadriť, môžeme využiť nástroje lineárneho programovania na vytvorenie modelu na plánovanie využitia výrobnjej kapacity.

Pre podnik, ktorý sa zaoberá zákazkovou kovovýrobou vytváram v prostredí MS Excel s využitím doplnku Riešiteľ užívateľsky jednoduchý nástroj na efektívne plánovanie výroby. Taktiež pomocou jazyka VBA je vytvorený formulár na jednoduchú modifikáciu vytvoreného modelu.

CIELE PRÁCE, METÓDY A POSTUP SPRACOVANIA

Hlavným cieľom bakalárskej práce je s využitím lineárneho programovania navrhnuť model na plánovanie využitia výrobných kapacít v podniku zaoberajúcom sa zákazkovou kovovú výrobou. Práca je riešená v prostredí firmy KOVO-JANČI, s.r.o., ktorá produkuje veľkoobjemové nádoby pre rôzne oblasti potravinárskeho priemyslu.

Z hlavného cieľa práce vychádzajú parciálne ciele. V prvom kroku bolo potrebné získanie teoretických poznatkov z oblasti operačnej analýzy, osobitne lineárneho programovania a ich spracovanie. Nasleduje získavanie reálnych dát v skúmanom podniku a ich analýza, definovanie problému, jeho slovné a matematické vyjadrenie a nakoniec vytvorenie návrhu optimalizačného modelu.

Teoretické poznatky tvoria vodítko ako postupovať pri riešení problému, vyhodnocovať a interpretovať výsledky. Analýza aktuálnej situácie v podniku v oblasti využívania výrobných kapacít, dopad na efektívnosť podniku a v neposlednom rade mieru uspokojenia požiadaviek zákazníkov sú predmetom skúmania ďalšej časti práce.

Analýzou definovaný problém je matematicky vyjadrený a riešený pomocou nástrojov lineárneho programovania s využitím doplnku Riešiteľ v programe MS Excel.

Vytvorený model lineárneho programovania pre riešenie problému plánovania výrobných kapacít je transformovaný na formulár jazyka VBA. Tým sa vytvorí užívateľsky jednoduché prostredie pre manažment podniku na efektívne používanie navrhnutého modelu.

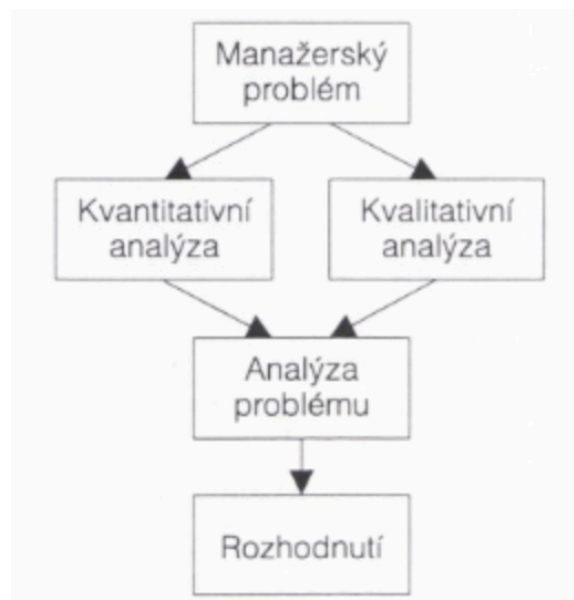
1 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Prvá kapitola práce vychádza z odbornej literatúry v oblasti manažmentu, konkrétne procesov rozhodovania, ktoré sú súčasťou takmer každej ľudskej činnosti. Ďalšou oblasťou je operačný výskum ako samostatný vedný odbor zaoberajúci sa riešením zložitých problémov. Hlavná pozornosť je venovaná lineárnemu programovaniu ako súčasť matematického programovania, ktoré umožňuje vytvorenie optimalizačného modelu na riešenie konkrétnych problémov.

1.1 Proces rozhodovania

Rozhodovanie je jednou zo základných prierezových manažérskych funkcií. Výsledkom rozhodovacieho procesu je rozhodnutie, teda výber optimálneho variantu vzhľadom na cieľ, kritéria a možnosti. Rozhodnutie by malo byť kombináciou vlastného záujmu a odhadu vývoja ostatných relevantných podmienok. Každé rozhodnutie musí mať svoj cieľ. (Chovanová, 2014)

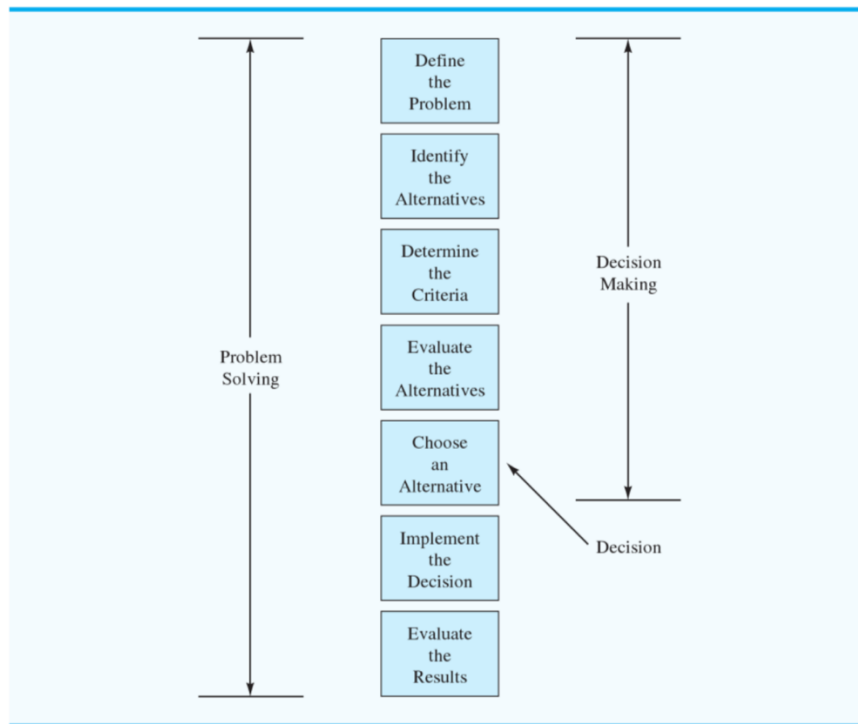
Akýkoľvek manažérsky problém vyžaduje, aby bol skúmaný z kvalitatívneho a kvantitatívneho hľadiska. Nevyhnutné informácie musia byť zhromaždené súčasne a posudzované z hľadiska daného problému. Na základe týchto dvoch informačných zdrojov je úlohou manažéra prijať rozhodnutie. (Wisniewski, 1996)



Obrázok 1 Manažerský problém
(Wisniewski, 1996)

1.1.1 Fázy rozhodovacieho procesu

- Identifikácia problému – rozpor medzi požadovanými výsledkami a skutočnosťou signalizuje existenciu problému. Problém môžeme identifikovať vykonaním situačnej analýzy vnútorného a vonkajšieho prostredia organizácie,
- Vymedzenie problému – pomenovanie základných prvkov problému a jeho kľúčových príčin. Výstupom je popis počiatočného a požadovaného stavu,
- Získavanie informácií – jedná sa o priebežnú fázu procesu, kde získavame informácie predovšetkým z primárnych zdrojov,
- Stanovenie cieľov riešení a hodnotiacich kritérií – je potrebné zistiť, aké ciele povedú k zmene problémovej situácie, teda určenie, čo sa má dosiahnuť po vyriešení problému. Hodnotiace kritériá musia vychádzať zo stanovených cieľov, vyjadrujú mieru ako dobre každá alternatíva spĺňa stanovené ciele,
- Tvorba variantov riešení – predstavujú rôzne verzie, ktoré transformujú počiatočnú problémovú situáciu na požadovanú. Vypracované musia byť minimálne dva varianty,
- Stanovení dôsledkov variantov
- Analýza variantov riešení s využitím limitných kritérií – účelom je zistiť, či vypracované varianty riešení vyhovujú minimálnym požiadavkám,
- Hodnotenie variantov riešení s využitím hodnotiacich kritérií a výber variantu – uskutočňuje sa s využitím kvantitatívnych alebo kvalitatívnych metód prípadne ich kombináciou s možnosťou priradenia váhy dôležitosti. Výstupom je výber variantu alebo ich usporiadanie,
- Stanovenie postupu riešenia problému – stanovenie jednotlivých krokov pri riešení problému a alokácia zdrojov,
- Implementácia zvoleného variantu – postup implementácie, monitorovanie a koordinácia,
- Monitorovanie a kontrola postupu implementácie – hodnotenie reálne dosiahnutých výsledkov zvoleného variantu a ich posudzovanie vzhľadom k stanoveným cieľom. (Grasseová a kol., 2013)



Obrázok 2 Proces rozhodovania
(Anderson, 2016)

1.1.2 Metódy rozhodovania

Metódy rozhodovania sa delia na tri základné skupiny:

- Empirické
- Exaktné (matematicko-štatistické)
- Heuristické

Empirické metódy sa zakladajú na praktických skúsenostiach a intuícii toho, kto rozhoduje. Exaktné metódy vychádzajú z poznatkov matematiky, štatistiky a operačného výskumu. Ich podstatou je algoritmizácia rozhodovacieho procesu možnosť jeho modelového zobrazenia a matematického riešenia. Heuristické metódy využívajú prednosti empirických i exaktných metód rozhodovania a používajú sa pri riešení zle štruktúrovaných problémov. (Tomčíková, 2017)

1.1.3 Ekonomicko – matematické metódy

Využitie ekonomicko-matematických metód je v praxi veľmi rozšírené pri riešení problémov a podpore rozhodovania manažérov, ekonómov a technických pracovníkov. (Šubrt a kol.,2015)

1.1.3.1 Rozhodovacie modely

Vytvorenie rozhodovacieho modelu formalizuje rozhodovací proces a umožňuje exaktný prístup k výberu vhodného riešenia. Tento model má zvyčajne podobu rozhodovacej tabuľky alebo rozhodovacieho stromu. Rozhodovacie tabuľky sú maticovou formou zápisu rozhodovacieho procesu. Grafické zobrazenie rozhodovacieho problému je rozhodovací strom. Cieľom rozhodovacích modelov je výber takej alternatívy, ktorá prinesie rozhodovateľovi najlepší výsledok v podmienkach neistoty a rizika. (Šubrt a kol.,2015)

1.1.3.2 Teória hier

Zobrazením a riešením konfliktných situácií sa zaoberá teória hier. Výsledok rozhodovacieho procesu ovplyvňujú viacerí účastníci. Rozlišujeme dva základné typy hier, antagonistické a neantagonistické. Ak sú účastníci hry v priamom rozpore, hovoríme o antagonistickom type. Ak je pre hráčov výhodné dohodnúť sa na spoločnom postupe pri riešení rozhodovacích situácií, jedná sa o neantagonistické hry. (Gros, 2003)

1.1.3.3 Teória zásob

„Základným problémom matematickej teórie modelovania zásob je určenie správneho množstva tovarov objednávaného v správny čas. Ide teda o nájdenie optimálnej objednávacej, resp. skladovacej politiky, ktorá pri dodržaní určitých obmedzení, nastaví doby objednania, objednávané množstvá a pod. tak, aby všetky relevantné očakávané náklady spojené s objednávaním a skladovaním boli minimálne.“ (Rosová, Daňková, 2017)

Podľa druhu informácie rozdeľujeme modely zásob na deterministické a stochastické. Modely s úplnou informáciou o veličinách, ktoré v nich vystupujú sa nazývajú deterministické napr. model optimálnej veľkosti objednávky. Ak sú informácie o niektorej veličine neúplné, hovoríme o stochastických modeloch, ktoré akceptujú aj náhodné vplyvy. (Rosová, Daňková, 2017)

1.1.3.4 Teória grafov

Veľa reálnych situácií je možné znázorniť graficky, čo je pre mnohých zrozumiteľnejšie ako matematické modely. Grafické modely sa najčastejšie využívajú

pri riešení distribučných úloh. Často riešenou úlohou z praxe je nájsť najkratšie spojenie medzi dvoma bodmi. K základným metódam sieťovej analýzy patrí metóda CPM (Critical Path Method), ktorej cieľom je stanovenie doby trvania projektu na základe dĺžky kritickej cesty. Metóda PERT (Program Evaluation and Review Technique) sa od metódy CPM líši tým že doba trvania činnosti nie je presne daná, ale je určená mierou pravdepodobnosti. (Šubrt a kol.,2015)

1.1.3.5 Modely multikriteriálneho rozhodovania

K veľmi účinným nástrojom na podporu rozhodovania patrí multikriteriálna analýza. Využíva sa pri rozhodovacích problémoch, ktoré sú charakteristické tým, že zohľadňujú aspoň dve kritéria a aspoň dva varianty. (Madzík, 2017)

V modeloch multikriteriálnej analýzy variantov je daná konečná množina m variantov, ktoré sú hodnotené podľa n kritérií. Cieľom je nájsť variant, ktorý je podľa všetkých kritérií celkovo hodnotený čo najlepšie, prípadne stanoviť poradie variantov alebo vylúčiť neefektívne. (Šubrt a kol., 2015)

1.2 Lineárne programovanie

Cieľom lineárneho programovania je vytvorenie optimalizačného modelu. Ak pre matematickú formuláciu rozhodovacieho problému použijeme len lineárne funkcie, rovnice a nerovnice, jedná sa o model lineárneho programovania. Pri hľadaní riešenia problému je nevyhnutné rešpektovať obmedzujúce podmienky. Lineárne programovanie sa pre svoju jednoduchosť a širokú použiteľnosť stalo jednou z najrozšírenejších metód využívaných pri rozhodovaní. (Šubrt a kol.,2015)

Lineárne programovanie je jednoduchá technika, kde pomocou lineárnych funkcií zobrazujeme zložité vzťahy a potom nájdeme optimálne riešenia. Skutočné vzťahy môžu byť oveľa komplexnejšie, ale môžeme ich zjednodušiť na lineárne vzťahy. (Introductory guide on Linear Programming for (aspiring) data scientists, 2017)

„Lineárne programovanie je časť matematického programovania a teda aj operačnej analýzy, zaoberajúca sa riešením rozhodovacích úloh, v ktorých ide o určenie intenzít realizácie procesov, ktoré v analyzovanom systéme prebiehajú alebo môžu prebiehať.“ (Máca, Leitner, 2002)

Matematické programovanie sa vo všeobecnosti týka určenia minima alebo maxima funkcie niekoľkých premenných, ktoré musia splniť množstvo obmedzení. Takéto riešenia sa hľadajú v rôznych oblastiach vrátane strojárstva, operačného výskumu, manažmentu, vedy, informatiky, numerickej analýzy a ekonómie. (Rahman, 2012)

1.2.1 Význam a historický vývoj lineárneho programovania

Simplexovú metódu vymyslel a rozpracoval v roku 1947 George Dantzig v službách amerického vojenského letectva. Objav simplexovej metódy ovplyvnil ekonomickú teóriu i prax. Aj na manažérov zvyknutých spoliehať sa na skúsenosť a intuíciu urobilo dojem, keď sa náklady znížili napríklad o 20% obyčajnou reorganizáciou podľa akéhosi záhadného výpočtu. Zvlášť, keď to dokázal na základe pár čísel niekto, kto nemohol vedieť, ako to v podniku chodí, zd'aleka tak dobre ako oni. Zrazu už v konkurenčnom prostredí nešlo matematické metódy beztrešne ignorovať.

Lineárne programovanie sa od štyridsiatych rokov veľmi rozvinulo, a tiež sa pre neho našli nové typy aplikácií, zd'aleka nie len v matematickej ekonómii. V informatike sa z neho stal základný nástroj v konštrukcii algoritmov. (Matoušek, 2006)

1.2.2 Formulácia modelu lineárneho programovania

Pre tvorbu všeobecného modelu úlohy lineárneho programovania je nutné podrobne popísať a definovať cieľ, procesy a činitele. Cieľ – optimalizačné kritérium, ktorý chceme ovplyvňovaním určitých procesov v systéme dosiahnuť. Procesy, ktorými je možné ovplyvňovať výsledný efekt. Činitele, ktoré nemôžeme ovplyvniť, ale podstatným spôsobom obmedzujú realizáciu procesov. (Máca, Leitner, 2002)

Dostatočná znalosť fungovania skúmaného systému, kvalitné a pravdivé informácie, uvedomenie si ďalších súvislostí, ktoré ovplyvňujú výsledné riešenie je nevyhnutné pre správne definovanie všeobecného modelu rozhodovacieho problému. (Máca, Leitner, 2002)

1.2.3 Premenné v modeli lineárneho programovania

Formulácia rozhodovacích premenných je prvým krokom pri zostavovaní modelu lineárneho programovania. Stanovené premenné predstavujú jednotlivé procesy, ktoré nás zaujímajú z hľadiska hľadaného rozhodnutia. Správne a účelne formulovaná

premenná vychádza z cieľa riešeného problému. Akonáhle je identifikovaná nejaká premenná, je nutné určiť jednotku, v ktorej sa bude vyjadrovať. (Šubrt a kol., 2015)

„Jednoznačne slovne sformulovaná a zrozumiteľná definícia rozhodovacích premenných je neoddeliteľnou súčasťou tvorby každého matematického modelu. Bez uvedenia konkrétneho významu premenných stráca zmysel aj samotné riešenie rozhodovacej úlohy.“ (Máca, Leitner, 2002)

1.2.4 Limitujúce podmienky v lineárnom programovaní

V modeloch lineárneho programovania sa používajú lineárne rovnice alebo nerovnice. Ľavú stranu obmedzujúcich podmienok tvorí skalárny súčin hodnôt premenných a technicko-ekonomických koeficientov, ktoré určujú množstvo vyčerpaného zdroja jednou jednotkou daného procesu. Pravú stranu tvorí konštanta napr. veľkosť kapacity zdroja. (Šubrt a kol., 2015)

Pri definovaní hraničných podmienok je potrebné kontrolovať či model obsahuje všetky obmedzujúce podmienky, teda:

- Vlastné obmedzenia – vychádzajú z definície všeobecného modelu, ktorý predchádza tvorbe matematického modelu (napr. neprekročenie zásob zdrojov, minimálne požadované množstvo, neprekročenie kapacity),
- Obligátne podmienky – určujúce definičný obor hodnôt jednotlivých premenných (napr. podmienky nezápornosti).

Správne sformulovať model sa zvyčajne nepodarí na prvýkrát, preto je nutné overovať predchádzajúce kroky jeho tvorby a prípadne definovať ďalšie podmienky alebo premenné. (Máca, Leitner, 2002)

1.2.5 Formulovanie kriteriálnej funkcie

Účelová funkcia v podstate reprezentuje cieľ riešenia problému, je meradlom kvality alebo efektívnosti. Táto funkcia je vždy závislá na hodnotách definovaných rozhodovacích premenných v predchádzajúcej fáze tvorby modelu. Hľadáme také hodnoty premenných, pre ktoré kriteriálna funkcia nadobúda buď maximálne alebo minimálne hodnoty v závislosti od stanovených kritérií. Kriteriálna funkcia musí byť zostavená tak, aby jej hodnota „oceňovala“ každé možné riešenie úlohy. (Máca, Leitner, 2002)

1.2.6 Grafické znázornenie modelu

Menšie modely lineárneho programovania sa môžu riešiť graficky. Keďže všetky ohraničenia sú dané lineárnymi rovnicami alebo nerovnicami, teda v rovine ich môžeme znázorniť pomocou priamok alebo polrovín. Množina prípustných riešení bude prienikom týchto priamok a polrovín. (Berežný, Kravecová, 2012)

1.2.7 Simplexová metóda

Iteračný výpočtový postup pre nájdenie optimálneho riešenia úlohy lineárneho programovania sa nazýva simplexová metóda. Prvým bodom tohto algoritmu je nájdenie východiskového, základného riešenia úlohy lineárneho programovania. Potom simplexová metóda v ďalších krokoch nájde vždy nové základné riešenie s lepšou alebo aspoň rovnakou hodnotou účelovej funkcie. (Jablonský, 2002)

Rozlišujeme dve základné fázy výpočtu pomocou simplexovej metódy:

- 1. fáza – výpočet (nájdenie) východiskového základného riešenia,
- 2. fáza – iteračný postup za účelom optimalizácie účelovej funkcie. (Jablonský, 2002)

V prípade, že všetky obmedzenia úlohy lineárneho programovania sú definované ako nerovnice typu „ \leq “, je možné použiť jednofázovú simplexovú metódu. Takto získaná sústava rovníc v kanonickom tvare nám zjednodušuje získanie základného východiskového riešenia. (Jablonský, 2002)

Dvojfázová simplexová metóda vychádza z predpokladu, že nie sú všetky obmedzujúce podmienky úlohy lineárneho programovania v tvare „ \leq “. Vtedy je získanie základného riešenia podstatne zložitejšie. Až druhá fáza výpočtu sa potom zaoberá optimalizáciou účelovej funkcie. (Jablonský, 2002)

1.2.8 Vybrané druhy úloh lineárneho programovania

K najčastejším druhom úloh riešených pomocou lineárneho programovania sú zaradené distribučné úlohy, úlohy výrobného plánovania, rezný plán a iné. (Berežný, Kravecová, 2012)

1.2.8.1 Distribučné úlohy

Špecifickú skupinu rozhodovacích situácií, ktorých riešenie umožňujú modely lineárneho programovania tvoria:

- Klasické dopravné úlohy, kde sa hľadá najlepší spôsob prepravy tovaru alebo služieb medzi dodávateľmi a zákazníkymi centrami,
- Rozšírené dopravné úlohy, kde sa rieši distribúcia tovaru alebo služieb vo viacerých nadväzujúcich prepravných systémoch,
- Prirad'ovacie úlohy, kde sa prirad'ujú väčšinou výrobné úlohy jednotlivým pracoviskám.

Distribučné úlohy boli jednými z prvých aplikácií exaktných metód v riadení. Ich riešenie je relatívne jednoduché a aplikácia výsledkov prináša výrazné úspory nákladov. (Gros, 2003)

1.2.8.2 Rezné plány

Jednu skupinu rozhodovacích situácií tvoria problémy spojené s hľadaním optimálnej štruktúry tzv. rezných plánov. Ide o prípady, keď je potrebné deliť rozličné materiály na menšie časti napr. podľa operatívnych požiadaviek nadväzujúcich výrobných stupňov alebo na základe požiadaviek zákazníkov. Zvláštnosťou pri tvorbe modelov pre optimalizáciu rezných plánov je nevyhnutnosť generovať množinu všetkých možných riešení pre delenie štandardných dielov. (Gros, 2003)

1.2.8.3 Úlohy výrobného plánovania

Pri výrobnom plánovaní sa takmer vždy vyskytujú obmedzujúce podmienky, buď na strane vstupov alebo na strane výstupov. Pri vstupoch sa rieši kapacita, sortiment a dodacie lehoty surovín, kapacita ľudských zdrojov, strojov, energie a pod.. Na strane výstupov sú to obmedzenia zo strany odberateľov, ktoré určujú maximálny alebo minimálny objem produkcie, sortimentnú skladbu výroby a iné. Najčastejším cieľom optimalizácie býva maximalizácia zisku resp. minimalizácia nákladov. (Máca, Leitner, 2002)

1.2.9 Postup aplikácie lineárneho programovania

Ak sa zovšeobecní kvantitatívna analýza rozhodovacieho procesu a použije pri praktickej aplikácii lineárneho programovania postupuje sa v štyroch základných krokoch:

- Formulácia ekonomického modelu,
- Formulácia matematického modelu,
- Výpočet matematického modelu,
- Ekonomická alebo vecná interpretácia riešenia. (Dostál a kol., 2007)

1.2.9.1 Formulácia ekonomického modelu

Ekonomický model musí odrážať podstatné stránky analyzovanej problematiky vrátane jej kvantitatívnej charakteristiky. Situácia je popisovaná verbálne, avšak už s prihliadnutím na nutnosť prevodu ekonomického modelu na model matematický. Tvorba ekonomického modelu začína vymedzením a popisom procesov, ktoré v systéme prebiehajú a majú vplyv na definovaný cieľ. Z pohľadu vstupov a výstupov modelu sú to riaditeľné vstupy, ktoré tvoria v matematickom modeli rozhodovacie premenné. Nasleduje popis činiteľov, ktoré podstatne ovplyvňujú úroveň procesov. Neriaditeľné vstupy, ktoré v matematickom modeli vystupujú ako konštanty. Ďalšou fázou je definovanie cieľa, ktorý chceme pomocou ovplyvňovania určitých procesov dosiahnuť – stanovenie optimalizačného kritéria. A na koniec je taktiež dôležitý popis vzájomných vzťahov medzi procesmi, činiteľmi a cieľom. (Dostál a kol., 2007)

1.2.9.2 Formulácia matematického modelu

Pre vyriešenie ekonomického modelu je potrebné zostaviť matematický model, tj. každému procesu je v matematickom modeli priradená jedna rozhodovacia premenná, činiteľom zodpovedajú v matematickom modeli lineárne rovnice či nerovnice. Cieľ je v matematickom modeli lineárneho programovania vyjadrený lineárnou funkciou $z = f(x)$, ktorej extrém je potrebné nájsť. (Dostál a kol., 2007)

Doporučený postup pri formulácii matematického modelu:

- Analýza ekonomického modelu – uvedomiť si aké sú vzájomné vzťahy medzi parametrami ekonomického modelu (procesy, činitele, cieľ),

- Definícia rozhodovacích premenných – najpodstatnejší krok – stanoviť presný vecný význam premenných, ich rozmer a mernú jednotku. Je potrebné definovať koľko a akých číselných údajov potrebujeme poznať, aby sa úloha mohla považovať za vyriešenú. Jedna rozhodovacia premenná je určená pre jeden definovaný číselný údaj,
- Definícia obmedzení úlohy – stanoviť obmedzenia pomocou lineárnych rovníc alebo nerovnic. Prave strany rovníc uvádzajú obmedzené disponibilné množstvo činiteľov, ľavé strany uvádzajú ich potrebné množstvo,
- Definícia kritéria optimality – cieľ uskutočňovanej analýzy,
- Definícia obligátnych podmienok – vymedzenie definičného oboru premenných pomocou lineárnych rovníc alebo nerovnic. (Dostál a kol., 2007)

1.2.9.3 Výpočet matematického modelu

Schematicky možno úlohu matematického programovania, ktorá obsahuje s účelových funkcií, n rozhodovacích premenných a m ohraničujúcich podmienok zapísať takto:

Tabuľka 1: Výpočet matematického modelu
(Berežný, Kravcová, 2012)

sledované ciele (účelové funkcie)	$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min(\max)$ $f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min(\max)$ \dots $f_s(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min(\max)$
ohraničujúce podmienky	$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \geq = 0$ $g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \geq = 0$ \dots $g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \geq = 0$

1.2.9.4 Ekonomická alebo vecná interpretácia riešenia

Predstavuje veľmi dôležitú fázu, v ktorej je nutné vypočítané výsledky interpretovať tak, aby boli zrozumiteľné pre všetky zainteresované strany. Z týchto výsledkov vyvodíť praktické závery, ktoré povedú k správnomu rozhodnutiu. (Dostál a kol., 2007)

1.3 Problematika riadenia a plánovania výroby

V rámci podniku výroba slúži k produkcii materiálnych a nemateriálnych statkov, ktoré zodpovedajú trhovému dopytu. Výroba tovaru je spojená s konkrétnym výstupom (output). Výstup vzniká tým, že vstupné faktory (input) sa podrobia transformačným procesom. Ak má tento transformačný proces prispieť k premene materiálu na konečný produkt, vyžaduje ku svojej realizácii účasť pracovnej sily, ľudského výkonu a podnikových prostriedkov (nástroje, stroje, počítače, prípravky, atď.). (Tomek, Vávrová, 1999)

1.3.1 Transformačný proces fyzického výkonu

V rámci jednotlivých pracovných postupov pri výrobe vecných produktov je transformačný proces fyzického výkonu kombináciou materiálového a informačného toku. Pri procese vstup - výstup sú predovšetkým dôležité vzťahy, ktoré vznikajú medzi merateľným umiestnením faktoru (vstup) a množstvom vyrobených výsledných produktov (výstup). (Tomek, Vávrová, 1999)

Faktory, ktoré ovplyvňujú proces transformácie majú nasledovnú štruktúru:

- Vstupný materiál – spotreba, množstvo,
- Diely – množstvo dielov, čas práce, kapacita zariadenia, väzba na vyššie časti,
- Zostavy – množstvo zostáv, čas práce, kapacita zariadenia, väzba na vyššie časti,
- Finálny výrobok – množstvo výrobkov, čas práce, kapacita zariadenia. (Tomek, Vávrová, 1999)

Pri pohľade na tento výrobný proces je potrebné vytvorenie príslušných dokumentov technickej prípravy výrobku, technologických postupov a z nich odvodené normatívne základne, určujúce spotrebu času práce, pracovnej sily, energie, náradia, prípravkov, materiálu, vyrábaných polotovarov, kapacít strojov a zariadení. (Tomek, Vávrová, 1999)

1.3.2 Špecifiká zákazkovej výroby

V praxi sa stretávame s rôznymi typmi výrobných systémov. Všeobecný model, ktorý vychádza z princípu vstup – priebeh procesu – výstup rozlišuje výrobné systémy podľa vzťahu k programu, procesu a vstupom.

Vlastnosti výrobného programu ovplyvňuje:

- počet druhov výrobkov – rozsah sortimentu,
- množstvo výrobkov vyrábaných súčasne,
- vzťah výroby k odbytu – zákaznícka výroba (na základe objednávky), výroba pre trh (podľa prieskumu trhu). (Tomek, Vávrová, 1999)

Pri kusovej – zákazkovej výrobe je individuálny produkt tvorený na základe zákazníkovej požiadavky, konkrétny druh, termín výroby, spôsob dodania. Výrobné zariadenie a personál vyžaduje vysokú mieru flexibility. Problém riadenia výroby je predovšetkým v malej možnosti predpovede požiadaviek a v dodacích lehotách vstupov. Pri malosériovej výrobe sa produkuje obmedzený počet rovnakých výrobkov a problémom je zoradenie výrobných zariadení pred novou sériou, čo predpokladá určitú flexibilitu zariadení. (Tomek, Vávrová, 1999)

V reálnej zákazkovej výrobe je možné sa stretnúť s množstvom špecifických požiadaviek. Často pred začatím výroby nie sú známe všetky zákazky, ktoré sa majú spracovať alebo prichádzajú náhodne počas doby, keď prebieha výroba predchádzajúcich produktov. Vtedy je vhodné zapracovanie novej objednávky do rozvrhu on-line. V neposlednom rade sa vo výrobe často vyskytuje množstvo neurčitých vstupných údajov. (Majer, 2003)

1.4 Doplnok Riešiteľ a VBA

Riešiteľ je doplnkový program Microsoft Excel, ktorý môžeme použiť na analýzu typu čo-ak. Riešiteľ sa používa na nájdenie optimálnej, maximálnej alebo minimálnej hodnoty pre vzorec v jednej bunke - nazývanej cieľová bunka - podliehajúci obmedzeniam alebo limitom na hodnoty ostatných buniek vzorca na pracovnom hárku. Riešiteľ pracuje so skupinou buniek, ktorá sa nazýva rozhodovacie premenné alebo jednoducho premenlivé bunky. Tie sa používajú pri výpočte vzorcov v cieľových a obmedzujúcich bunkách. Riešiteľ upravuje hodnoty v bunkách rozhodovacej premennej tak, aby vyhovovali obmedzeniam v bunkách obmedzení a produkovali výsledok, ktorý chceme dosiahnuť pre cieľovú bunku. (Define and solve a problem by using Solver, 2019)

Balík aplikácie Office obsahuje množstvo funkcií. Existuje veľa rôznych spôsobov, ako vytvárať, formátovať a manipulovať s dokumentmi, e-mailom,

databázami, formulármi, tabuľkami a prezentáciami. Veľkou výhodou programovania VBA v MS Office je to, že takmer každú operáciu, ktorú môžete vykonať pomocou myši, klávesnice alebo dialógového okna, môžete vykonať aj pomocou VBA. Ak sa to dá urobiť raz pomocou VBA, dá sa to urobiť rovnako ľahko stokrát. V skutočnosti je automatizácia opakujúcich sa úloh jedným z najbežnejších spôsobov použitia VBA. (Getting started with VBA in Office, 2020)

Okrem možnosti skriptovania VBA na urýchlenie každodenných úloh môžeme pomocou VBA pridať nové funkcie do aplikácie balíka Office alebo na podnietenie a interakciu s používateľom našich dokumentov spôsobom, ktorý je špecifický pre naše potreby. Napríklad by sa mohol napísať nejaký kód VBA, ktorý zobrazí kontextovú správu, ktorá používateľom pripomína, aby uložili dokument na konkrétnu sieťovú jednotku pri prvom pokuse o uloženie. (Getting started with VBA in Office, 2020)

2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

V druhej časti práce charakterizujeme skúmaný podnik. Priblížime jeho výrobný program, analyzujeme jeho tržby a zisk v posledných troch rokoch. Skúmame taktiež kalkulovanú rentabilitu jednotlivých výrobkov. Venujeme sa výrobným procesom prebiehajúcim vo firme, ktoré zabezpečujú jednotlivé skupiny zamestnancov. Spracúvame získané dáta o normohodinách pre jednotlivé druhy výrobkov. Zhromaždíme údaje o spotrebe materiálu pre jednotlivé výrobky a informácie o výške kalkulovaného zisku k príslušným produktom. V závere definujeme problém, ktorý bude riešený v ďalšej časti práce.

2.1 Charakteristika spoločnosti

Firma KOVO-JANČI, s.r.o. je výrobcom nerezového programu pre vinársky, chemický a potravinársky priemysel. Na českom trhu je etablovaná od roku 2009. Hlavným výrobným programom podniku je výroba nerezových nádrží na zákazku v objemoch od 50 do 100 000 litrov.

Produkuje taktiež tlakové nádoby a technologické zariadenia pre malé pivovary, kde je v súčasnosti zaznamenaný veľký boom a podnik patrí k najvýznamnejším producentom v tomto segmente v strednej Európe. Nádrže pre pivovary podnik dodáva v rámci celého európskeho regiónu, a to od Cypru až po Francúzske alpy i na sever do Švédska. V priebehu posledných rokov firma vybavila svojimi zariadeniami viac ako 80 pivovarov.

Pre potreby vinárov a vinárstiev spoločnosť vyrába podľa individuálnych požiadaviek kompletný sortiment, a to skladovacie nádrže, maceračné nádrže, vinifikátory, odkaľovacie nádrže, kvasné nádrže, násypky, vane a zberné vozy.

Pre potravinársky priemysel podnik vyrába špeciálne nádrže vybavené miešadlami, ohrevom alebo chladením pre čokoládovne, pekárne a cukrovary.

Špecifickou zákazkou podniku je výroba nerezovej nádrže a univerzálneho kontajnera na pitnú vodu určeného pre armádu Českej republiky.

Výroba prebieha v zrekonštruovaných výrobných halách. Pri výrobe sa používajú moderné technológie a strojné zariadenia na spracovanie nerezu.



*Obrázok 3: Ukážka technológie pivovaru
(Zdroj: podklady firmy)*

2.2 Analýza štruktúry výroby

Štruktúru výroby podniku môžeme rozdeliť do troch základných skupín. Prvú skupinu tvorí výroba pre rakúske firmy, ktorá pozostáva z produkcie skladovacích nádrží na víno rôznych objemov, vinifikátorov rôznych objemov, LWS vozov na hrozno, zberných vozov na hrozno, pívne nádrže rôznych objemov, skladovacie nádrže na vodu, chemikálie a iné. Pri tejto skupine výrobkov zákazník dodáva základný materiál. Výkony podniku sú ocenené jednotnou sadzbou stanovenou na normohodinu práce. Táto sadzba pokrýva mzdové, personálne, režijné náklady podniku a je v nej kalkulovaný aj zisk.

Druhú skupinu výrobkov predstavujú vybavenie pivovarov. Firma produkuje tri základné druhy nádrží v rôznych objemoch. Nádrž BLT je klasický ležiacky pivný tank, ktorý slúži na skladovanie a následné čapovanie piva a vyrába sa v objemoch 500, 1000 a 2000 litrov. Nádrž DX BLT je dvojplášťový ležiacky tank určený na dokvasovanie a odležanie piva. Tieto nádrže sa vyrábajú v objemoch 1000 a 2000 litrov. Nádrž CK BLT je cilindrokónický pivný tank s kužeľovitým dnom určený na výrobu vrchne kvaseného piva a výrobu pivných špeciálov. Produkuje sa v objemoch 600 a 1750 litrov. Podnik zabezpečuje kompletnú výrobu týchto nádrží vrátane materiálu, práce, všetky režijné náklady až po záverečné tlakové skúšky hotových výrobkov. Firma zabezpečuje aj montáž týchto zariadení priamo u zákazníka.

Poslednú skupinu tvoria špecifické zákazky. Tu patria veľkoobjemové nádrže na vodu. Špeciálne nádrže s miešadlami, s ohrevom alebo chladením používané v chemickej výrobe alebo potravinárstve (cukrovary, čokoládovne, konzervárne).

Taktiež tu patrí špeciálna nádrž osádzaná do lodného kontajnera určená na pitnú vodu pre Armádu Českej republiky. Spoločnosť taktiež zabezpečuje kompletnú výrobu týchto nádrží vrátane materiálu, práce, všetky režijné náklady.

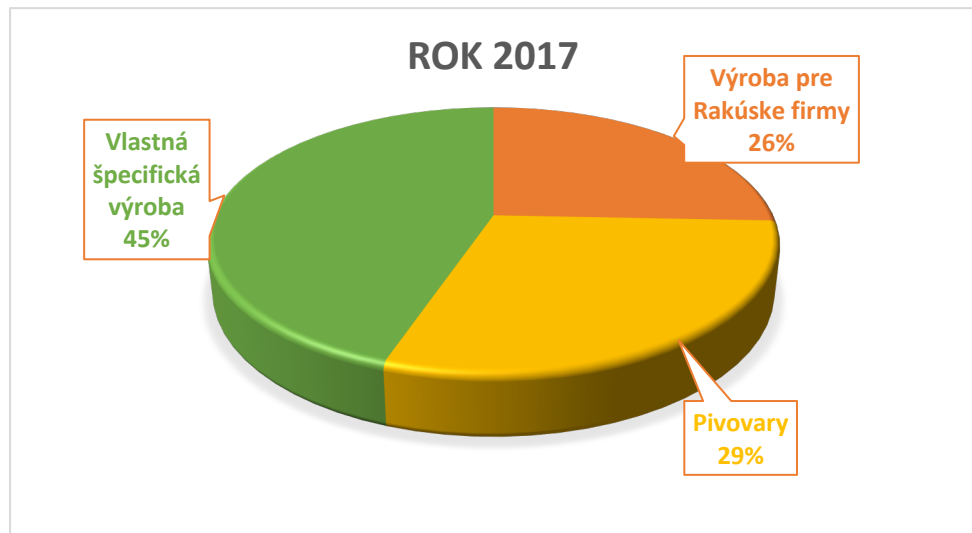
Vývoj tržieb podniku v posledných troch rokoch podľa jednotlivých skupín výrobkov a taktiež výška dosiahnutého zisku je uvedená v tabuľke 2.

*Tabuľka 2 Vývoj tržieb a zisku podniku v Kč
(Zdroj: vlastné spracovanie)*

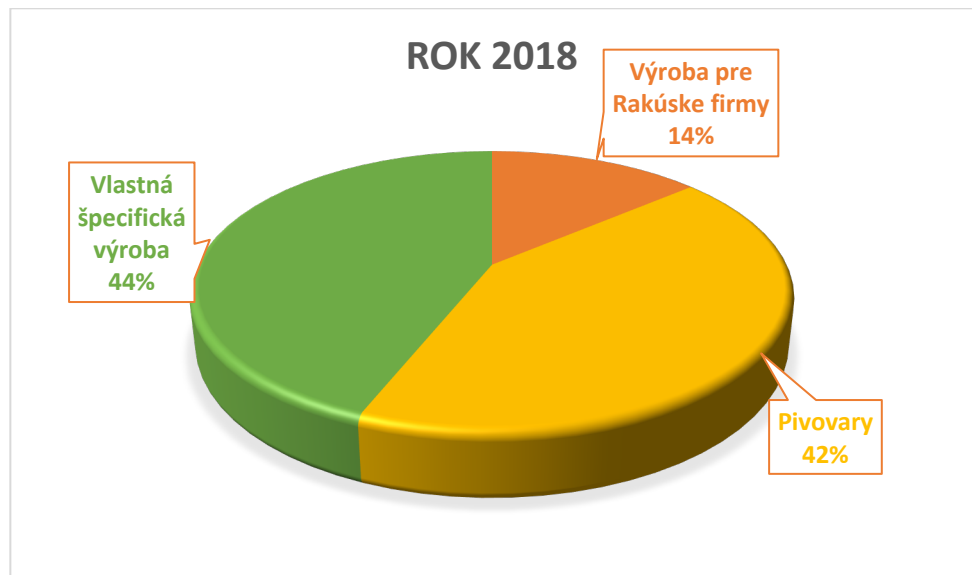
Položka	Rok 2017	Rok 2018	Rok 2019
Výroba pre rakúske firmy	7 069 161	3 812 270	7 126 143
Pivovary	8 163 880	11 698 464	6 344 336
Vlastná špecifická výroba	12 340 407	12 128 156	15 014 768
Tržby celkom	27 573 448	27 638 890	28 485 247
Zisk	666 877	2 395 099	2 554 461

Tržby podniku v posledných troch rokoch postupne rástli. Výraznejší medziročný nárast však nastal medzi rokmi 2018 a 2019. Napriek tomu, že rozdiely v tržbách nie sú veľmi výrazné, ziskovosť v roku 2017 bola neúmerne nízka. Bolo to spôsobené jednak nepriaznivým stavom zásob vytvorených vlastnou činnosťou, ale aj nerovnomerným rozvrhnutím výroby, ktorý produkoval ďalšie náklady. Podnik bol nútený v čase nadmernej kumulácie zákaziek preplácať nadčasy zamestnancom a naopak, pri nedostatku práce hradiť zamestnancom prestoje.

Keď sa pozrieme na štruktúru tržieb v jednotlivých kalendárnych rokoch podľa troch základných zadaných skupín, najnižší podiel predstavujú zákazky pre rakúske firmy. Týka sa to však len podielu na tržbách, nie však podielu na výrobných kapacitách podniku. Ako sme už vyššie uviedli tieto tržby sú bez materiálových nákladov, keďže zákazník dodáva vlastný materiál na výrobu. Podnik má dlhodobé zmluvy s rakúskymi firmami, ktoré zaplnia minimálne 35% celkovej výrobných kapacít.

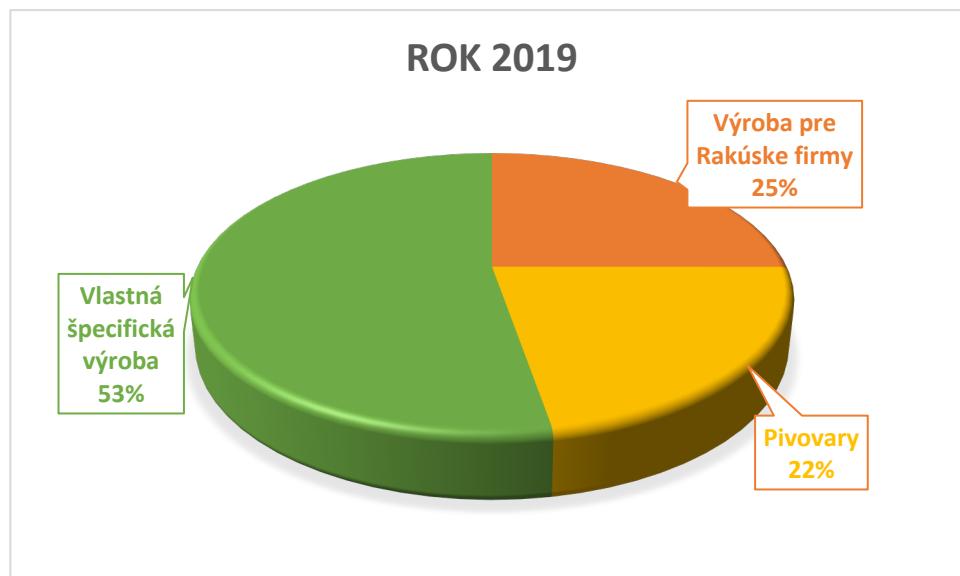


*Graf 1 Štruktúra výroby za rok 2017 v %
(Zdroj: vlastné spracovanie)*



*Graf 2 Štruktúra výroby za rok 2018 v %
(Zdroj: vlastné spracovanie)*

V roku 2018 výrazne narástol podiel výroby pivovarov. V Európe nastal boom v zriaďovaní mini pivovarov. Výrobky sa dodávali nie len do ČR, ale aj na Slovensko, do Švédska a do Francúzska.



*Graf 3 Štruktúra výroby za rok 2019 v %
(Zdroj: vlastné spracovanie)*

V roku 2019 mala najväčší podiel na tržbách vlastná špecifická výroba. Kedy sa vyrábali špeciálne nádrže pre cukrovary a chemický priemysel, ktoré sú náročné jednak na materiál a jednak na prácu. Taktiež sa v tomto roku začala produkcia nádrží na pitnú vodu pre armádu.

Štruktúra výroby v uplynulom roku podľa jednotlivých druhov najbežnejšie vyrábaných výrobkov je zachytená v nasledujúcej tabuľke.

*Tabuľka 3 Štruktúra výroby v ks za rok 2019
(Zdroj: vlastné spracovanie)*

Výrobok	Počet ks za rok 2019
WLT 6500L	16
MGT 8500L	16
LWS 12 000L	9
WLT 8300L	12
MGT 4000L	18
LWS 6500L	19
BLT 1000L	45
DX BLT 1000L	18
CK BLT 1000L	21
DX BLT 2000L	11
Nádrž pre armádu na vodu	1

Výrobok	Počet ks za rok 2019
BLT 500L	35
BLT 2000L	21
CK BLT 600L	43
CK BLT 1750L	11
Nádrž pre cukrovar	4

V tomto roku sa vyrobil veľký počet nádrží pre pivovary v rôznych objemoch. Bola vyrobená prvá veľkoobjemová nádrž na vodu pre armádu a firma uzavrela zmluvu na dodávku ďalších nádrží v nasledujúcich rokoch. Čo sa týka vlastnej špecifickej výroby, okrem nádrží pre cukrovary sa môže vyskytnúť aj iný jedinečný produkt, napr. nádrž na spracovanie chemických látok, veľkoobjemové nádrže na zásobovanie vodou, nádrže na spracovanie potravín. Tieto výrobky som už do skupiny najbežnejšie vyrábaných nezahrnul, lebo sa v danom roku nevyrábali. Dajú sa však do pripravovaného modelu doplniť.

2.3 Rentabilita jednotlivých výrobkov

Na základe technickej dokumentácie – výkresov jednotlivých výrobkov podnik pristupuje ku kalkulácii cien. Prepočítava spotrebu základného a pomocného materiálu, stanovuje normohodiny práce a ostatné režijné náklady. Konečná cena výrobku zahŕňa aj kalkulovaný zisk.

Tabuľka 4 Kalkulovaný zisk v Kč/ks
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	Kalkulovaný zisk	Výrobok	Kalkulovaný zisk
WLT 6500L	5 636	WLT 8300L	6 431
MGT 8500L	10 608	MGT 4000L	6 829
LWS 12 000L	12 597	LWS 6500L	6 630
BLT 1000L	7 287	BLT 500L	5 987
DX BLT 1000L	15 830	BLT 2000L	12 400
CK BLT 1000L	16 930	CK BLT 600L	14 734
DX BLT 2000L	17 730	CK BLT 1750L	21 900
Nádrž na vodu pre armádu	53 800	Nádrž pre cukrovar	25 680

Aj keď sa podniku podarí zazmluvniť kalkulované ceny výrobkov vrátane zisku, konečná celková ziskovosť podniku je nižšia ako podnik očakával.

2.4 Výrobná kapacita podniku

Firma zamestnáva v priemere 17 výrobných zamestnancov v jednozmennej prevádzke s osem hodinovým pracovným časom. Pri priemernom počte 251 odpracovaných dní v kalendárnom roku má teda podnik ročný využiteľný fond pracovného času v rozsahu 34 136 hodín.

Podľa charakteru výrobného procesu sú výrobní zamestnanci rozdelení do troch skupín v závislosti na ich špecializácií. Prvou výrobnou skupinou sú zamestnanci zabezpečujúci hrubú základnú výrobu. Druhú skupinu tvoria zamestnanci, ktorí vykonávajú špeciálne ručné zváranie. Tretou skupinou sú kompletizační zamestnanci.

Hrubá základná výroba pozostáva z prípravy základného materiálu podľa technickej dokumentácie napr. rezanie nerezového plechu, povrchová úprava, príprava dna a víka nádrže, zváranie na pozdĺžnom automate, zrolovanie do požadovaného tvaru nádrže, bodové zváranie dna a víka.

Špeciálne ručné zváranie sa vykonáva využitím metód TIG a MIG – MAG. Na predpripravený výrobok sa zváraním pripevňujú rôzne vpusty, výpusty, dvere, stavoznaky, nohy, miešadlá a iné potrebné komponenty podľa technickej dokumentácie.

Kompletizační zamestnanci majú na starosti čistenie zvarov pomocou pulírky a následne chemickým čistením pastou, umývanie špeciálnym šampónom na zabránenie korózie. Spolupracujú pri vykonávaní tlakových skúšok. Následne pripravujú výrobky na expedíciu, ktorá pozostáva z uloženia výrobku najčastejšie na paletu a jeho zabezpečenie proti poškodeniu pri preprave.

Pre každý výrobok samostatne firma vypracováva normohodiny práce potrebné na jeho zhotovenie.

Tabuľka 5 Normohodiny práce na vybrané výrobky
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	Počet hodín práce	Výrobok	Počet hodín práce
WLT 6500L	85	WLT 8300L	97
MGT 8500L	160	MGT 4000L	103
LWS 12 000L	190	LWS 6500L	100
BLT 1000L	50	BLT 500L	35
DX BLT 1000L	85	BLT 2000L	75
CK BLT 1000L	100	CK BLT 600L	72
DX BLT 2000L	95	CK BLT 1750L	125
Nádrž pre armádu na vodu	274	Nádrž pre cukrovar	192

Na základe zmlúv a objednávok firma zaradzuje jednotlivé zákazky do plánu výroby. Je limitovaná dodacími lehotami na jednej strane a výrobnou kapacitou firmy na druhej strane. Pričom rozhodujúca je kapacita ľudskej práce, keďže stroje bez ľudskej obsluhy nie sú schopné vykonať takmer žiaden samostatný úkon.

2.5 Riadenie zásob vstupného materiálu

V rámci manažmentu zásob berie firma do úvahy dva základné parametre. Prvým je dostatočný objem zásob potrebný na zabezpečenie plynulosti výroby. Druhým je objem finančných prostriedkov viazaných v zásobách. Cieľom je nájsť optimálnu rovnováhu medzi týmito parametrami a to tak, aby sa nenarušila finančná stabilita podniku.

Tabuľka 6 Normovaná spotreba materiálu v kg/ks
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	Materiál v kg
WLT 6500L	0
MGT 8500L	0
LWS 12 000L	0
WLT 8300L	0
MGT 4000L	0
LWS 6500L	0
BLT 1000L	160

Výrobok	Materiál v kg
DX BLT 1000L	193
CK BLT 1000L	235
DX BLT 2000L	280
Nádrž na vodu pre armádu	4 200
BLT 500L	118
BLT 2000L	258
CK BLT 600L	164
CK BLT 1750L	254
Nádrž pre cukrovar	3 760

Spotreba základného materiálu v tabuľke 6 predstavuje spotrebu nerezového plechu rôznej šírky a hrúbky, ktorými firma disponuje v rámci bežných skladových zásob. Ako sme už vyššie uviedli, materiál na niektoré druhy výrobkov dodáva priamo zákazník, preto sú v tabuľke uvedené aj nulové hodnoty.

2.6 Charakteristika problému

Firma pri zaradzovaní zákaziek do výroby postupuje odhadom na základe predchádzajúcich skúseností. Nie vždy sa však podarí optimálne naplniť výrobnú kapacitu a na druhej strane dodržať lehoty požadované zákazníkmi. Tak vznikajú dodatočné náklady v podobe nadčasov, víkendovej práce. Ak je práca nerovnomerne rozvrhnutá, môžu vzniknúť náklady z platených prestojov. V niektorých prípadoch musí podnik zaplatiť sankcie za nedodržanie dodacích lehôt.

Podnik v predchádzajúcom období dosahoval zisk, ale bol nižší ako firma pôvodne očakávala. Ako firme pribúdali skúsenosti postupne rástla aj ziskovosť, ale na základe uskutočnenej analýzy vidím priestor pre zlepšenie.

Dopyt po výrobkoch firmy presahuje jej kapacitné možnosti. Momentálne nie je veľa odvetví výroby, ktoré by mali takéto podmienky na trhu ako mnou skúmaná firma. Preto by bolo vhodné túto trhovú situáciu naplno využiť.

V tejto firme som pracoval vo výrobe počas letných prázdnin. Oboznámil som sa s jej fungovaním. Aj na základe týchto skúseností som bol firmou požiadaný

o vypracovanie modelu, ktorý by pomohol pri lepšom plánovaní výroby a prispel tak k lepšiemu využitiu výrobnej kapacity podniku.

2.7 Sumarizácia vstupných údajov

Z údajov získaných analýzou firmy, kde sme skúmali štruktúru výroby a procesy prebiehajúce v podniku, pripravím teraz podklady potrebné pre uplatnenie modelu lineárneho programovania.

Vypracovanie ročného plánu výroby v skúmanom podniku nie je reálne. Dlhodobé zákazky sú skôr výnimkou. Spoločnosť má dlhodobú zmluvu na dodávku nádrží na pitnú vodu pre armádu (každý štvrťrok jednu nádrž). Podobne je to aj s nádržami pre cukrovary, kde je požadovaná dodávka štyroch kusov za rok. U ostatných zákaziek prichádzajúcich priebežne sa pohybujú dodacie lehoty od jedného do troch mesiacov. Z tohto dôvodu som sa rozhodol vytvoriť optimalizačný model na využitie výrobnej kapacity na štvrťroky.

Tabuľka 7 Podkladové údaje pre tvorbu modelu na 1ks
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg
WLT 6500L	85	5 636	0
MGT 8500L	160	10 608	0
LWS 12 000L	190	12 597	0
WLT 8300L	97	6 431	0
MGT 4000L	103	6 829	0
LWS 6500L	100	6 630	0
BLT 1000L	50	7 287	160
DX BLT 1000L	85	15 830	193
CK BLT 1000L	100	16 930	235
DX BLT 2000L	95	17 730	280
Nádrž na vodu pre armádu	274	53 800	4 200
BLT 500L	35	5 987	118
BLT 2000L	75	12 400	258
CK BLT 600L	72	14 734	164
CK BLT 1750L	125	21 900	254
Nádrž pre cukrovar	192	25 680	3 760

Na základe analýzy výroby v predchádzajúcich obdobiach môžeme konštatovať, že podnik v rámci jedného kvartálu produkuje šesťnásť základných druhov výrobkov uvedených v tabuľke 7. Tieto výrobky využívam pri tvorbe optimalizačného modelu. Pripravený model bude dostatočne variabilný na to, aby sa do neho dali zapracovať aj iné výrobky.

V rámci jedného štvrťroka podnik disponuje výrobnou kapacitou v rozsahu 8 534 hodín práce, ktorá vychádza z ročného fondu pracovnej doby a priemerného počtu výrobných zamestnancov.

Priemerné zásoby základného vstupného materiálu, t.j. nerezového plechu, za jeden štvrťrok sa pohybujú na úrovni 25 000 kg.

3 VLASTNÉ NÁVRHY RIEŠENIA, PRÍNOS NÁVRHOV RIEŠENÍ

Táto kapitola je venovaná spracovaniu získaných údajov a vytvoreniu modelu optimalizácie pomocou lineárneho programovania. Popísal som ekonomický problém vo firme. Získané údaje som previedol do matematického modelu zápisom lineárnych rovníc a nerovnic. V prostredí MS Excel som nastavil základné parametre modelu. V dialógovom okne doplnku Riešiteľ som nastavil obmedzenia a spustil výpočet. Taktiež som vypracoval štyri varianty modelu pre jednotlivé štvrťroky. Následne som interpretoval získané výsledky. Pomocou jazyka VBA som vytvoril užívateľský formulár a optimalizačný model predstavil firme.

3.1 Definícia ekonomického problému

Podnik v predchádzajúcom období nedosiahol požadovanú ziskovosť. Ako jednu z možných príčin sme určili nerovnomerné využitie výrobných kapacít. Keďže dopyt po výrobkoch firmy presahuje jej kapacitné možnosti, je možné pracovať s rozvrhovaním výroby tak, aby boli efektívnejšie využité zdroje firmy.

Dopyt po výrobkoch firmy a teda aj štruktúra výroby podlieha sezónnym zmenám. Za plánovacie obdobie som zvolil kalendárny štvrťrok. Za týmto účelom vypracujem štyri varianty modelu, ktorými bude možné lepšie navrhnúť optimálnu štruktúru výroby v závislosti od sezónnych zmien. V jarnom a letnom období je vyšší dopyt od vinárov. Pivovary a iné druhy výrobkov majú vyššiu produkciu v zimnom období.

Veľmi zriedka sa stáva, že zákazka obsahuje len jeden kus nádrže. Väčšinou je to kombinácia viacerých nádrží s rôznym objemom. Najčastejšie požadovanými kombináciami sú napríklad:

- Pivovar1- BLT 1000L 4ks, DX BLT 1000L 2ks, CK BLT 600L 4ks,
- Pivovar2 – CK BLT 1750L 2ks, BLT 2000L 3ks, DX BLT 2000L 2ks,
- Vinárstvo1 – WLT 6500L 2ks, WLT 8300L 5ks,
- Vinárstvo2 – MGT 8500L 4ks , MGT 4000L 6ks,
- Vinárstvo3 – LWS 12000L 3ks, LWS 6500L 5ks.

Vychádzajúc z týchto údajov a predchádzajúcich skúsenosti firmy budem v ďalšej časti práce stanovovať obmedzenia pre jednotlivé výrobky v optimalizačnom modeli.

Mojím cieľom je vytvoriť model, ktorý prispeje k maximalizácii zisku pri optimálnom využití výrobných kapacít a zásob materiálu. To dosiahnem vhodnou kombináciou výrobkov a ich vyrábaným množstvom v plánovanom období.

3.1.1 Variant 1

V prvom štvrtroku firma rezervuje 35% svojej výrobných kapacít t.j. 2 987 hodín práce pre rakúske firmy. K dispozícii je 25 000 kg základného materiálu – nerezového plechu. Na kvartál pripadá 8 534 hodín práce pri priemernom počte 17 výrobných zamestnancov. Obmedzenia pre jednotlivé druhy výrobkov vychádzajú zo skúsenosti za rovnaké obdobie minulých rokov, napr.:

- Vínná nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 6ks,
- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 5ks,
- Voz na víno LWS 12000L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 4ks,
- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 13ks,
- Pivný tank BLT 2000L sa nemusí vyrobiť žiaden, najviac však 7ks,
- Cylindrický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 12ks.

3.1.2 Variant 2

V druhom štvrtroku sa objem výroby pre rakúske firmy zvýši na 40% výrobných kapacít, t.j. 3 414 hodín práce. Keďže vzrastie podiel výroby pre Rakúsko, zníži sa spotreba základného materiálu. Firma drží tieto zásoby v objeme 20 000 kg. Celkový disponibilný počet hodín práce sa nezmení. V druhom kvartáli sú obmedzenia pre počty vybraných výrobkov nasledujúce:

- Vínná nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 5ks,
- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 7ks,
- Voz na víno LWS 12000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 4ks,
- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 9ks,
- Pivný tank BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 3ks, najviac však 7ks,

- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 8ks.

3.1.3 Variant 3

V treťom štvrtroku pretrvávajú základné obmedzenia modelu na rovnakej úrovni ako v 2 štvrtroku. Modifikované sú obmedzenia pre počty jednotlivých vybraných druhov výrobkov:

- Vínna nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 4ks a najviac 9ks,
- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 6ks,
- Voz na víno LWS 12000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 4ks,
- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 9ks,
- Pivný tank BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 4ks, najviac však 8ks,
- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 9ks.

3.1.4 Variant 4

Štvrtý kvartál je v základných obmedzeniach modelu najviac podobný prvému zimnému štvrtroku. Sú však zmenené obmedzenia počtov jednotlivých druhov výrobkov, z ktorých uvádzam:

- Vínna nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 4ks,
- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 6ks,
- Voz na víno LWS 12000L sa nemusí vyrobiť žiaden ale najviac 2ks,
- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 11ks,
- Pivný tank BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 1ks, najviac však 6ks,
- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 4ks a najviac 9ks.

3.2 Definovanie matematického modelu

V tejto časti som pristúpil k stanoveniu počtu a typov premenných, ktoré sú nevyhnutné pre úspešné vyriešenie stanoveného problému. Následne upresním a matematicky vyjadrím obmedzenia, ktoré boli slovne sformulované v predchádzajúcej

časti. V rámci vytváraného modelu som za účelom priblíženia vypočítaných údajov realite nasimuloval štyri varianty výpočtov pre každý štvrtrok.

Tento model bude pracovať so 16-timi druhmi výrobkov, budem teda pri riešení modelu používať 16 premenných x_i . Tieto budú predstavovať navrhovaný počet jednotlivých druhov výrobku pri akceptácii obmedzení a cieľa modelu, t.j. maximalizácie zisku.

Všetky známe obmedzenia zapíšem do lineárnych rovníc alebo nerovnic, čím získam matematické vyjadrenie obmedzujúcich podmienok.

3.2.1 Variant 1

Pre prvý štvrtrok v kalendárnom roku som vypracoval variant 1 modelu. V tomto období je zvyčajne nižší podiel výroby pre rakúske firmy, kde sa pracuje s materiálom zákazníka. Viac sa produkujú nádrže pre pivovary prípadne iné druhy výrobkov. Od toho sa odvíjajú aj vyššie nároky na spotrebu materiálu, keďže materiál na tieto výrobky dodáva firma.

Tabuľka 8 Zostavený matematický model – variant 1
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg	Počty výrobkov
WLT 6500L	85	5 636	0	2
MGT 8500L	160	10 608	0	5
LWS 12 000L	190	12 597	0	4
WLT 8300L	97	6 431	0	3
MGT 4000L	103	6 829	0	7
LWS 6500L	100	6 630	0	7
BLT 1000L	50	7 287	160	10
DX BLT 1000L	85	15 830	193	6
CK BLT 1000L	100	16 930	235	8
DX BLT 2000L	95	17 730	280	4
Nádrž pre armádu na vodu	274	53 800	4 200	1
BLT 500L	35	5 987	118	13
BLT 2000L	75	12 400	258	7
CK BLT 600L	72	14 734	164	12

CK BLT 1750L	125	21 900	254	5
Nádrž pre cukrovar	192	25 680	3 760	1

Pre variant 1 sú stanovené nasledujúce podmienky a obmedzenia:

Maximálny počet hodín za štvrt'rok je 8 534

$$85x_1 + 160x_2 + 190x_3 + 97x_4 + 103x_5 + 100x_6 + 50x_7 + 85x_8 + 100x_9 + 95x_{10} + 274x_{11} + 35x_{12} + 75x_{13} + 72x_{14} + 125x_{15} + 192x_{16} \leq 8\,534$$

Maximálna možná spotreba základného materiálu je 25 000 kg za štvrt'rok

$$160x_7 + 193x_8 + 235x_9 + 280x_{10} + 4200x_{11} + 118x_{12} + 258x_{13} + 164x_{14} + 254x_{15} + 3760x_{16} \leq 25\,000$$

Objem výroby pre rakúske firmy je minimálne 2 987 hodín kvartálne, t.j. min. 35 %

$$85x_1 + 160x_2 + 190x_3 + 97x_4 + 103x_5 + 100x_6 \geq 2\,987$$

Teraz matematicky vyjadrím obmedzenia pre jednotlivé druhy výrobkov:

- Vínna nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 6ks

$$2 \leq x_1 \leq 6$$

- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 5ks

$$1 \leq x_2 \leq 5$$

- Voz na víno LWS 12000L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 4ks

$$2 \leq x_3 \leq 4$$

- Vínna nádrž WLT 8300L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 8ks

$$3 \leq x_4 \leq 8$$

- Vinifikátor MGT 4000L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 7ks

$$2 \leq x_5 \leq 7$$

- Voz na víno LWS 6500L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 8ks

$$1 \leq x_6 \leq 8$$

- Pivný tank BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 4ks a najviac 10ks

$$4 \leq x_7 \leq 10$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 6ks

$$1 \leq x_8 \leq 6$$

- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 4ks a najviac 8ks

$$4 \leq x_9 \leq 8$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 2000L sa nemusí vyrobiť žiaden, najviac však 4ks

$$0 \leq x_{10} \leq 4$$

- Nádrž na vodu pre armádu sa vyrobí každý štvrtrok jeden kus

$$x_{11} = 1$$

- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 13ks

$$5 \leq x_{12} \leq 13$$

- Pivný tank BLT 2000L sa nemusí vyrobiť žiaden, najviac však 7ks

$$0 \leq x_{13} \leq 7$$

- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 12ks

$$5 \leq x_{14} \leq 12$$

- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 1750L sa nemusí vyrobiť žiaden, najviac však 5ks

$$0 \leq x_{15} \leq 5$$

- Nádrž pre cukrovar sa vyrobí každý štvrtrok jeden kus

$$x_{16} = 1$$

Okrem týchto obmedzení je nutné aby premenné nadobúdali len kladné hodnoty (podmienka nezápornosti)

$$x_1 \dots x_{16} \geq 0$$

Taktiež hodnoty premenných musia byť celočíselné (nedá sa vyrobiť časť výrobku)

$$x_1 \dots x_{16} \in Z$$

V poslednom kroku definujem účelovú funkciu – kritérium optimality, ktorú budem výpočtom maximalizovať. Mojm cieľom je maximalizovať zisk podniku

$$5\ 636x_1 + 10\ 608x_2 + 12\ 597x_3 + 6\ 431x_4 + 6\ 829x_5 + 6\ 630x_6 + 7\ 287x_7 + 15\ 830x_8 + 16\ 930x_9 + 17\ 730x_{10} + 53\ 800x_{11} + 5\ 985x_{12} + 12\ 400x_{13} + 14\ 736x_{14} + 21\ 900x_{15} + 25\ 680x_{16} \Rightarrow MAX$$

3.2.2 Variant 2

Pre druhý kvartál som vypracoval variant 2. V tomto období pribúdajú zákazky od rakúskych firiem, lebo vinári sa začínajú pripravovať na sezónu. Objem zakaziek pre tieto firmy v tomto období dosahuje minimálne 40% výrobnnej kapacity.

Tak ako pri variante 1 ostáva nezmenený maximálny počet hodín za štvrtrok, taktiež ostáva nezmenená účelová funkcia, podmienka nezápornosti a celočíselnosti. Menia sa však ďalšie podmienky a obmedzenia pre jednotlivé druhy výrobkov:

Maximálna možná spotreba základného materiálu je 20 000 kg za štvrtrok

$$160x_7 + 193x_8 + 235x_9 + 280x_{10} + 4200x_{11} + 118x_{12} + 258x_{13} + 164x_{14} + 254x_{15} + 3760x_{16} \leq 20\ 000$$

Objem výroby pre rakúske firmy je minimálne 3 414 hodín kvartálne, t.j. min. 40 %

$$85x_1 + 160x_2 + 190x_3 + 97x_4 + 103x_5 + 100x_6 \geq 3\ 414$$

Teraz matematicky vyjadrím obmedzenia pre jednotlivé druhy výrobkov – variant 2:

- Vínna nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 5ks

$$2 \leq x_1 \leq 5$$

- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 7ks

$$3 \leq x_2 \leq 7$$

- Voz na víno LWS 12000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 4ks

$$1 \leq x_3 \leq 4$$

- Vínna nádrž WLT 8300L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 6ks

$$2 \leq x_4 \leq 6$$

- Vinifikátor MGT 4000L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 9ks

$$3 \leq x_5 \leq 9$$

- Voz na víno LWS 6500L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 7ks

$$1 \leq x_6 \leq 7$$

- Pivný tank BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 12ks

$$5 \leq x_7 \leq 12$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 7ks

$$1 \leq x_8 \leq 7$$

- Cylindrokónický pivný tank CK BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 8ks

$$3 \leq x_9 \leq 8$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 2ks, najviac však 6ks

$$2 \leq x_{10} \leq 6$$

- Nádrž na vodu pre armádu sa vyrobí každý štvrtý rok jeden kus

$$x_{11} = 1$$

- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 9ks

$$3 \leq x_{12} \leq 9$$

- Pivný tank BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 3ks, najviac však 7ks

$$3 \leq x_{13} \leq 7$$

- Cylindrokónický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 8ks

$$2 \leq x_{14} \leq 8$$

- Cylindrokónický pivný tank CK BLT 1750L je možné vyrobiť 1ks, najviac však 6ks

$$1 \leq x_{15} \leq 6$$

- Nádrž pre cukrovar sa vyrobí každý štvrtý rok jeden kus

$$x_{16} = 1$$

3.2.3 Variant 3

Vo variante 3, ktorý je vypracovaný pre tretí štvrtý rok, som oproti variantu 2 zmenil len obmedzenia pre jednotlivé druhy výrobkov. Ostatné podmienky a obmedzenia ostávajú konštantné.

Upravené obmedzenia vo variante 3 vyzerajú takto:

- Vínna nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 4ks a najviac 9ks

$$4 \leq x_1 \leq 9$$

- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 6ks

$$2 \leq x_2 \leq 6$$

- Voz na víno LWS 12000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 4ks

$$1 \leq x_3 \leq 4$$

- Vínna nádrž WLT 8300L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 10ks

$$5 \leq x_4 \leq 10$$

- Vinifikátor MGT 4000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 8ks

$$1 \leq x_5 \leq 8$$

- Voz na víno LWS 6500L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 8ks

$$2 \leq x_6 \leq 8$$

- Pivný tank BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 6ks a najviac 14ks

$$6 \leq x_7 \leq 14$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 7ks

$$1 \leq x_8 \leq 7$$

- Cylindrokoničný pivný tank CK BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 10ks

$$5 \leq x_9 \leq 10$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 1ks, najviac však 6ks

$$1 \leq x_{10} \leq 6$$

- Nádrž na vodu pre armádu sa vyrobí každý štvrtýrok jeden kus

$$x_{11} = 1$$

- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 9ks

$$3 \leq x_{12} \leq 9$$

- Pivný tank BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 4ks, najviac však 8ks

$$4 \leq x_{13} \leq 8$$

- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 9ks

$$2 \leq x_{14} \leq 9$$

- Cylindrokonický pivný tank CK BLT 1750L je možné vyrobiť 2ks, najviac však 7ks

$$2 \leq x_{15} \leq 7$$

- Nádrž pre cukrovar sa vyrobí každý štvrťrok jeden kus

$$x_{16} = 1$$

3.2.4 Variant 4

Na priblíženie podmienok výroby v zimnom období, t.j. v štvrtom kvartáli som pripravil variant 4 modelu. Opäť je nastavená podmienka minimálne 35% výroby pre rakúske firmy a disponibilné množstvo materiálu na 25 000 kg. Tak ako pri variante 1 ostáva nezmenený maximálny počet hodín za štvrťrok, nezmenená účelová funkcia, podmienka nezápornosti a celočíselnosti. Obmedzujúce podmienky pre jednotlivé druhy výrobkov sú definované takto:

- Vínná nádrž WLT 6500L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 4ks

$$1 \leq x_1 \leq 4$$

- Vinifikátor MGT 8500 je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 6ks

$$2 \leq x_2 \leq 6$$

- Voz na víno LWS 12000L sa nemusí vyrobiť žiaden ale najviac 2ks

$$0 \leq x_3 \leq 2$$

- Vínná nádrž WLT 8300L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 5ks

$$2 \leq x_4 \leq 5$$

- Vinifikátor MGT 4000L je možné vyrobiť najmenej 2ks a najviac 5ks

$$2 \leq x_5 \leq 5$$

- Voz na víno LWS 6500L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 4ks

$$1 \leq x_6 \leq 4$$

- Pivný tank BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 6ks a najviac 12ks

$$6 \leq x_7 \leq 12$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 1ks a najviac 5ks

$$1 \leq x_8 \leq 5$$

- Cylindrokónický pivný tank CK BLT 1000L je možné vyrobiť najmenej 3ks a najviac 7ks

$$3 \leq x_9 \leq 7$$

- Dvojplášťový pivný tank DX BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 1ks, najviac však 4ks

$$1 \leq x_{10} \leq 4$$

- Nádrž na vodu pre armádu sa vyrobí každý štvrtýrok jeden kus

$$x_{11} = 1$$

- Pivný tank BLT 500L je možné vyrobiť najmenej 5ks a najviac 11ks

$$5 \leq x_{12} \leq 11$$

- Pivný tank BLT 2000L je možné vyrobiť najmenej 1ks, najviac však 6ks

$$1 \leq x_{13} \leq 6$$

- Cylindrokónický pivný tank CK BLT 600L je možné vyrobiť najmenej 4ks a najviac 9ks

$$4 \leq x_{14} \leq 9$$

- Cylindrokónický pivný tank CK BLT 1750L je možné vyrobiť 1ks, najviac však 4ks

$$1 \leq x_{15} \leq 4$$

- Nádrž pre cukrovar sa vyrobí každý štvrtýrok jeden kus

$$x_{16} = 1$$

3.3 Vyriešenie matematického modelu

V tejto časti práce prevediem matematicky vyjadrené parametre riešeného problému do prostredia MS Excel, kde pracujem s doplnkom Riešiteľ.

K tabuľke 8 som pripojil pomocné bunky, kde som definoval potrebné parametre:

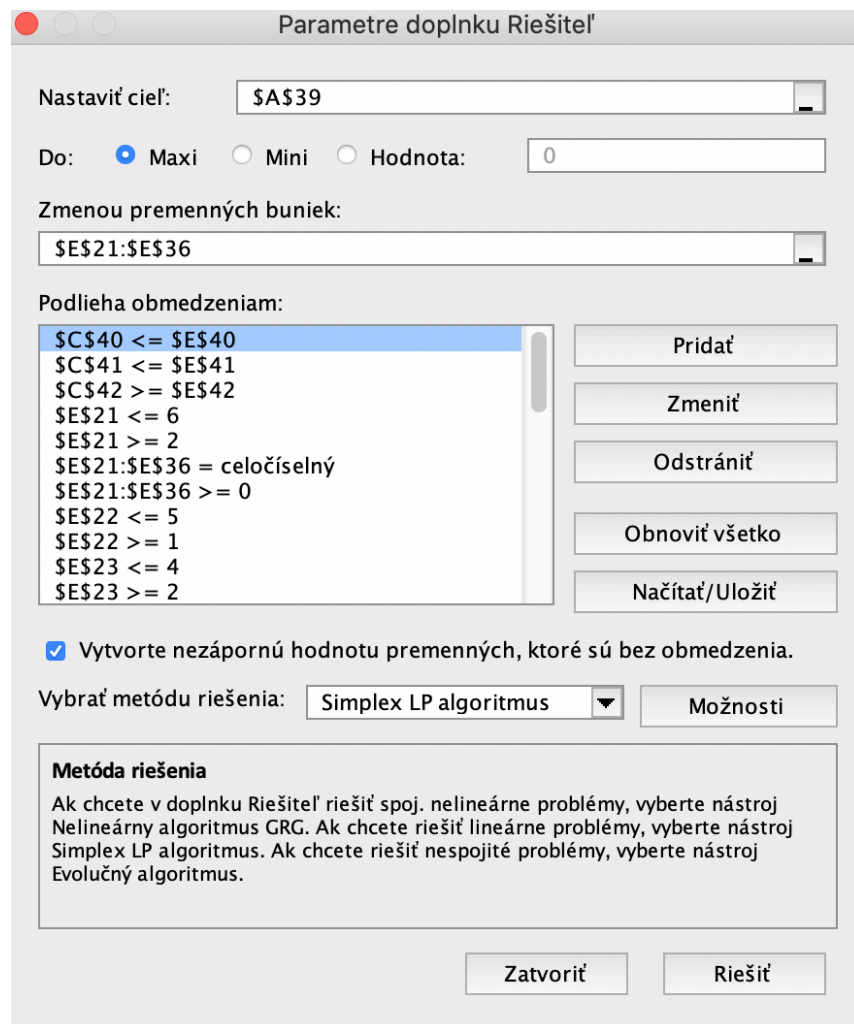
- Účelová funkcia – zisk max. – je tam nastavený skalárny súčin ziskov a vypočítaných premenných,
- Práca – v bunke je definovaný skalárny súčin počtu hodín práce a vypočítaných premenných, taktiež je vo vedľajšej bunke nastavená hraničná hodnota,
- Materiál – je zadaný skalárny súčin použitého materiálu na výrobu (tam kde je to relevantné) a vypočítaného počtu výrobkov, taktiež je nastavená hraničná hodnota v nasledujúcej bunke,
- Výroba – Rakúsko min 35% - kde je nastavený skalárny súčin príslušných výrobkov s počtom hodín práce, hraničná hodnota je vyčíslená z celkového disponibilného času.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg	Počty výrobkov	Premenné	
2	WLT 6500L	85	5 636	0	0	x1	
3	MGT 8500L	160	10 608	0	0	x2	
4	LWS 12 000L	190	12 597	0	0	x3	
5	WLT 8300L	97	6 431	0	0	x4	
6	MGT 4000L	103	6 829	0	0	x5	
7	LWS 6500L	100	6 630	0	0	x6	
8	BLT 1000L	50	7 287	160	0	x7	
9	DX BLT 1000L	85	15 830	193	0	x8	
10	CK BLT 1000L	100	16 930	235	0	x9	
11	DX BLT 2000L	95	17 730	280	0	x10	
12	Nádrž pre armádu na vodu	274	53 800	4200	0	x11	
13	BLT 500L	35	5 987	118	0	x12	
14	BLT 2000L	75	12 400	258	0	x13	
15	CK BLT 600L	72	14 734	164	0	x14	
16	CK BLT 1750L	125	21 900	254	0	x15	
17	Nádrž pre cukrovar	192	25 680	3760	0	x16	
18							
19	Účelová funkcia - zisk max.						
20	0						
21		Práca	0	<=	8534		
22		Materiál	0	<=	25000		
23		Výroba-Rakúsko min. 35%	0	>=	2 987		
24							
25							

Obrázok 4 Matematický model v prostredí MS Excel
(Zdroj: vlastné spracovanie)

V dialógovom okne Riešiteľ som nastavil cieľovú bunku účelovej funkcie a zvolil možnosť jej maximalizácie. Maximalizácia zisku sa dosiahne zmenou cieľových premenných buniek – počtu výrobkov. Ako metódu riešenia som zvolil Simplex LP algoritmus, keďže sa jedná o problém vyjadrený lineárnymi rovnicami a nerovnicami. Následne som pomocou voľby pridať nastavil všetky obmedzenia definované v matematickom modeli.

V poslednom kroku som spustil riešenie, ktorého výstupom som získal výsledky optimalizácie s akceptáciou všetkých nastavených argumentov.



Obrázok 5 Doplnok Riešiteľ - dialógové okno
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Dialógové okno doplnku Riešiteľ (viď obrázok 5) bolo pri jednotlivých variantoch modifikované v závislosti od obmedzení definovaných pre jednotlivé štvrt'roky a použité na riešenie optimalizácie výroby.

3.3.1 Variant 1

Na obrázku nižšie sú zobrazené hodnoty optimalizácie, ktoré som dosiahol pomocou doplnku Riešiteľ. Vygenerovaná je ideálna štruktúra výroby pre variant 1 s odporúčaným počtom výrobkov, ktoré naplnili cieľ optimalizácie, t.j. maximalizáciu zisku. Zároveň boli dodržané aj ostatné stanovené podmienky a obmedzenia.

	A	B	C	D	E	F	G
19							
20	Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg	Počty výrobkov	Premenné	
21	WLT 6500L	85	5 636	0	2	x1	
22	MGT 8500L	160	10 608	0	5	x2	
23	LWS 12 000L	190	12 597	0	4	x3	
24	WLT 8300L	97	6 431	0	3	x4	
25	MGT 4000L	103	6 829	0	7	x5	
26	LWS 6500L	100	6 630	0	7	x6	
27	BLT 1000L	50	7 287	160	10	x7	
28	DX BLT 1000L	85	15 830	193	6	x8	
29	CK BLT 1000L	100	16 930	235	8	x9	
30	DX BLT 2000L	95	17 730	280	4	x10	
31	Nádrž pre armádu na vodu	274	53 800	4 200	1	x11	
32	BLT 500L	35	5 987	118	13	x12	
33	BLT 2000L	75	12 400	258	7	x13	
34	CK BLT 600L	72	14 734	164	12	x14	
35	CK BLT 1750L	125	21 900	254	5	x15	
36	Nádrž pre cukrovar	192	25 680	3 760	1	x16	
37							
38	Účelová funkcia - zisk max.						
39	1 130 642						
40		Práca	8 534	<=	8 534		
41		Materiál	20 296	<=	25 000		
42		Výroba-Rakúsko min. 35%	3 409	>=	2 987		
43							

Obrázok 6 Vypočítané hodnoty – variant 1
(Zdroj: vlastné spracovanie)

3.3.2 Variant 2

Pri druhom variante som taktiež pracoval s doplnkom Riešiteľ. Po zmene obmedzujúcich podmienok a zdrojov firmy boli vyčíslené nové počty výrobkov aj výška zisku.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg	Počty výrobkov	Premenné	
2	WLT 6500L	85	5 636	0	2	x1	
3	MGT 8500L	160	10 608	0	7	x2	
4	LWS 12 000L	190	12 597	0	1	x3	
5	WLT 8300L	97	6 431	0	6	x4	
6	MGT 4000L	103	6 829	0	9	x5	
7	LWS 6500L	100	6 630	0	5	x6	
8	BLT 1000L	50	7 287	160	9	x7	
9	DX BLT 1000L	85	15 830	193	7	x8	
10	CK BLT 1000L	100	16 930	235	8	x9	
11	DX BLT 2000L	95	17 730	280	6	x10	
12	Nádrž pre armádu na vodu	274	53 800	4 200	1	x11	
13	BLT 500L	35	5 987	118	9	x12	
14	BLT 2000L	75	12 400	258	7	x13	
15	CK BLT 600L	72	14 734	164	8	x14	
16	CK BLT 1750L	125	21 900	254	6	x15	
17	Nádrž pre cukrovar	192	25 680	3 760	1	x16	
18							
19	Účelová funkcia - zisk max.						
20	1 118 461						
21		Práca	8 534	<=	8 534		
22		Materiál	20 000	<=	20 000		
23		Výroba-Rakúsko min. 40%	3 492	>=	3 414		
24							

Obrázok 7 Vypočítané hodnoty - variant 2
(Zdroj: vlastné spracovanie)

3.3.3 Variant 3

Variant 3 vychádza z obmedzujúcich podmienok, ktoré som upravil v doplnku Riešiteľ. Stanovené podmienky sú rešpektované vo výstupných hodnotách podľa obrázku 8.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg	Počty výrobkov	Premenné	
2	WLT 6500L	85	5 636	0	5	x1	
3	MGT 8500L	160	10 608	0	6	x2	
4	LWS 12 000L	190	12 597	0	4	x3	
5	WLT 8300L	97	6 431	0	10	x4	
6	MGT 4000L	103	6 829	0	1	x5	
7	LWS 6500L	100	6 630	0	2	x6	
8	BLT 1000L	50	7 287	160	6	x7	
9	DX BLT 1000L	85	15 830	193	7	x8	
10	CK BLT 1000L	100	16 930	235	10	x9	
11	DX BLT 2000L	95	17 730	280	6	x10	
12	Nádrž pre armádu na vodu	274	53 800	4 200	1	x11	
13	BLT 500L	35	5 987	118	9	x12	
14	BLT 2000L	75	12 400	258	5	x13	
15	CK BLT 600L	72	14 734	164	9	x14	
16	CK BLT 1750L	125	21 900	254	7	x15	
17	Nádrž pre cukrovar	192	25 680	3 760	1	x16	
18							
19	Účelová funkcia - zisk max.						
20	1 133 898						
21		Práca	8 534	<=	8 534		
22		Materiál	19 826	<=	20 000		
23		Výroba-Rakúsko min. 40%	3 414	>=	3 414		
24							

Obrázok 8 Vypočítané hodnoty – variant 3
(Zdroj: vlastné spracovanie)

3.3.4 Variant 4

Výsledné hodnoty variantu 4 boli taktiež riešené simplexovou metódou v prostredí MS Excel doplnkom Riešiteľ. Kde boli zmenené podmienky pre jednotlivé výrobky a zdroje firmy boli nastavené rovnako ako vo variante 1.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg	Počty výrobkov	Premenné	
2	WLT 6500L	85	5 636	0	4	x1	
3	MGT 8500L	160	10 608	0	6	x2	
4	LWS 12 000L	190	12 597	0	2	x3	
5	WLT 8300L	97	6 431	0	5	x4	
6	MGT 4000L	103	6 829	0	5	x5	
7	LWS 6500L	100	6 630	0	4	x6	
8	BLT 1000L	50	7 287	160	12	x7	
9	DX BLT 1000L	85	15 830	193	5	x8	
10	CK BLT 1000L	100	16 930	235	7	x9	
11	DX BLT 2000L	95	17 730	280	4	x10	
12	Nádrž pre armádu na vodu	274	53 800	4 200	1	x11	
13	BLT 500L	35	5 987	118	11	x12	
14	BLT 2000L	75	12 400	258	6	x13	
15	CK BLT 600L	72	14 734	164	9	x14	
16	CK BLT 1750L	125	21 900	254	4	x15	
17	Nádrž pre cukrovar	192	25 680	3 760	1	x16	
18							
19	Účelová funkcia - zisk max.						
20	1 000 168						
21		Práca	7 634	<=	8 534		
22		Materiál	18 948	<=	25 000		
23		Výroba-Rakúsko min. 35%	3 080	>=	2 987		
24							

Obrázok 9 Vypočítané hodnoty - variant 4

(Zdroj: vlastné spracovanie)

3.4 Ekonomická interpretácia matematického modelu

V tejto časti analyzujem vypočítané hodnoty modelu, interpretujem ich a vyvodím praktické závery na podporu rozhodovania firmy.

Uskutočním taktiež komparáciu skutočného objemu najbežnejšie vyrábaných produktov v uplynulom roku s hodnotami, ktoré boli namodelované doplnkom Riešiteľ na základe nami stanovených kritérií a podmienok.

3.4.1 Variant 1

Doplnok Riešiteľ pre variant 1 vyčíslil počty výrobkov v prvom štvrtroku ako sú uvedené v tabuľke 8. Zisk je maximalizovaný na úrovni 1 130 642 Kč. Počet hodín práce je naplnený na maximum. Spotreba materiálu je pod hranicou disponibilného množstva. Rozsah práce pre rakúske firmy je väčší ako 35%.

Tabuľka 8 Počty výrobkov variant 1
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	WLT 6500L	MGT 8500L	LWS 12 000L	WLT 8300L	MGT 4000L	LWS 6500L	BLT 1000L	DX BLT 1000L
Variant 1	2	5	4	3	7	7	10	6
Výrobok	CK BLT 1000L	DX BLT 2000L	Nádrž pre armádu na vodu	BLT 500L	BLT 2000L	CK BLT 600L	CK BLT 1750L	Nádrž pre cukrovar
Variant 1	8	4	1	13	7	12	5	1

3.3.2 Variant 2

V druhom kvartáli po zmene obmedzení a podmienok pre variant 2 sú výsledné hodnoty zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Podľa výpočtu je možné dosiahnuť zisk vo výške 1 118 461 Kč. Disponibilný počet hodín aj množstvo materiálu bolo použité v maximálnej možnej miere. Podiel výroby pre rakúske firmy mierne presiahol stanovenú hranicu 40%.

Tabuľka 9 Počty výrobkov variant 2
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	WLT 6500L	MGT 8500L	LWS 12 000L	WLT 8300L	MGT 4000L	LWS 6500L	BLT 1000L	DX BLT 1000L
Variant 2	2	7	1	6	9	5	9	7
Výrobok	CK BLT 1000L	DX BLT 2000L	Nádrž pre armádu na vodu	BLT 500L	BLT 2000L	CK BLT 600L	CK BLT 1750L	Nádrž pre cukrovar
Variant 2	8	6	1	9	7	8	6	1

3.3.3 Variant 3

Variant 3 vypracovaný pre tretí kvartál je uvedený v tabuľke 10. V tomto štvrťroku je podľa modelu dosiahnutá najvyššia miera zisku. Hodnoty pre počet hodín práce, spotrebu materiálu aj výrobnú kapacitu pre rakúske firmy variant 3 vyčíslil najbližšie k hodnotám obmedzujúcich podmienok.

Tabuľka 10 Počty výrobkov variant 3
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	WLT 6500L	MGT 8500L	LWS 12 000L	WLT 8300L	MGT 4000L	LWS 6500L	BLT 1000L	DX BLT 1000L
Variant 3	5	6	4	10	1	2	6	7
Výrobok	CK BLT 1000L	DX BLT 2000L	Nádrž pre armádu na vodu	BLT 500L	BLT 2000L	CK BLT 600L	CK BLT 1750L	Nádrž pre cukrovar
Variant 3	10	6	1	9	5	9	7	1

3.3.4 Variant 4

V štvrtom štvrťroku je podľa variantu 4 vyčíslený najnižší zisk. Tiež nie je využitý celý disponibilný počet hodín práce ani množstvo materiálu. Výroba pre rakúske firmy je mierne nad stanovenou úrovňou. Počty jednotlivých druhov výrobkov pre toto obdobie sú zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 11 Počty výrobkov variant 4
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	WLT 6500L	MGT 8500L	LWS 12 000L	WLT 8300L	MGT 4000L	LWS 6500L	BLT 1000L	DX BLT 1000L
Variant 4	4	6	2	5	5	4	12	5
Výrobok	CK BLT 1000L	DX BLT 2000L	Nádrž pre armádu na vodu	BLT 500L	BLT 2000L	CK BLT 600L	CK BLT 1750L	Nádrž pre cukrovar
Variant 4	7	4	1	11	6	9	4	1

3.4 Súhrnný komentár a porovnanie variantov

Na porovnanie všetkých štyroch variantov som vytvoril nasledujúcu tabuľku. Sú v nej uvedené počty kusov jednotlivých druhov výrobkov podľa kvartálov ako boli vyčíslené vo všetkých variantoch výpočtov.

Tabuľka 12 Počty výrobkov v jednotlivých kvartáloch
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	Navrhované počty výrobkov v ks			
	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
WLT 6500L	2	2	5	4
MGT 8500L	5	7	6	6
LWS 12 000L	4	1	4	2
WLT 8300L	3	6	10	5
MGT 4000L	7	9	1	5
LWS 6500L	7	5	2	4
BLT 1000L	10	9	6	12
DX BLT 1000L	6	7	7	5
CK BLT 1000L	8	8	10	7
DX BLT 2000L	4	6	6	4
Nádrž pre armádu na vodu	1	1	1	1
BLT 500L	13	9	9	11
BLT 2000L	7	7	5	6

Výrobok	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
CK BLT 600L	12	8	9	9
CK BLT 1750L	5	6	7	4
Nádrž pre cukrovar	1	1	1	1

Modelom vypočítané počty jednotlivých druhov výrobkov v sledovaných štvrtrokoch sa pohybujú v intervaloch stanovených v podmienkach pre výpočet. Keďže tieto intervaly boli stanovené na základe praktických skúseností z posledných troch rokov, považujem ich za relevantné hodnoty pre plánovanie kvartálnej výroby. Najvyššie hodnoty model stanovil pre výrobu pivných tankov vo variante 1, po ktorých je v poslednom období aj najvyšší dopyt. Na mnohých miestach sa v súčasnosti budujú mini pivovary a pivné nádrže typu BLT a CK BLT sú nádrže, ktoré by nemali chýbať v žiadnom pivovare. Preto považujem dosiahnutie modelom stanovených počtov za vysoko pravdepodobné. Najvyšší počet výrobkov pre vinárov je vypočítaný vo variante 2. Výpočtom bola taktiež akceptovaná podmienka výroby jedného ks nádrže na vodu pre armádu a nádrže pre cukrovar v každom štvrtroku, ktoré pre podnik predstavujú dlhodobý kontrakt.

3.5 Ročný objem výroby – porovnanie

Pre porovnanie modelom vypočítaných kusov výrobkov so skutočnosťou minulého roka som kvartálne hodnoty modelu previedol na ročné. Údaje sú v nasledujúcej tabuľke.

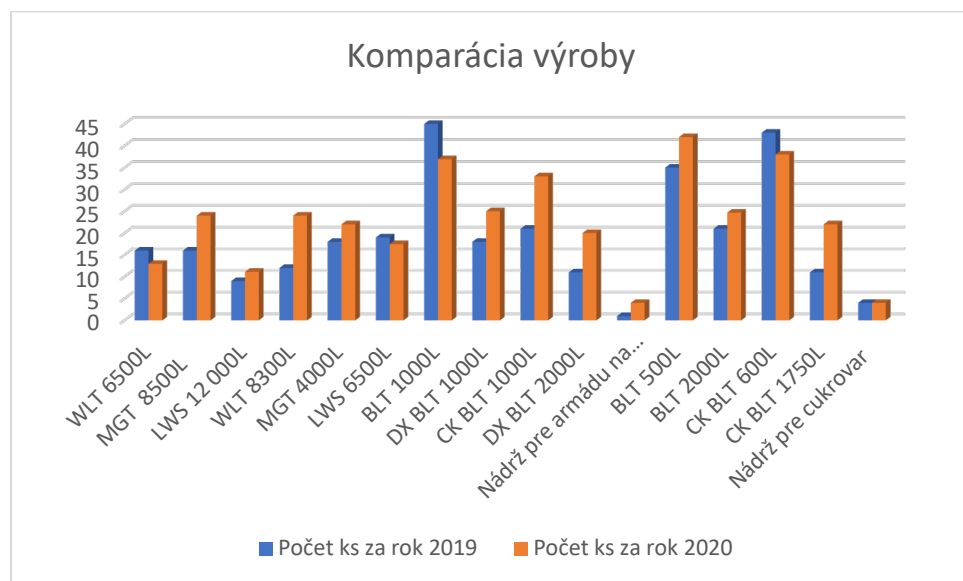
Tabuľka 13 Porovnanie ks výrobkov 2019 a 2020
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Výrobok	Počet ks za rok 2019	Počet ks za rok 2020
WLT 6500L	16	13
MGT 8500L	16	24
LWS 12 000L	9	11
WLT 8300L	12	24
MGT 4000L	18	22
LWS 6500L	19	17
BLT 1000L	45	37

Výrobok	Počet ks za rok 2019	Počet ks za rok 2020
DX BLT 1000L	18	25
CK BLT 1000L	21	33
DX BLT 2000L	11	20
Nádrž pre armádu na vodu	1	4
BLT 500L	35	42
BLT 2000L	21	25
CK BLT 600L	43	38
CK BLT 1750L	11	22
Nádrž pre cukrovar	4	4

Pri väčšine výrobkov vidíme, že modelom navrhované počty výrobkov sú vyššie ako bola dosiahnutá skutočnosť v uplynulom roku. Preto sa domnievam, že pri systematickejšom plánovaní výroby s využitím lineárneho programovania je možné dosiahnuť vyššiu efektivitu výroby. Plán výroby na rok 2020 som stanovil sčítaním kvartálnych hodnôt variantov 1-4. Reálna výroba sa však bude stavať priebežne s prichádzajúcimi zákazkami počas roka. Podnik si bude môcť vytvoreným modelom plánovať výrobu v každom štvrtroku osobitne.

Pre lepšiu ilustráciu porovnávania týchto dvoch rokov som vytvoril nasledujúci graf.



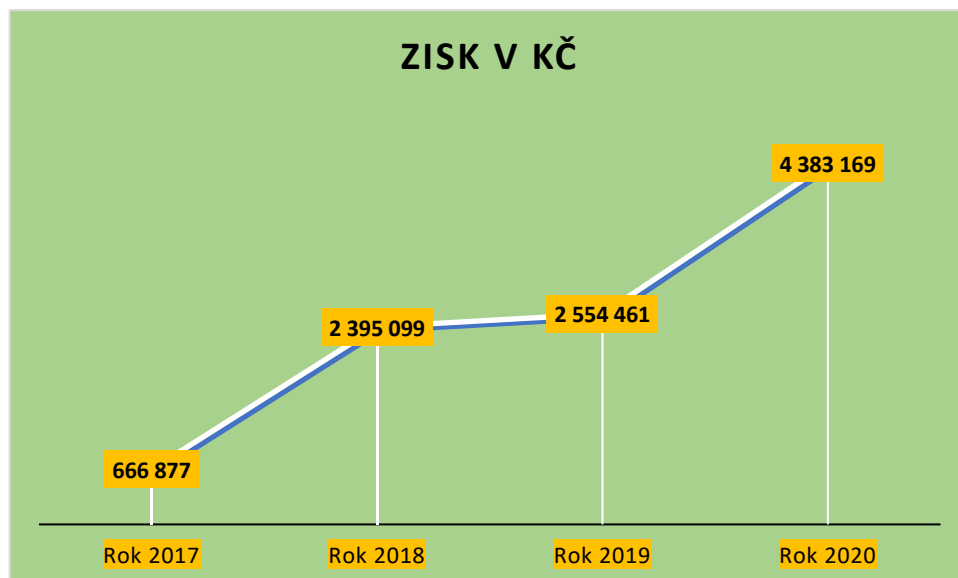
Graf 4 Komparácia výroby 2019 a 2020
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Obmedzenie maximálneho počtu odpracovaných hodín v štvrtrokoch model vyčíslil väčšinou na maximálnu možnú hranicu. Že takáto situácia nastane, považujem za málo pravdepodobné. Drobné odchýlky môžu nastať z prevádzkových dôvodov napr. porucha zariadenia, neprítomnosť zamestnanca, výpadok v dodávke elektrickej energie, ktoré predstavujú znížený počet využitých hodín práce. Nad rámec počtu hodín bežnej výrobnnej kapacity sa môže firma dostať prácou nadčas, napr. z dôvodu omeškania dodávky kompletizačných komponentov externou firmou.

Firma disponuje štvrtročne priemernou zásobou základného materiálu v objeme 25 000 kg nerezového plechu. Modelom stanovená štruktúra výroby rešpektuje stanovenú hranicu vo všetkých variantoch. Podnik má k dispozícii dostatočnú materiálovú rezervu na preklopenie dodacích lehôt ďalšieho materiálu, ale aj na náhradu materiálu v prípade vzniku nepodarkov.

Výroba pre Rakúske firmy mala v modeli stanovenú minimálnu hranicu 35%, respektíve 40% výrobnnej kapacity. Vo všetkých variantoch je teda akceptovaná podmienka, ku ktorej sa podnik zmluvne zaviazal. Týmito odberateľmi sú prevažne spracovatelia hrozna a výrobcovia vína, ktorých objednávky sa môžu sezónne líšiť. Najviac požiadaviek na výrobu týchto nádrží je koncentrovaných do mesiacov apríl až september.

Kriteriálna funkcia môjho modelu bola nastavená s cieľom maximalizovať zisk podniku pri optimálnom využití výrobnnej kapacity, neprekročení disponibilného objemu zásob základného materiálu a ďalších podmienok. Štvrtročné zisky sú maximalizované na rôznej úrovni. Keby boli dosiahnuté optimálne objemy a štruktúra výroby počas celého roka, podnik by mohol počítať s ročným ziskom vo výške 4 383 169 Kč. Teda by sa jednalo o výrazný nárast ziskovosti oproti predchádzajúcemu obdobiu, čo môžeme vidieť aj v grafe 5.



*Graf 5 Vývoj ziskovosti
(Zdroj: vlastné spracovanie)*

Dosiahnutie zisku, ktorý bol vypočítaný optimalizačným modelom je možné len za ideálnych podmienok. Tieto sú v praxi ovplyvnené aj inými faktormi. Ziskovosť, s ktorou som kalkuloval v optimalizačnom modeli pre rok 2020 sa môže znížiť napr. nárastom cien vstupov, ktoré sa nepodarí firme transformovať do zmluvných cien so zákazníkmi.

V priebehu roka sa bude meniť štruktúra výroby, môžu sa vyskytnúť úplne nové výrobky alebo noví zákazníci. Tieto faktory môžu tiež ovplyvniť celkovú ročnú ziskovosť. Okrem toho sa nemusí firme podariť v každom štvrťroku využiť výrobnú kapacitu na 100%.

3.6 Postoptimalizačná analýza

Pre variant 1 som sa rozhodol vykonať citlivosťnú analýzu pravých strán ohraničení t.j. množstva práce, materiálu a podielu výroby pre Rakúsko, ktorá je výstupom doplnku Riešiteľ.

1	Microsoft Excel 16.35 Citlivostná zostava
2	Hárok: [Riešiteľ.xlsx]Hárok2
3	Zostava vytvorená: 28.4.20 13:32:09
4	
5	
6	Premenné bunky
7	
8	Bunka Názov Výsledné Znížené Cieľ Prípustný Prípustný
9	Hodnota Náklady Koeficient Zväčšiť Zmenšiť
9	\$E\$21 WLT 6500L Počty výrobkov 2 0 5635,5 0 1E+30
10	\$E\$22 MGT 8500L Počty výrobkov 5 0 10608 1E+30 0
11	\$E\$23 LWS 12 000L Počty výrobkov 4 0 12597 1E+30 0
12	\$E\$24 WLT 8300L Počty výrobkov 3 -9,09495E-13 6431,1 9,09495E-13 1E+30
13	\$E\$25 MGT 4000L Počty výrobkov 7 9,09495E-13 6828,9 1E+30 9,09495E-13
14	\$E\$26 LWS 6500L Počty výrobkov 6,67 0 6630 0 0
15	\$E\$27 BLT 1000L Počty výrobkov 10 3972 7287 1E+30 3972
16	\$E\$28 DX BLT 1000L Počty výrobkov 6 10194,5 15830 1E+30 10194,5
17	\$E\$29 CK BLT 1000L Počty výrobkov 8 10300 16930 1E+30 10300
18	\$E\$30 DX BLT 2000L Počty výrobkov 4 11431,5 17730 1E+30 11431,5
19	\$E\$31 Nádrž pre armádu na vodu Počty výrobkov 1 35633,8 53800 35633,8 1E+30
20	\$E\$32 BLT 500L Počty výrobkov 13 3666,5 5987 1E+30 3666,5
21	\$E\$33 BLT 2000L Počty výrobkov 7 7427,5 12400 1E+30 7427,5
22	\$E\$34 CK BLT 600L Počty výrobkov 12 9960,1 14733,7 1E+30 9960,1
23	\$E\$35 CK BLT 1750L Počty výrobkov 5 13612,5 21900 1E+30 13612,5
24	\$E\$36 Nádrž pre cukrovar Počty výrobkov 1 12950,4 25680 12950,4 1E+30
25	
26	Obmedzenia
27	
28	Bunka Názov Výsledné Tieňované Obmedzenie Prípustný Prípustný
29	Hodnota Cena Pravá strana Zväčšiť Zmenšiť
29	\$C\$40 Práca Kalkulovaný zisk 8534 66,3 8534 133 422,1
30	\$C\$41 Materiál Kalkulovaný zisk 20296 0 25000 1E+30 4704
31	\$C\$42 Výroba-Rakúsko min. 35% Kalkulovaný zisk 3409 0 2986,9 422,1 1E+30
32	

Obrázok 10 Citlivostná analýza riešenia
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Na základe výsledkov môžeme konštatovať, že za optimálnych podmienok na jednu hodinu práce pripadá 66,30 Kč zisku. Pre dosiahnutie optimálnej hodnoty účelovej funkcie t.j. maximalizácie zisku je najdôležitejšie množstvo práce. Ak sa bude počet odpracovaných hodín v štvrtroku pohybovať v intervale od 8 112 do 8 667 (8534 - 422; 8534 + 133) bude riešenie ešte vždy optimálne. Menší význam pre zlepšenie hodnoty účelovej funkcie má množstvo spotrebovaného materiálu a podiel práce pre Rakúsko, ak sa bude pohybovať v zobrazených intervaloch na obrázku 10. Napríklad objem výroby pre rakúske firmy sa môže zmenšovať ľubovoľne a neovplyvní to ziskovosť podniku.

3.7 Prínosy vytvoreného modelu

V doterajšom období firma plánovala svoju výrobu viac – menej intuitívne podľa aktuálneho stavu prichádzajúcich zákaziek. V praxi sa stávalo, že vznikali vo výrobe

tzv. hluché miesta alebo naopak prijaté zákazky presahovali výrobnú kapacitu v príslušnom období.

Vytvorený model dokáže do značnej miery eliminovať tieto problémy. Podnik po prepočte zhromaždených zákaziek na nasledujúce obdobie dokáže zákazky rovnomerne rozmiestniť. Prípadne môže vopred jednať so zákazníkmi o dodacích lehotách a množstvách výrobkov na dané obdobie.

Predstavovaný model na optimalizáciu výrobnéj kapacity podniku som rozpracoval do štyroch variantov, aby som zohľadnil sezónne zmeny v štruktúre výroby. Pracoval som v nich s rôznymi obmedzeniami základných parametrov modelu ako aj jednotlivých výrobkov. Experimentovaním s modelom som sa chcel čo najviac priblížiť realite. Som si vedomý, že model nebude na 100% zhodný so skutočnou výrobou, avšak model pomôže pri riešení rozhodovacích problémov vo fáze plánovania výroby.

Pre prijateľnejšie ovládanie a znázornenie modelu som vytvoril pomocou jazyka VBA užívateľský formulár. Ukážka zdrojového kódu vytvoreného formulára je v prílohe práce. Formulár zjednoduší a urýchli prácu s modelom, ktorý je vytvorený v základnom prostredí Riešiteľa.

Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk	Materiál v kg
WLT 6500L	85	5636	0
MGT 8500L	160	10608	0
LWS 12 000L	190	12597	0
WLT 8300L	97	6431	0
MGT 4000L	103	6829	0
LWS 6500L	100	6630	0
BLT 1000L	50	7287	160
DX BLT 1000L	85	15830	193
CK BLT 1000L	100	16930	235
DX BLT 2000L	95	17730	280
Nádrž pre armádu na vodu	274	53800	4200
BLT 500L	35	5987	118
BLT 2000L	75	12400	258
CK BLT 600L	72	14734	164
CK BLT 1750L	125	21900	254
Nádrž pre cukrovar	192	25680	3760

Obrázok 11 Užívateľský formulár
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Vytvorený formulár prenáša údaje zo základného prostredia Riešiteľa pomocou tlačidla Načítať aktuálnu výrobu do prostredia formulára. Vo formulári je možné zmeniť údaje o výrobkoch, počtoch hodín práce, kalkulovanom zisku a spotrebe materiálu. Čo môže užívateľ s efektom využiť pri príchode nových výrobkov alebo zmene ich parametrov. Tlačidlom Zmeniť výrobu preniesie hodnoty späť do základného prostredia Riešiteľa. Pre vykonanie požadovaných zmien stačí len zmeniť obmedzenia a spustiť riešenie v prostredí MS Excel.

Ilustrácia funkčnosti užívateľského formulára je na nasledujúcom obrázku.

Výrobok	Počet hodín práce	Kalkulovaný zisk
WLT 10000L	100	6 897
MGT 10000L	190	15 608
LWS 5 000L	100	6 852
WLT 5000L	72	7 852
MGT 4000L	103	6 829
LWS 6500L	100	6 630
BLT 1000L	50	7 287
DX BLT 1000L	85	15 930
CK BLT 1000L	100	16 930
DX BLT 2000L	95	17 730
Nádž pre armádu na vodu	274	53 800
BLT 500L	35	5 987
BLT 2000L	75	12 400
CK BLT 600L	72	14 734
CK BLT 1750L	125	21 900
Nádž pre cukrovnu	192	25 680
Účtová funkcia - zisk max.		
1 168 708		
	Práca	8 472
	Materiál	20 296
	Výroba-Rakúsko min. 35%	3 347

Obrázok 12 Ilustrácia funkčnosti formulára
(Zdroj: vlastné spracovanie)

Ako príklad som v užívateľskom formulári nahradil prvé štyri výrobky inými a zmenil som aj ich parametre na výrobu. Vykonané zmeny som preniesol do základného prostredia Riešiteľa tlačidlom Zmeniť výrobu. Následne som spustil výpočet v doplnku Riešiteľ. Došlo k zmene štruktúry výroby – počtov jednotlivých druhov výrobkov. Taktiež sa zmenil celkový počet hodín práce, spotreba materiálu. Keďže som menil výrobky aj parametre výroby pre Rakúsko, zmenil sa aj podiel práce pre túto skupinu výrobkov. Zmena výroby priniesla aj zmenu očakávaného celkového zisku v príslušnom období.

V užívateľskom formulári je možné jedným tlačidlom vytlačiť tabuľku so štruktúrou výroby na plánované obdobie. Výsledky výpočtu sú tak prehľadné, jasné a zrozumiteľné.

Pri predstavení vytvoreného modelu v skúmanej firme som sa stretol s pozitívnym ohlasom. Považujú ho za užitočný pomocný nástroj pri rozhodovaní o tom, ako budú prichádzajúce zákazky zaradené do výroby, aby bola čo najlepšie využitá výrobná kapacita. To v konečnom dôsledku prinesie podniku vyššie zisky, ktoré môžu byť použité na ďalší rozvoj firmy.

ZÁVER

Bakalárska práca smerovala k dosiahnutiu cieľa, ktorým bolo navrhnuť model optimalizácie využitia výrobnnej kapacity firmy s využitím lineárneho programovania. Prácu som realizoval v prostredí firmy KOVO-JANČI, s.r.o., ktorá vyrába produkty z nerezu na potravinárske a iné účely.

Pri práci som postupoval v súlade so získanými teoretickými poznatkami z odbornej literatúry. Údaje získané od skúmaného podniku som podrobil analýze a pripravil si podklady pre návrh optimalizačného modelu.

Rozhodol som sa využiť metódu lineárneho programovania, keďže riešený problém sa dá kvantifikovať a vyjadriť pomocou lineárnych rovníc a nerovníc. Úlohu som riešil v prostredí MS Excel s využitím doplnku Riešiteľ.

Ekonomický problém bol definovaný ako neuspokojivá miera ziskovosti podniku v predchádzajúcom období. To bolo zapríčinené nerovnomerným využitím výrobnnej kapacity. Pri tvorbe matematického modelu som určil kriteriálnu funkciu, ktorá predstavuje maximalizáciu zisku. Model pracuje so šiestimi druhmi najbežnejších výrobkov, ktorých ideálne vyrábané množstvo sa hľadá. Vypracoval som štyri varianty modelu, jednak za účelom preukázania variability navrhovaného modelu a jednak za účelom priblíženia vypočítaných hodnôt realite. Variant 1 určený pre prvý kvartál som podrobil citlivostnej analýze na hodnoty pravých strán obmedzení.

Na zjednodušenie práce a prijateľnejšie zobrazenie navrhovaného modelu som vytvoril užívateľský formulár v jazyku VBA. Ten umožňuje meniť štruktúru výroby podľa aktuálnych potrieb podniku v súlade s prichádzajúcimi zákazkami. Zmenená štruktúra výroby po výpočte v doplnku Riešiteľ sa premietne do odporúčaného počtu jednotlivých druhov výrobkov v plánovanom období. Zároveň je rešpektovaný disponibilný počet hodín práce, množstvo materiálu a výroba pre rakúske firmy. To všetko smeruje k maximalizácii zisku.

Po sumarizácii výsledkov vytvorených variantov modelu by mal podnik vyprodukovať väčšie množstvo výrobkov ako v predchádzajúcom období. Ziskovosť podniku by mala taktiež významne rásť. V skutočnosti sa však podniku nemusí podať dosiahnuť mnou vypočítané hodnoty. Model počíta takmer s ideálnymi podmienkami, ktoré môžu byť ovplyvnené rôznymi faktormi.

Podnik považuje vytvorený model za užitočného pomocníka pri plánovaní výroby v nasledujúcich obdobiach. Je dostatočne variabilný a výstupy z neho sú jasné a zrozumiteľné. Za významný prínos môjho optimalizačného modelu by som považoval, keby celkový zisk firmy v nasledujúcom období osciloval okolo hodnoty mnou vypočítaného zisku.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

ANDERSON, David R., Dennis J. SWEENEY, Thomas A. WILLIAMS, Jeffrey D. CAMM, James J. COCHRAN, Michael J. FRY a Jeffrey W. OHLMANN, 2016. *Quantitative methods for business*. Thirteenth edition. Boston, MA, USA: Cengage Learning. ISBN 978-1-285-86631-4.

BEREŽNÝ, Štefan a Daniela KRAVECOVÁ, 2012. *Lineárne programovanie: Vysokoškolská učebnica*. Košice: Technická univerzita v Košiciach. ISBN 978-80-553-0910-1.

BRECHTA, Bohumil, Monika GRASSEOVÁ, ed., 2013. *Efektivní rozhodování: analyzování, rozhodování, implementace a hodnocení*. 1. vyd. Brno: Edika. ISBN 978-80-266-0179-1.

Define and solve a problem by using Solver, 2019. MS Office Support [online]. [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: <https://support.office.com/en-us/article/define-and-solve-a-problem-by-using-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040?omkt=en-001&ui=en-US&rs=en-001&ad=US>

DOSTÁL, Petr, Kerel, RAIS, Radek, DOSKOČIL, 2007. *Ekonomicko-matematické metody*. Kunovice: Evropský polytechnický institut. ISBN 978-80-7314-122-6.

Getting started with VBA in Office, 2020. MS Office Support [online]. [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>

GROS, Ivan, 2003. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 80-247-0421-8.

HRABLIK CHOVANOVÁ, Henrieta. *Manažér a rozhodovanie. Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2014, roč. 7, č. 1 [cit. 2019-11-30]. ISSN 1803-3687. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-01-2014/manazer-a-rozhodovanie.html>

Introductory guide on Linear Programming for (aspiring) data scientists, 2017. Analytics Vidhya [online]. [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/02/introductory-guide-on-linear-programming-explained-in-simple-english/>

JABLONSKÝ, Josef, 2002. *Operační výzkum kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing. ISBN 80-86419-23-1.

MÁCA, Jaromír, Bohuš LEITNER, 2002. *Operační analýza – 1. Deterministické metody operační analýzy*. Žilina: Žilinská univerzita. ISBN: 978-80-888-2939-3.

MADZÍK, Peter, 2017. *Nástroje systematického riešenia problémov*. Ružomberok: Verbum. ISBN: 978-80-561-0478-1.

- MAJER, Petr, 2003. *Moderní metody rozvrhování výroby. Zkrácená verze PH.D. Thesis.* Brno: FSI VUT. ISBN 80-214-2530-X.
- MATOUŠEK, Jiří, 2006. *Lineární programování Úvod pro informatiky.* KAM MFF UK [online]. [2019-12-28]. Dostupné z: <https://iti.mff.cuni.cz/series/2006/311.pdf>
- RAHMAN, S., M. ANSARI a A. MOINUDDIN, 2012. *Solution of Linear Programming Problems using a Neural Network with Non-Linear Feedback.* Radioengineering [online]. Společnost pro radioelektronické inženýrství, 21(4), 1171-1177 [cit.2019-12-27]. ISSN 1210-2512. Dostupné z: https://www.radioeng.cz/fulltexts/2012/12_04_1171_1177.pdf
- ROSOVÁ, Andrea, Alena DAŇKOVÁ, 2017. *Logistika pre manažérov: /alebo „čo by mal vedieť manažér o logistike podniku“/. 1. vyd.* Košice: TU v Košiciach, Fakulta BERG, Dekanát – Edičné stredisko. ISBN 978-80-553-3092-1.
- ŠUBRT, Tomáš a kol., 2015. *Ekonomicko-matematické metody. 2 upravené vydání.* Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-563-0.
- TOMČÍKOVÁ, Ľuba, 2017. *Empirické metódy manažérskeho rozhodovania a ich využitie v praxi manažérov na jednotlivých úrovniach riadenia.* Journal of Global Science [online].1-7 [cit. 2019-12-12]. ISSN: 2453-756X. Dostupné z: http://jogsc.com/pdf/2017/1/empiricke_metody.pdf.
- TOMEK, Gustav, Věra VÁVROVÁ, 1999. *Řízení výroby.* Praha: Grada Publishing. ISBN 80-7169-578-5.
- WISNIEWSKI, Mik, 1996. *Metódy manažrského rozhodování.* Praha: Grada Publishing. ISBN 80-7169-089-9.

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1 Štruktúra výroby za rok 2017 v %.....	29
Graf 2 Štruktúra výroby za rok 2018 v %.....	29
Graf 3 Štruktúra výroby za rok 2019 v %.....	30
Graf 4 Komparácia výroby 2019 a 2020	56
Graf 5 Vývoj ziskovosti.....	58

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Manažerský problém.....	12
Obrázok 2 Proces rozhodovania	14
Obrázok 3: Ukážka technológie pivovaru	27
Obrázok 4 Matematický model v prostredí MS Excel	48
Obrázok 5 Doplnok Riešiteľ - dialógové okno.....	49
Obrázok 6 Vypočítané hodnoty – variant 1	50
Obrázok 7 Vypočítané hodnoty - variant 2.....	50
Obrázok 8 Vypočítané hodnoty – variant 3	51
Obrázok 9 Vypočítané hodnoty - variant 4.....	51
Obrázok 11 Citlivostná analýza riešenia	59
Obrázok 12 Užívateľský formulár	60
Obrázok 13 Ilustrácia funkčnosti formulára	61

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Výpočet matematického modelu.....	22
Tabuľka 2 Vývoj tržieb a zisku podniku v Kč.....	28
Tabuľka 3 Štruktúra výroby v ks za rok 2019	30
Tabuľka 4 Kalkulovaný zisk v Kč/ks	31
Tabuľka 5 Normohodiny práce na vybrané výrobky.....	33
Tabuľka 6 Normovaná spotreba materiálu v kg/ks.....	33
Tabuľka 7 Podkladové údaje pre tvorbu modelu na 1ks	35
Tabuľka 8 Počty výrobkov variant 1	52
Tabuľka 9 Počty výrobkov variant 2	53
Tabuľka 10 Počty výrobkov variant 3	53
Tabuľka 11 Počty výrobkov variant 4	54
Tabuľka 12 Počty výrobkov v jednotlivých kvartáloch	54
Tabuľka 13 Porovnanie ks výrobkov 2019 a 2020.....	55

PRÍLOHY

Príloha 1 Ukážka kódu VBA

