

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA EKONOMICKÁ

Bakalářská práce

**Plánování výroby v podniku s využitím
matematického programování**

**Production planning in company using
mathematical programming**

Václav Frouz

Plzeň 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

„Plánování výroby v podniku s využitím matematického programování“

vypracoval/a samostatně pod odborným dohledem vedoucí/vedoucího bakalářské práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

Plzeň dne 22.4. 2024, Václav Frouz v. r

Zásady pro vypracování práce

1. Proved'te teoretický úvod do oblastí operačního výzkumu, matematického programování a logistiky.
2. Popište vybranou společnost a průběh výroby.
3. Pro konkrétní praktický problém naformulujte matematický model.
4. Aplikujte model v podniku a srovnejte řešení vůči dosavadní praxi v podniku.

Poděkování

Mé poděkování patří především panu Ing. Zdeňkovi Kresovi za jeho maximální ochotu, trpělivost a poskytované odborné rady v průběhu zpracování bakalářské práce.

Rád bych také poděkoval všem zaměstnancům firmy IACG s.r.o., kteří mi po celou dobu poskytovali cenné informace.

Obsah

Úvod	7
1 Náklady podniku.....	8
1.1 Rozdělení nákladů.....	8
1.1.1 Druhové členění	9
1.1.2 Rozdělení nákladů podle účelu	9
1.2 Nákladová alokace	10
1.2.1 Alokační fáze	11
1.2.2 Metody alokace nepřímých nákladů	11
2 Logistika	13
2.1 Cíle logistiky	14
2.2 Informační toky.....	15
2.3 Materiálové toky	16
2.4 Manipulační jednotky	17
2.5 Manipulační a dopravní zařízení.....	18
3 Operační výzkum.....	20
3.1 Matematické programování	21
3.2 Lineární programování	23
3.2.1 Řešení lineárního modelu	25
3.3 Celočíselné programování	26
3.4 Přirazovací úloha	27
4 International Automotive Components Group.....	28
4.1 Informace	28
4.2 Historie podniku	28
4.3 Popis výroby produktu.....	29

4.4	Layout výrobních prostor společnosti.....	30
4.5	Tok materiálu a informací.....	30
4.5.1	Manipulační jednotky	32
4.5.2	Manipulační zařízení.....	33
5	Optimalizace využití výrobních linek	34
5.1	Alokace nákladů	35
5.2	Matematický model	38
5.3	Ověření správnosti modelu	47
5.4	Příprava dat pro model.....	51
5.5	Řešení modelu a interpretace dat	51
5.6	Zhodnocení matematického modelu.....	56
	Závěr	58
	Seznam použitých zdrojů	59
	Seznam tabulek	61
	Seznam obrázků	62
	Seznam příloh.....	63
	Abstrakt	66
	Abstract.....	67

Úvod

V současném globalizovaném světě, kde se rychlost a efektivita výrobních procesů stávají klíčovými faktory konkurenceschopnosti podniků, hraje plánování výroby zásadní roli. Efektivní, a hlavně pružné reakce výrobního plánu dokážou předejít velkému počtu výrobků na skladech a vázanému kapitálu v nízkých obrátových zásobách. Tyto snahy by měly být prioritou každé firmy, která má vysoce proměnlivou poptávku, nevýjimečnou pro dnešní dynamickou dobu.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na aplikaci matematického programování pro plánování výroby ve společnosti International Automotive Components Group, která je významným dodavatelem automobilových dílů. Na základě teoretických principů operačního výzkumu, matematického programování a logistiky, které tvoří fundamentální teoretický rámec této práce, bude formulován konkrétní matematický model.

Cílem této práce je navrhnout matematický model, který poslouží pro plánování výroby lisovací haly. Výsledný plán výroby musí zajistit včasné vyrobení několika výrobních požadavků, při použití co nejmenšího množství technologií firmy (případně poukázat na nesplnitelnost kombinace zadaných hodnot). Tento matematický model bude následně aplikován na konkrétní data reprezentující poptávky zákazníků společnosti. Jeho výsledky jsou zhodnoceny, interpretovány a porovnány s dosavadní praxí v podniku (plán tvořený empiricky).

Závěrem této práce bude vyhodnocení sestaveného modelu se zaměřením na doporučení pro konkrétní společnost. Dále budou diskutována případná omezení modelu a možná řešení těchto omezení.

1 Náklady podniku

Hlavní náplní teoretické části této práce bude v pozdějších kapitolách matematické programování a tvorba ekonomicko-matematického modelu. Pro správné zvolení optimalizačních kritérií daného modelu je vhodné si nejprve uvést, co jsou to náklady, jak se rozdělují a jak přiřadit náklady konkrétním objektům.

Náklady ve společnosti jsou finanční prostředky, které firma vynakládá na výrobu, poskytování služeb, provoz podniku. Do nákladů řadíme velké množství faktorů jako nákup materiálu, mzdy zaměstnanců, náklady na energie, vývoj, marketing, údržbu atd. Náklady jsou nedílná součást každého obchodního modelu a mají vliv na ziskovost společnosti. (Taušl Procházková, 2017)

Každý management společnosti by se měl zaměřit na to, jakými strategiemi udrží společnost na trhu. Základem takové snahy je jasná vize a podpora celkového rozvoje firmy. Činnosti, které jsou podporou těmto snahám je zefektivnění provozu a hospodárné vynakládání zdrojů. V praxi může nadměrná koncentrace úspor kolem jednoho produktu, vést k jeho znehodnocení. Produkt se poté stává neatraktivním pro odběratele. Toto jednání společnosti může dovést firmu k zániku. (Tyll, 2014)

Z těchto důvodů je nutné, aby organizace přistupovala k úsporám opatrně a vždy zvážit, jestli a popřípadě jak moc ovlivní finální produkt, který se dostane k zákazníkovi.

1.1 Rozdělení nákladů

Existuje celá řada rozčlenění nákladů do homogenních skupin, z nichž některé budou následně přiblíženy. Toto členění, ale musí vyvolat určitá potřeba. Schopnost managementu, jakožto řídicího subjektu firmy, vyvolat změnu ku prospěchu, stojí na znalosti organizace a procesů. Rozčlenění je základním předpokladem pro použití nástrojů manažerského programování.

1.1.1 Druhové členění

Nejčastěji používané rozdělení nákladů je na elementární nákladové druhy, které se vyskytují téměř v každém podniku. Toto rozdělení odpovídá finančnímu pojetí nákladů.

Mezi nákladové druhy patří:

- spotřeba materiálu, energie a externích služeb,
- osobní náklady (mzdy, sociální náklady...),
- odpisy hmotného a nehmotného investičního majetku,
- spotřeba použití externích prací a služeb (Údržba strojů a zařízení, budov ...),
- finanční náklady.

Toto rozdělení je jednoduché a přehledné, ale chybí zde informace o účelu vzniku nákladu. Není možné rozlišit původu nákladu např. zdali se jedná o materiál na výrobu produktu, anebo osobní ochranné pomůcky, mzdy výrobních zaměstnanců nebo mzdy technickohospodářských pracovníků, či odpisy výrobních zařízení nebo odpisy kancelářské techniky (klimatizace, počítače atd.). Rozdělení těchto nákladů se liší podle charakteru organizace. U manufaktury se očekává vysoký podíl osobních nákladů, a to především v podobě nákladů na výrobní dělníky. Automatizovaná montáž má vysoké prvotní investice na nákup strojů a techniky. Proto v nákladech mají největší zastoupení odpisy a samozřejmě materiál, z kterého jsou výrobky dělány. Naopak osobní náklady mají zastoupení malé. (Synek, 2011)

1.1.2 Rozdělení nákladů podle účelu

Jiným způsobem dělení nákladů je podle účelu v rámci, kterého jsou rozlišovány následující skupiny nákladů technologické náklady a na obsluhu a řízení, jednicové a režijní náklady, náklady přímé na nepřímé. Příklad rozdělení je uveden v tabulce č.1.

Technologické náklady jsou takové náklady, které souvisí s použitou technologií, resp. zajištěním výroby. Např. náklady na nákup látky, odpisy a náklady na provoz šicího stroje, mzda švadleny, nájem za budovu.

Náklady na obsluhu a řízení jsou pomocné náklady, které přímo nesouvisí s výrobou, ale bez nich by nefungovala. Jedná se o podpůrné činnosti technologického procesu, jako náklady na provoz jídelny, mzdy manažerů, logistické náklady atd.

Náklady jednicové jsou náklady, které jsou přímo úměrné s velikostí výroby, a to například náklady na výrobní materiál, náklady na energie, mzdové náklady výrobních zaměstnanců atd.

Režijní náklady jsou náklady, které souvisí s celým chodem organizace, nejsou závislé na objemu výroby. Například nájem za budovu, odpisy strojů.

Náklady přímé, jak už z názvu vypovídá, přímo souvisí s výrobou. Jsou to náklady, bez kterých by produkt nevznikl. Jedná se o náklady na materiál, mzdové náklady výrobních zaměstnanců apod.

Nepřímé náklady naopak s výrobou nesouvisí, jsou to například mzdy údržbářů, manažerů, náklady na výpočetní techniku. (Popesko & Papadaki, 2016)

Tabulka 1: Příklad rozdělení nákladů

Nákladová položka	Druh	Účel	Kalkulační členění	Závislost na objemu výroby
Spotřeba přímého materiálu	materiál	jednicový	přímý	variabilní
Spotřeba režijního materiálu	materiál	režijní	nepřímý	variabilní
Spotřeba energie na techno.	energie	jednicový	přímý	variabilní
Spotřeba provozní energie	energie	jednicový	nepřímý	fixní
Opravy a udržování	ostatní	režijní	nepřímý	semivariabilní
Mzdy výrobních pracovníků	osobní	jednicový	přímý	variabilní
Mzdy THP pracovníků	osobní	režijní	nepřímý	fixní
Ostatní provozní náklady	ostatní	režijní	nepřímý	fixní

Zdroj: Popesko & Papadaki, 2016

1.2 Nákladová alokace

Přirazování nákladů objektům (označované jako nákladová alokace) je jeden ze základních způsobů měření výkonu a efektivity. Jako nákladový objekt můžeme určit zákazníka, produkt, linku atd. Rozlišovány jsou dva typy přiřazení, a to přímé a nepřímé. Přímé náklady v alokaci jsou takové, které vznikly v přímém vztahu s nákladovým objektem. např. náklady na spotřebovanou látku šicím strojem. U nepřímých nákladů je situace komplikovanější, protože náklady nejsou přímo vztažené ke konkrétnímu objektu, ale spíše rozprostřené do všech částí firmy. Objekt a jeho substituty vyžadují například

výrobní halu, středisko údržby, vysokozdvizné vozíky atd. Pro rozpočítání nepřímých nákladů na vybraný objekt, se použije nákladová alokace, kde je nutné zvolit vztahovou veličinu. (Popesko & Papadaki, 2016)

1.2.1 Alokační fáze

Alokace nákladů podle vybrané vztahové veličiny. Například v situaci výrobního podniku, kde objekt bude výrobní linka a vztahová veličina budou strojové hodiny. V tomto příkladě se zvolí svévolná alokace, protože strojové hodiny nejsou přímo úměrné s náklady linky. Naopak pokud by se zvolila vztahová veličina vyrobené kusy, jednalo by se o alokaci podle příčinné souvislosti.

- První fází je přiřazení přímých nákladů objektu alokace, to jsou náklady, které byly přímo vyvolány objektem.
- Druhá fáze co nejpřesněji vyjádřit vztah mezi objekty a objektem, který vyvolal jejich vznik. Porozumíme, jaké nepřímé náklady se na objekt pojí a zvolíme si vztahovou veličinu, která je důležitá pro třetí fázi.
- Třetí a poslední fáze spočívá v co nejpřesnějším vyjádření podílu nepřímých nákladů připadajících na vybraný objekt.

1.2.2 Metody alokace nepřímých nákladů

Pro alokaci nepřímých nákladů existují 3 metody. Nadřazená metoda těm ostatním je princip příčinné souvislosti. Každý objekt by měl mít náklady, které způsobil. Princip únosnosti nákladů neříká, kolik nákladů objekt způsobil, ale kolik nákladů může způsobil, aby byl ziskový. Poslední nejjednodušší princip je průměrování, který se neptá na žádné otázky a rozpočítá nepřímé náklady průměrně na jeden objekt. (Popesko & Papadaki, 2016)

V tabulce 2 je příklad použití metody příčinné souvislosti. Mezi 143 oprav je průměrem rozděleno 787 318 Kč. Jedna opravy vychází na 5505,73 Kč. Dále je tato částka násobena u každého stroje zvlášť počtem oprav daného stroje.

Tabulka 2: Příklad rozdělení nepřímých nákladů

Číslo stroje	Počet oprav	Spotřeba ND	Náklady na opravy	Celkem
1	22	61 200 Kč	121 126 Kč	182 326 Kč
2	3	4 500 Kč	16 517 Kč	21 017 Kč
3	10	49 650 Kč	55 057 Kč	104 707 Kč
4	30	111 400 Kč	16 512 Kč	127 912 Kč
5	0	- Kč	- Kč	- Kč
6	41	220 000 Kč	225 735 Kč	445 735 Kč
7	17	137 730 Kč	93 597 Kč	231 327 Kč
8	0	- Kč	- Kč	- Kč
9	13	55 400 Kč	71 574 Kč	126 974 Kč
10	7	22 800 Kč	38 540 Kč	61 340 Kč

Zdroj: Popesko & Papadaki, 2016

2 Logistika

Logistika je vědní disciplína, jejíž počátky sahají až do doby sumerské, v této době se však jednalo pouze o jednoduché počty a úvahy. Logistika sehrála velkou roli v druhé světové válce, kdy bylo potřeba přesouvat obrovské množství munice, zbraní a vybavení pro vojáky. Další milník ve vývoji logistiky se odehrál ve druhé světové válce, kdy se v logistice začaly využívat metody lineárního matematického programování, strukturní analýzy, dynamického programování, síťových grafů a metody hromadné obsluhy. Do 70. let se logistika orientovala spíše na dopravu a zásobování, což bylo ovlivněno dobou, kdy ve světě poptávka převyšovala nabídku. Vše se výhradně odehrávalo na operativní úrovni (uskladňování, vychystávání zboží, určování časových režimů dopravy...). Po 70. letech, v době recese se situace obrátila a nabídka předčila poptávku, z toho důvodu musely firmy nabízet levnější produkty s rychlejší dodací lhůtou, aby předčily konkurenci (Klabusayová, 2019).

Své levnější a rychlejší služby musely firmy propagovat a omezené množství zákazníků zaujmout a podnítit k nákupu. Díky tomu v té době došlo k velkému rozvoji marketingu. Logistika a marketing tedy určovaly, zda firma bude úspěšná či nikoliv. (Johnová, 2008)

Logistika třetího tisíciletí už není jenom o optimalizování materiálových toků, ale i o optimalizaci toků finančních, obalových a se snadno dostupnými informačními systémy, též toků informačních. Ekologie začala v logistice třetího tisíciletí hrát velkou roli. Evropská politika zvýhodňuje nákladní auta, která splňují vyšší EURO normy, tím že mýtná pro tyto automobily jsou výrazně nižší. (Ředitelství silnic a dálnic ČR, c2019) Novější auta vyprodukují méně skleníkových plynů a spotřebují méně pohonných hmot, díky tomu jsou náklady na dopravu nižší. Logistika je zajišťující koncept pro výrobní řetězec, ale v praxi se rozděluje na dílčí celky. Nejčastější používané dílčí celky jsou zásobovací, výrobní a distribuční. Zásobovací logistika se týká především nákupu a vztahu mezi firmou a dodavatelem. Výrobní logistika se zabývá toky materiálu ve výrobě a snaží se, aby provoz byl plynulý. Distribuční logistika se zaměřuje na vztah mezi firmou a zákazníkem, kdy je cílem dodat výrobek v požadovaný čas a kvalitě. (Daněk & Plevný, 2005)

2.1 Cíle logistiky

Mnohé společnosti formulují své cíle v oblasti logistiky jako „*dostat správné zboží na správná místa ve správný čas ve správné kvalitě a s minimálními možnými náklady*“. Bohužel, dosažení všech těchto cílů je pro podnik téměř nereálné. Žádný systém nedokáže současně maximalizovat úroveň poskytovaných služeb a při tom minimalizovat distribuční náklady. (Kotler & Lane, 2013 s.462)

Cíle logistiky dokážeme rozdělit na dvě skupiny, a to vnější a vnitřní. Vnější cíl se zabývá zajištěním spokojenosti zákazníka. Vnitřní cíl je zajištění této spokojenosti při minimálních nákladech.

Logistické cíle musí být formulovány pro každý podnik. Některé firmy budou preferovat dodání produktu přesně v dohodnutém čase a jiné budou preferovat orientační dodání s co nejnižšími náklady. Obecný logistický cíl je, aby řízení materiálového toku vedlo k maximálnímu obratu, při minimálních nákladech a investicích za splnění požadovaných termínů a kvalit.

Vnější cíle logistiky

Vnější cíle lze definovat jako optimální obsluhu zákazníka, která splní jeho přání a požadavky. Vnější cíle podle Klabusayové (2019) jsou:

- „dodací lhůta,
- průběžnou dobu a spolehlivost dodávky,
- odchylky od sjednaného množství,
- počet nevyhovujících dodávek či nevyhovujících kusů“.

Vnitřní cíle logistiky

Oproti tomu vnitřní cíle, které se zaměřují na snížení nákladů na logistické operace nebo snížení pracovního kapitálu na výrobní procesy, což přispívá ke zvýšení výkonnosti, zisku a likvidity podniku a podle Klabusayové (2019) jsou:

- „náklady na vystavení objednávky,
- náklady na dopravu, přepravu, manipulaci,
- náklady na držení zásob,
- náklady spojené s nesprávně fungující logistikou“.

2.2 Informační toky

Informační toky v logistice jsou klíčovým prvkem, který umožňuje efektivní řízení dodavatelského řetězce a zajišťuje plynulý pohyb zboží od výrobce k zákazníkovi. Tato síť informací je kritická pro koordinaci a optimalizaci všech fází logistického procesu. Při popisu informačních toků v logistice je důležité tyto toky popsat a identifikovat odkud a kam vedou.

Informace o poptávce

Prvním důležitým tokem je informace o poptávce. Tato informace pramení z objednávek zákazníků, anebo úspěšnosti marketingových kampaní. Je to prvotní impuls pro naskladnění materiálu a plánování výroby ve firmě.

Skladové informace

Informace o sledování zásob, které plynou mezi skladem a výrobními objekty, jsou důležité pro efektivní plánování nákupu materiálu. Tyto informace zamezují nedostatku materiálu při výrobě a generování dodatečných nákladů při prostojích.

Informace o plánech výroby

Plán výroby určuje, co se má vyrobit a kdy se to má vyrobit. Je to opět velmi důležitý informační dokument, od kterého se odráží plánování expediční dopravy, nákup materiálu a lidí.

Dopravní informace

Dopravní a trasovací informace poskytují přehled o pohybu zboží. Sledování je důležité pro řízení přepravních procesů a zajištění správného doručení zboží na místo určení.

Všechny tyto informace jsou sdílené mezi odděleními ve firmě. Nejde pracovat pouze s jednou informací, ale je potřeba koukat na všechny pro dosažení největší efektivity a rychlosti. (Christopher, 2016)

Recenze zákazníka

Zpětná vazba zákazníka, která určuje spokojenost se službami a cenovou politikou, kterou podnik poskytuje. Je to jedna z důležitých informací podle, kterých se podnik bude vyvíjet a formovat za účelem co největších prodejů.

2.3 Materiálové toky

Materiálový tok je organizovaný pohyb materiálu, který proudí přes celou firmu, a to od nákupu materiálu na sklad, výrobu produktu až po dodání hotového výrobku zákazníkovi. Materiálový tok se skládá z aktivních a pasivních prvků.

Aktivní prvky – díky těmto prvkům probíhá ve výrobě takzvaný tok, jsou to prvky, které ovlivňují prvky pasivní. Často jsou to manipulátory, dopravníky, dopravní zařízení.

Pasivní prvky – jsou ovlivňovány prvky aktivními. Nejedná se o samotný produkt nebo materiál, ale manipulační a přepravní jednotky, který materiál nebo produkt obsahují.

Přepravní řetězec – je přemísťování materiálu, mezi místy v nichž je materiál vyžadován procesem daného místa.

Logistický řetězec – se liší od přepravního řetězce tím, že neřeší jenom pohyb materiálu, ale veškeré činnosti, které s ním souvisejí. To znamená že organizuje nákup materiálu, plánování výroby, administrativní činnost, pohyby informací apod. (Daněk & Plevný, 2005)

Řízení materiálového toku

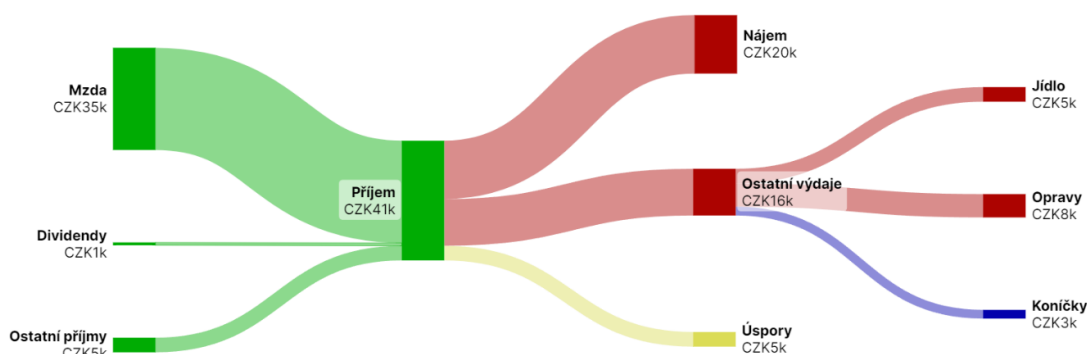
Jedna z velmi důležitých součástí logistického řetězce je materiálový tok. Na něj, ale v opačném směru navazuje tok obalových materiálů k recyklaci a likvidaci a produkty, které jsou zákazníkem reklamovány z důvodu poškození, nebo defektu z výroby. Jednotka veličiny materiálového toku závisí na typu výroby a charakteru podniku. Pro grafické vyobrazení materiálového toku se používá Sankeyův diagram. Řízení materiálového toku zahrnuje dle Daňka a Plevného (2005):

- balení,
- manipulaci,
- přepravu.

Sankeyův diagram

Sankeyův diagram je jeden z nejznámějších grafů pro vyjádření a vizualizaci materiálového toku v podniku. Diagram má největší využití v logistice, ale originálně vzniknul kvůli propojení termodynamiky a technologických procesů. Vysoká vypovídající schopnost společně s technickými prvky, udělala ze Sankeyova diagramu standart, který je používán v řadě oborů a odvětví (jak ilustruje i obrázek 1). Sankeyův diagram zobrazuje směr a množství proudění finančních prostředků, měrných jednotek zboží nebo objemu jakéhokoliv jiného vybraného materiálu. (Jurová, 2016)

Obrázek 1: Příklad použití Sankeyova diagramu



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

2.4 Manipulační jednotky

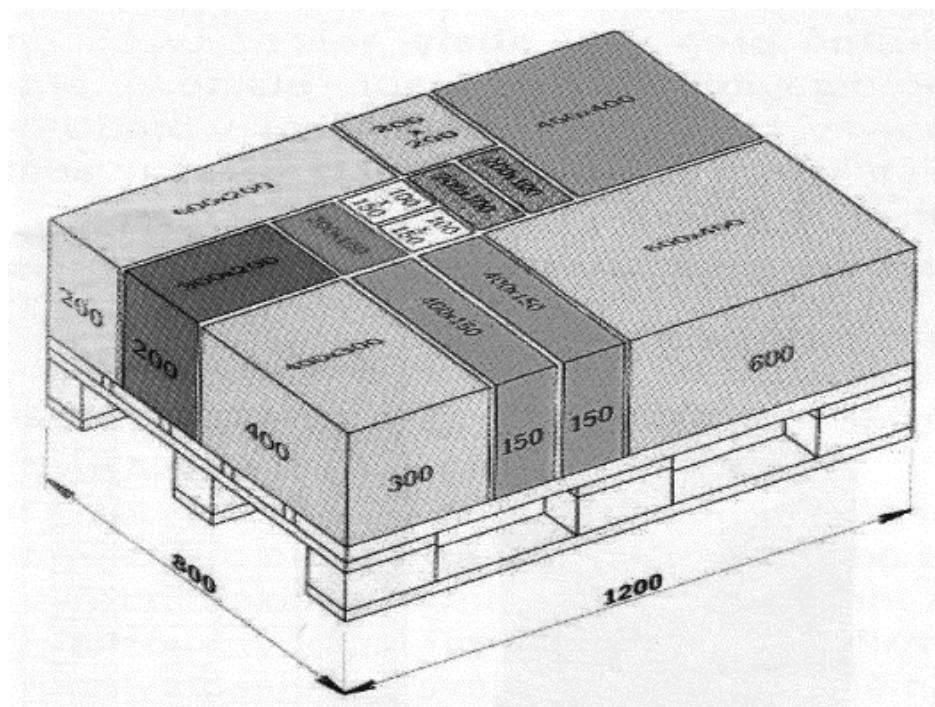
Manipulační jednotky neboli pasivní prvky materiálového toku jsou prvky, které usnadňují manipulaci s výrobky. Manipulační jednotky dělíme na prvního a druhého řádu. Mimo manipulačních jednotek, jsou rozlišovány ještě jednotky spotřebitelské a přepravní.

Manipulační jednotky prvního řádu jsou základní manipulační jednotky, přizpůsobené pro ruční manipulaci. Je žádoucí, aby se základní manipulační jednotka pohybovala z místa svého vzniku do všech návazných částí logistického řetězce. Základní manipulační jednotka je také minimální objednávkové množství. Manipulace probíhá nejčastěji pomocí ručně vedených manipulačních zařízení. Velikost těchto jednotek, bývá normována viz. obrázek č. 2 pro jednoduché stohování a skládání na manipulační

jednotky druhého řádu. Avšak pokud firma vyrábí předmět o atypické velikosti, bude nucena manipulační jednotku navrhnout tak, aby splňovala požadavky podnikových procesů.

Manipulační jednotka druhého řádu je odvozená od rozměrů dopravních prostředků. Jsou to jednotky, se kterými se zpravidla manipuluje pomocí manipulačních zařízení. Na tyto jednotky se stohují manipulační jednotky prvního řádu a jsou větší, těžší a pevnější. Jsou to například balíky, svazky, palety, gitterboxy. (Daněk & Plevný, 2005)

Obrázek 2: Stohovatelnost manipulačních jednotek



Zdroj: Techportal.cz, 2021

2.5 Manipulační a dopravní zařízení

Manipulační a dopravní zařízení hrají klíčovou roli v logistických operacích a dodavatelském řetězci tím, že umožňují pohyb a manipulaci s pasivními prvky. Tato zařízení jsou navržena tak, aby zlepšila efektivitu logistického řetězce. Manipulační zařízení jsou užitá vnitropodnikově pro manipulaci s materiálem, výrobky atd. Mají často menší kapacitu, ale za to vyšší ovladatelnost a jsou prostorově úspornější. Dopravní zařízení jsou používána na delší přepravní vzdálenosti, oproti manipulačním zařízením jsou velká a operují na veřejných komunikacích. (Daněk & Plevný, 2005)

Rozdílů mezi oběma typy zařízení je více, jak přibližuje následující přehled.

Manipulační zařízení

Manipulační zařízení, jak bylo výše zmíněno, odpovídají za vnitropodnikovou manipulaci s materiálem. Rozumí se tím i zařízení, která pracují přímo na výrobní lince a pouze posouvají materiál dál. To rozděluje manipulační zařízení podle toho, jak v průběhu času pracují na:

- cyklicky pracující manipulační zařízení,
- kontinuálně pracující manipulační zařízení.

Cyklicky pracující manipulační zařízení jsou taková, která se drží pracovního cyklu. Pracovní cyklus jsou po sobě jdoucí operace, které se v čase opakují. Představitelem těchto cyklických prací může být motorový vysokozdvíhací vozík čelní. Je to vozík vyžadující školeného řidiče s platným průkazem. Velkými výhodami těchto vozíků je jejich rychlost, univerzálnost a modulovatelnost. Tyto vozíky jsou schopny manipulovat s břemeny do 20 tun a zvedat je do výšky 5 metrů. Jsou velmi oblíbenou volbou pro firmy, kde plní funkci obsluhy výrobních linek, naskladňování materiálu, nakládání dopravních zařízení apod. (Christopher, 2016)

Kontinuálně pracující manipulační zařízení jsou navržena tak, aby pracovala nepřetržitě, bez přerušení. Do této kategorie patří různé typy dopravníků, elevátorů a portálových vykladačů.

Dopravní prostředky

Dopravní prostředek může být definován různě, například jako pohyblivý objekt, který slouží k přepravě nákladu a pohybuje se po dopravních cestách. Dopravní prostředky se rozdělují na silniční, železniční, letecké a lodní. Každý z těchto typů, může být upraven pro specifické přepravní potřeby výrobku. Například vozy chladící, výsypné, nádržové apod. (Jurová, 2016)

3 Operační výzkum

Operační výzkum je vědní disciplína, nebo lépe řečeno soubor samostatných disciplín, které se specializují na analýzu různorodých rozhodovacích problémů. Tento obor může být také nazýván jako výzkum operací, což lépe reflektuje jeho základní principy a oblasti aplikace. Operační výzkum nachází aplikace všude tam, kde je potřeba analyzovat a koordinovat operace v rámci daného systému. (Jablonský, 2007)

Operační výzkum se používá zejména při řešení ekonomických a inženýrsko-vědeckých problémů. V podnikovém hospodářství se operační výzkum uplatňuje především v oblastech výroby a logistiky. V jiných zemích se taky používá spojení matematické plánování nebo propočet optimalizace. (Kislingerová, 2007)

Modely operačního výzkumu jsou různorodé a zabývají se rozdílnými ekonomickými oblastmi s orientací na problémy podnikové či společenské praxe. Vzhledem k této skutečnosti vznikly jednotlivé třídy problémů a postupem času se z nich staly samostatné disciplíny operačního výzkumu.

„V dnešní době je operační výzkum vědou intenzivně aplikovanou a živě se rozvíjející. Jeho metody nacházejí stále častější uplatnění v řadě odvětví lidské činnosti, kde je třeba komplexně analyzovat a efektivně koordinovat prováděné operace.“ (Kubišová, 2015, s. 1)

Následuje stručný popis nejběžnějších disciplín operačního výzkumu, seřazených od nejstarších po nejnovější.

Teorie her

Teorie her se uplatňuje v mnoha oblastech lidské činnosti ekonomii nevyjímaje. Pojem hra není typické představení hry, ale jde o konfliktní situace mezi společnostmi, lidmi apod. Tato oblast je považována za nejstarší a nejobecnější disciplínu operačního výzkumu. Zabývá se hlavně matematickým zobrazením a řešením konfliktních situací, které se účastní alespoň dva aktéři s různými zájmy. (Šubrt et al., 2011)

Teorie zásob

Teorie zásob, je klíčová k efektivnímu řízení a optimalizaci dodavatelských a distribučních procesů v podnikání. Zahrnuje správu toku materiálů, informací a financí od počátečního dodavatelského bodu a k zákazníkovi. (Daněk & Plevný, 2005)

Matematické programování

Matematické programování se zabývá tvorbou modelů, které obecně reprezentují určitou část reality a pomáhají při manažerském rozhodování. Je to disciplína, kterou lze dělit na několik podskupin – jako programování lineární, dynamické, celočíselné, fuzzy apod. Z těchto podskupin vycházejí obecné modely, které lze s úpravami aplikovat na konkrétní problémy podniku a s jejich pomocí optimalizovat procesy, nebo získat podklady pro důležitá rozhodnutí. Podrobněji bude problematika matematického programování přiblížena v následující sekci (3.1).

Teorie grafů

Teorie grafů, nebo také síťová analýza je oblast tvořící důležitý aparát disciplín operačního výzkumu. Graf je zde ve formě útvaru, který se skládá z jistého množství bodů, které nazýváme vrcholy grafu a z množiny spojnic mezi těmito vrcholy, tedy z hran. Teorie grafů se používá pro určení maximální propustnosti sítě, minimální cesty mezi body atd. (Plevný & Žižka, 2010)

Teorie hromadné obsluhy

Teorie hromadné obsluhy je součástí aplikované matematiky, která zkoumá činnosti systémů, v nichž se opakovaně vyskytují požadavky vykonat posloupnost homogenních operací. Tato oblast je ze systémů zákazník – obsluha, lze si pod tímto představit například myčku aut. Teorie hromadné obsluhy bude zkoumat kolik aut průměrně stojí ve frontě, kolik času zde stráví anebo kolik obslužných míst by bylo ideálních pro obslužení poptávky. (Šubrt et al., 2011)

Vícekritériální rozhodování

Jedna z mladších oblastí operačního výzkumu, která se zabývá analýzou rozhodovacích úloh, v nichž jsou varianty, které jsou k dispozici pro rozhodování posuzovány ne podle jednoho, ale podle několika hodnotících kritérií zároveň. (Jablonský, 2007)

3.1 Matematické programování

Matematické programování (MP) je disciplína v oblasti optimalizace, která se zabývá formulací a řešením matematických modelů s cílem nalézt nejlepší možné řešení v rámci stanovených omezení. Matematické modely jsou jednou z významných opor současného společenského vývoje, zejména ekonomicko-matematické modely, které jsou

ve společnostech užitečným nástrojem pro optimalizaci procesů a snížení nákladů. Uplatněním vhodných matematických metod při řešení problémů, podpoře rozhodování a řízení, společnosti šetří finanční prostředky ale i přírodní zdroje. Tato disciplína se uplatňuje v řadě odvětví, včetně ekonomie, inženýrství, výroby, logistiky a dalších. (Šubrt et al., 2011)

Definice matematického modelu je určité zobrazení reálného systému, přičemž se vždy jedná o zjednodušený obraz skutečnosti. (Plevný & Žižka, 2010)

Fáze užití matematického programování

Podle Plevného a Žižky (2010, s.11) je pro úspěšné použití metod MP nutné disciplínu rozdělit na několik částí a to:

- „pozorování systému,
- definice problému,
- konstrukce a ověření správnosti modelu,
- příprava dat,
- řešení úlohy modelem,
- interpretace a implementace získaného řešení.“

Fáze užití MP jsou klíčové pro efektivní využití této disciplíny v praktických aplikacích. Prvním krokem je pozorování systému, což zahrnuje důkladnou analýzu a pochopení fungování systému, s nímž se pracuje. Následuje definice problému, kde se specifikují hlavní výzvy a cíle, které je třeba řešit. Poté se přistupuje ke konstrukci a ověření správnosti modelu, což vyžaduje vytvoření matematického modelu a jeho následnou verifikaci, aby se zajistilo, že model přesně odráží reálné podmínky a požadavky. Příprava dat je dalším důležitým krokem, který zahrnuje shromažďování, čištění a organizaci dat potřebných pro analýzu. Řešení úlohy modelem je proces, kde se využívají matematické a výpočetní techniky k nalezení optimálního řešení definovaného problému. Závěrečnými fázemi je interpretace a implementace získaného řešení, což zahrnuje analýzu výsledků a jejich aplikaci v praxi. Tyto fáze společně formují komplexní proces, který umožňuje efektivně využít MP pro řešení praktických problémů. (Plevný & Žižka, 2010)

Další sekce objasní vybrané oblasti MP, a sice lineární programování, celočíselné lineární programování, přiřazovací problém, simplexovou metodu, metodu větví a hranic, ale také nahlédne do softwarového řešení modelů.

3.2 Lineární programování

Lineární programování stanovuje, že při tvorbě modelu musí být všechny jeho funkce lineární. Lineární funkce je taková, jejíž graf má podobu přímky mezi závislou proměnnou y a nezávislou x . Znamená to tedy, že x může být pouze v první mocnině a nesmí být součástí složitějších funkcí. Lineární funkce je jednou z nejzákladnějších a nejčastěji používaných matematických funkcí. (Jablonský, 2007)

Lineární modely zobrazují systém s určitou mírou nepřesnosti, vyplívající z předpokladu linearitě zobrazovaných procesů a deterministického charakteru parametrů modelu. Přes svoji možnou nepřesnost poskytují důležité informace pro podporu rozhodování. Díky své jednoduchosti a použitelnosti se lineární programování stalo jednou s nejvíce využívaných metod matematického programování. (Šubrt et al., 2011)

Obecně formulovaný model lineárního programování

Soustavy lineárních rovnic a nerovnic představují soubor lineárních vztahů mezi proměnnými, které mohou mít různý praktický obsah. Lineární závislosti nejsou v praxi tak časté jako ty nelineární, přesto je upřednostňována formulace problému lineárními rovnicemi a nerovnicemi pro jednoduchou řešitelnost. Tyto výhody převažují nevýhodu nutnosti zjednodušení modelu pro lineární formulaci. Soustava dvou lineárních rovnic se dvěma proměnnými je zapsána obecně pomocí rovnic 1 a 2.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = b_1 \quad (1)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = b_2 \quad (2)$$

Kde:

x_1, \dots, x_n jsou proměnné soustavy rovnic,

a_{12}, \dots, a_{ij} je koeficient j -té proměnné x v i -té rovnici a

b_1, \dots, b_m jsou hodnoty pravých stran.

(Šubrt et al., 2011)

Tato soustava je základem pro sestavení ekonomicko-matematického modelu. Ten je tvořen účelovou funkcí, omezujícími podmínkami a obligátními podmínkami. Účelová funkce, někdy také kritériální, může být formulována pro maximalizaci nebo minimalizaci (dle konkrétního typu problému). Například při tvoření modelu pro snižování nákladů, bude účelová funkce minimalizovat náklady nehladě na zisky (ty lze nastavit na minimální, maximální anebo rozsah v omezujících podmínkách, tomuto se bude kapitola věnovat níže). Naopak pokud bude účelová funkce maximalizovat zisk nebude hledět na velikost nákladů, ale pouze na rozdíl mezi výnosy a náklady. Obecný zápis maximalizační účelové funkce je vyjádřen vzorcem 3,

$$\max (z) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots \quad (3)$$

kde z je výsledek rovnice v ekonomicko-matematickém modelu, nejčastěji peněžní hodnota,

c_1, \dots, c_n je peněžní, hodnotový koeficient pro x_1, \dots, x_n .

(Plevný & Žižka, 2010)

Omezující podmínky jsou většinou lineární nerovnice, které omezují množinu přípustných řešení. Na levé straně těchto nerovnic bývají strukturální koeficienty, které popisují vztah mezi činiteli a procesy, a jednak hodnoty pravé strany, které definují absolutní úroveň činitelů. Ovšem nemusí určovat jenom absolutní úroveň, ale i poměry mezi proměnnými nebo velikosti dodávek apod. (Jablonský, 2007) Příklad omezujících podmínek:

$$A_1x_1 + A_2x_2 \leq d_1 \quad (4)$$

$$x_2 = 2x_1 \quad (5)$$

Tyto dvě omezující podmínky říkají, že součet proměnných musí být menší nebo roven koeficientu d_1 a x_2 musí být vždy dvakrát větší než x_1 .

Pro komplexní ekonomicko-matematický model je potřeba zavést dále obligátní podmínky, které určují, v jaké množině čísel se budou proměnné nacházet. Základní podmínkou je ve většině případů nezápornost proměnných. Ovšem ve specifických případech může být i celočíselná podmínka nebo binární podmínka, která proměnným přiřazuje pouze 1 a 0. (Jablonský, 2007)

Příklad obligátní podmínky pro nezápornost:

$$x_n \geq 0 \quad (6)$$

Výše uvedené rovnice a nerovnice tvoří čtyři základní kroky k vytvoření ekonomicko-matematického modelu. Samotným formulováním modelu, nejde dojít k optimalizaci procesů, je potřeba model vyřešit a najít optimální řešení.

3.2.1 Řešení lineárního modelu

K řešení lze dojít několika způsoby, v případě použití výkonné informační technologie, lze k výsledku dojít i kombinatorikou. Další metodou může být i grafická metoda, ta je ale omezena počtem proměnných, které může zobrazit. Nejznámější metoda pro řešení lineární modelů je metoda simplexová.

Simplexová metoda

Simplexová metoda umožňuje řešit model se stovkami proměnných. Pro řešení modelu simplexovou metodou je obecně nutné si model uvést do kanonického tvaru. Tento tvar má tři požadavky a to:

- všechny omezující podmínky musí být ve tvaru rovnosti,
- všechny hodnoty pravých stran podmínek omezujících podmínek jsou nezáporné,
- v matici koeficientů A existuje jednotková submatice s hodnotou počtu lineárně nezávislých omezujících podmínek.

Většina omezujících podmínek má podobu nerovnice. Pro převedení na rovnice je potřeba přičíst či odečíst proměnou podle nerovnice. Tyto proměnné budou dále značeny jako R_k a jsou to tzv. doplňkové proměnné. Hodnoty pravých stran je nutné převést do kladného tvaru vynásobením celé rovnice zápornou 1, pokud jsou hodnoty kladné, tak se rovnice ponechává bez úprav. Dále je potřeba vytvořit jednotkovou submatici. Jsou-li doplňkové proměnné kladné a jsou-li ve všech podmínkách, nastává vysoká šance, že jednotková submatice vytvořená je. V případě, že tomu tak není, je nutné přidat tzv. umělé proměnné, které submatici doplní, budou značeny jako P_1 . (Plevný & Žižka, 2010)

Kanonický tvar se dále zapíše do tabulky. Pomocí transformací matice za dodržování určitých pravidel, lze dojít ke čtyřem závěrům:

- nalezení optimálního řešení,
- optimální řešení neexistuje z důvodu neomezenosti množiny přípustných řešení,
- optimální řešení neexistuje, nelze vynulovat umělé proměnné,
- nekonečně mnoho optimálních řešení.

3.3 Celočíselné programování

Jednou ze speciálních úloh lineárního programování je celočíselné programování (CLP). Jedná se obecně o úlohu, která je doplněna o podmínku celočíselnosti. Tato podmínka zabezpečuje, aby všechny nebo vybrané proměnné nabývaly pouze celočíselných hodnot. Použití je například u modelů, které obsahují nedělitelné jednotky jako například kusy výrobků (zejména v případě malého objemu výroby) nebo opakující se procesy. (Jablonský, 2007)

Bivalentní proměnné

Bivalentní proměnné jsou podskupinou CLP, přičemž jde o tzv. rozhodovací proměnné. Tyto proměnné se používají v modelech, ve kterých je potřeba udělat nějaké rozhodnutí. Nadefinování této proměnné, je v případě požadavku na binární celočíselnost následující:
 $x \in \{0,1\}$, kde nesmí chybět slovní definice všech stavů jevu, tj.

$x = 1$... *definovaný jev se uskuteční*

$x = 0$... *definovaný jev se neuskuteční*

(Plevný & Žižka, 2010)

Metoda větví a hranic

Metoda větví a hranic (Branch and Bound, též B&B) je významná algoritmická strategie používaná pro řešení optimalizačních úloh, zvláště efektivní v kontextu celočíselného lineárního programování a kombinatorických problémů. Algoritmus začíná s celým zadaným problémem a postupně ho rozděluje na menší a spravovatelnější „podproblémy“ (dílčí celky) prostřednictvím procesu zvaného větvení. V každém kroku větvení se množina přípustných řešení rozděluje na menší části s konkrétními předpoklady nebo omezeními pro jednu nebo více proměnných. Toto rozdělení umožňuje systematické

prozkoumání všech potenciálních řešení prostřednictvím expanze stromové struktury, kde každý uzel reprezentuje jedno z možných řešení.

Druhým zásadním aspektem metody větví a hranic je ohraničení (Bounding), které pomáhá určit, zda je nutné daný podproblém dále zkoumat. Pro každý podproblém se dle maximalizace/minimalizace určí dolní nebo horní meze účelové funkce (obvykle pomocí řešení relaxované verze úlohy, kde jsou odstraněna celočíselná omezení). Pokud je tato mez horší než nejlepší dosud nalezené řešení, proces odříznutí (Pruning) zastaví další zkoumání této větve, což efektivně snižuje počet možností, které musí být prozkoumány. Tento přístup nejenže zvyšuje efektivitu algoritmu tím, že omezuje zbytečné výpočty, ale také umožňuje rychlejší dosažení optimálního řešení. (Plevný & Žižka, 2010)

3.4 Přiřazovací úloha

Jedna ze základních obecných úloh celočíselného lineárního matematického programování s bivalentními proměnnými je přiřazovací úloha. Podle Šubrta (2011) patří přiřazovací úloha společně s jednostupňovou dopravní úlohou k těm nejjednodušším typům distribučních úloh. Distribuční úlohy řeší problematiku přiřazování určitých prvků ke stejnému počtu jiných prvků např. pracovníkům k pracovištím, tak aby výsledek byl optimální.

Podmínky pro obecnou přiřazovací úlohu jsou následující:

- použití bivalentních proměnných,
- kapacit musí být více (pozitivně nevybilancovaná) nebo stejně jako požadavků,
- stejný nebo větší počet kapacit a požadavků.

(Jablonský, 2007)

Obecný zápis účelové funkce a podmínek celého modelu:

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, n \quad x_{ij} \in \{0; 1\} \quad (9)$$

4 International Automotive Components Group

Po představení základních náležitostí matematického programování je vhodné dále představit podnik, ve kterém bude praktická část práce zpracována.

4.1 Informace

Společnost byla založena v roce 1993 pod jménem *EMPETEK autodíly společnost s ručením omezeným* se základním kapitálem 100 000 Kč. Firma byla v roce 2000 přejmenovaná na Lear Corporation Czech s.r.o., protože už v roce 1997 se americká firma Lear Corporation stala 100 % majitelem (základní kapitál za dobu vlastnictví vzrostl na 258 693 000,- Kč). Následně, v roce 2006 byla firma naposledy za svoji existenci prodána, a to firmě International Automotive Components Group. Tímto došlo i k přejmenování na IACG s.r.o. (dále uváděno jako IACG).

Ve firmě pracuje mezi 2500–2999 zaměstnanců a hlavním předmětem podnikání firmy je:

- výroba plastových a pryžových výrobků,
- výroba strojů a zařízení,
- výroba čalounických výrobků,
- velkoobchod a maloobchod,
- skladování, balení zboží, manipulace s nákladem technické činnosti v dopravě,
- příprava a vypracování technických návrhů, grafické a kresličské práce,
- výzkum a vývoj,
- testování, měření, analýzy a kontroly. (Úplný výpis z obchodního rejstříku, b. r.)

Obrázek 3: Logo firmy IACG s.r.o.



Zdroj: iacgroup.com, 2024

4.2 Historie podniku

Společnost s dnešním názvem IACG s.r.o. je výrobce automobilových komponent už několik let. Zaměřuje se především na interiérové díly do aut. Firma v Česku začínala

výrobou dveřních panelů. Tento směr se rozrostl a dnes vyrábí dveřní panely do několika modelů aut. Ve svých začátcích se firma rozhodla experimentovat s výrobou stropních panelů. V roce 2003 začala poprvé nabízet střešní panely automobilovým výrobcům. Výrobky se těšily velkému úspěchu a firma začala vyrábět střešní panely do tehdy nejprodávanějších aut na světě (jako např. Volkswagen Golf). V této době musela rozšířit výrobu, aby mohla uspokojit další projekty od automobilových firem a postavila výrobní závod na adrese Hlávkova 1254, Přeštice, který se později stal sídlem firmy.

Firma byla v první dekádě nového milénia na svém vrcholu a byla jedním z největších a nejlépe odměňujících zaměstnavatelů v regionu. V roce 2020 s příchodem pandemie Covid-19, byla firma vystavena nepříznivým vlivům, které ji jak personálně, tak finančně zasáhly. Po pandemii následovala energetická krize, kterou vyvolala ruská agrese na Ukrajině. Pro výrobní závod je navýšení cen o stovky procent značný finanční náklad. Pro neefektivní výrobní závody mohlo být takovéto navýšení cen likvidační.

Firma kvůli těmto krizím byla nucena vyhledávat oblasti, ve kterých může najít úspory, avšak tyto úspory nesměly mít dopad na kvalitu výrobků. Tyto snahy byly úspěšné a podnítily další investice do efektivity výrobních procesů nebo udržitelnosti výroby. Jeden z velkých projektů pro firmu v rámci udržitelnosti je instalace fotovoltaické elektrárny na střechu výrobního závodu. Podle odhadů firmy by tato investice pokryla 20 % celkové spotřeby elektrické energie.

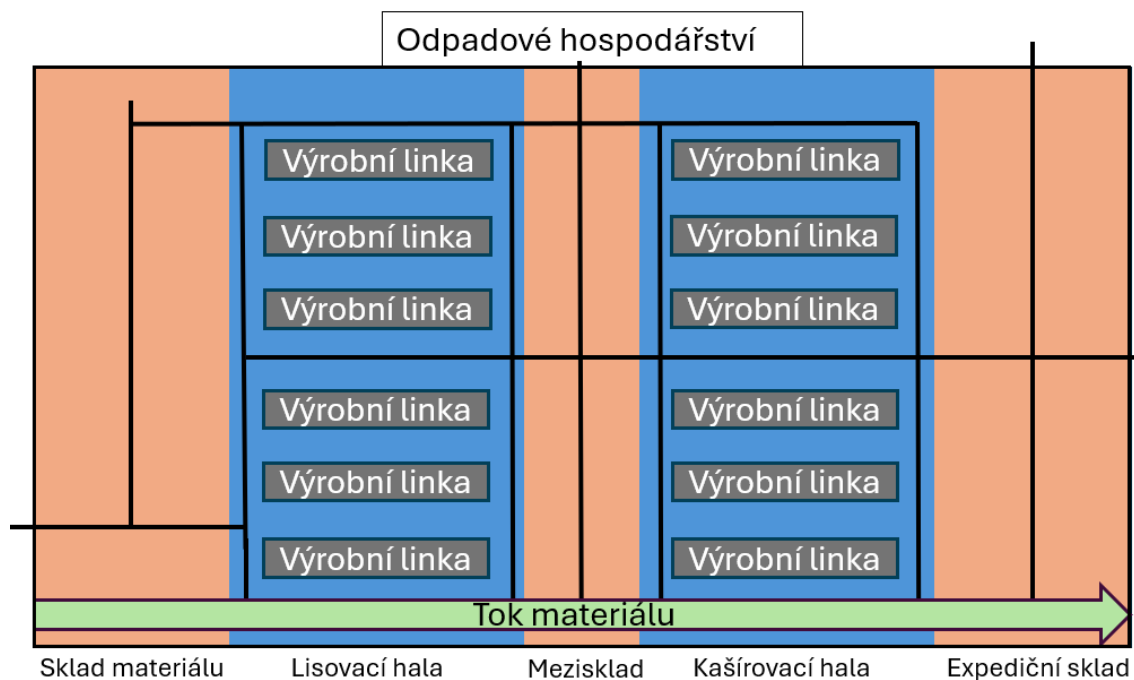
4.3 Popis výroby produktu

V popisovaném výrobním závodě se vyrábí interiérové střešní panely do aut. Výroba těchto dílů se skládá ze dvou částí. První část se odehrává na lisovací hale, ve které je vyroben polotovár. Při výrobě polotovaru je zapotřebí výměna nástroje v lisu výrobní linky pro každý typ polotovaru a též použití správných materiálů. Používané materiály nejsou specifické pro každý typ polotovaru, ale jsou shodné například pro jednoho zákazníka nebo deriváty jednoho typu polotovaru. Na plánování výroby polotovaru se soustředí tato bakalářská práce. Po vytvoření polotovaru, se na kaširovací hale nanese na polotovár materiály a namontují se díly objednané zákazníkem. Zde vzniká pohledová část finálního výrobku.

4.4 Layout výrobních prostor společnosti

Na obrázku č. 4 je načrtnutý layout výrobního závodu firmy IACG. Závod je uspořádán tak, aby tok materiálu byl jednosměrný a plynulý. První část zleva je sklad materiálu, následuje lisovací hala, mezisklad polotovarů, kaširovací hala a expediční sklad. Dále jsou v obrázku černými liniemi vyznačeny manipulační uličky vyhrazené pro vysokozdvizné vozíky. Z nákresu je patrné, že výrobní linky musí být přístupné ze dvou stran. Na levé straně je doplňován materiál pro výrobu a na pravé straně jsou odváženy polotovary nebo finální výrobky. Uličky, které jsou vyobrazeny jako přesahující areál objektu, jsou ve skutečnosti výjezdy z výrobní haly. Ty slouží pro naskladňování, vývoz odpadu a expedici finálních výrobků.

Obrázek 4: Zjednodušený layout výrobního závodu IACG s.r.o



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

4.5 Tok materiálu a informací

Tok materiálu a informací představuje základní aspekt v řízení výrobních procesů každé firmy a je klíčovým prvkem pro dosažení efektivity a konkurenceschopnosti. Tento koncept zahrnuje plynulý pohyb materiálu, zpracovaných produktů a informací od dodavatelů přes výrobní linky až k zákazníkům. Pro pochopení procesů a operací ve firmě je nezbytné seznámení se těmito toky.

Logistika

Prvním krokem v řetězci výrobních a logistických operací v automobilovém průmyslu jsou poptávky zákazníků, známé jako odvolávky. Tyto požadavky jsou přímo integrovány do systému s označením MFG typu Enterprise Resource Planning (ERP), zodpovědným za řízení toku informací a materiálů. Tento systém automaticky generuje objednávky potřebného materiálu u externích dodavatelů a zároveň zařazuje interně vyráběné materiály do seznamu požadavků.

Detailní informace o množství kusů, typech materiálů a termínech dodání jsou předány specialistům logistiky, kteří pečlivě plánují výrobní operace na kaširovací hale pro následující den. Plán výroby je následně elektronicky předán logistikovi na lisovací hale, který provádí potřebné úpravy a optimalizace výrobního procesu s cílem zajistit výrobu nezbytného množství polotovarů, známých také jako nosičů. Tento koordinovaný postup umožňuje efektivní reakci na poptávku zákazníků a minimalizuje zpoždění v dodávkách.

Sklad

Jakmile materiál z objednávky dorazí na sklad, je zkontrolován pracovníky skladu podle dodacího listu, opatřen RFID etiketou a naskladněn. Vedoucí hal si nastudují výrobní plán. Interními žádankami si objednají potřebný materiál na konkrétní výrobní linky. Ve chvíli, kdy materiál opouští sklad, je RFID čtečkou načten do počítače a řidič vysokozdvizného vozíku (dále řidič VZV) materiál přiřadí výrobní lince na konkrétní hale.

Výroba polotovaru

Každý vyrobený polotovar je opatřen čárovým kódem s uvedeným typem, dnem výroby a artiklem. Polotovary jsou vloženy do manipulační jednotky. Manipulační jednotka musí mít na zevnějšku informace o typu polotovaru, o odpovědné osobě za kvalitu a o počtu kusů. Řidič VZV plnou manipulační jednotku odveze a naskenuje do systému MFG. Tímto přiřadí počet kusů daného typu do meziskladu a vytiskne štítek, který zajistí dodržení metody FIFO.

Výroba finálního výrobku

Finální výrobek je vyráběn na kaširovací hale. Výroba začíná tím, že řidič VZV naskenuje čárový kód manipulační jednotky v meziskladu a přepíše její místo v systému MFG na výrobní linku kaširovací haly. Podle počtu vyrobených finálních výrobků se počet

polotovarů automaticky odečítá. Na konci linky je opět na manipulační jednotku druhého řádu, přidán lístek s počtem kusů, jménem operátora odpovídajícího za kvalitu a s typem výrobku. Řidič VZV manipulační jednotku odveze do expedičního skladu, naskenuje čárový kód, polepí štítkem pro zajištění metody FIFO a uskladní.

Expedice

Expedice se řídí podle informací (seznamu plánovaných nakládek), které dodá oddělení logistiky. V seznamu je číslo manipulační jednotky, artikl výrobku, orientační čas příjezdu vozidla a směr, kterým bude odjíždět. Aby kamion začal být nakládán, musí souhlasit informace řidiče s informacemi, které má řidič vysokozdvížného vozíku.

4.5.1 Manipulační jednotky

Manipulační jednotky prvního řádu jsou podle kapitoly 3.4 jednotky takové, se kterými lze ručně manipulovat. V IACG je nejbližší jednotka k jednotce prvního řádu závěsný box. Tvar této jednotky je odvozen od velikosti polotovaru. Polotovar má montážní otvor, který je právě využit při uskladňování do závěsného boxu. Tyto jednotky jsou nejčastěji ve firmě označovány jako tzv. věšáky z důvodu způsobu uskladnění polotovarů.

Další manipulační jednotkou je výklopný kontejner pro odpad z výrobní linky. Opět manipulační jednotka není normovaná a je navržena, tak aby vyhovovala požadavkům výrobní linky. Objem této jednotky je 1 m³ a manipulace s těmito kontejnery je možná pouze s VZV. Mechanismus výklopu je stěžejní pro efektivní nakládání s odpady a rychlé zpracování v paketovacím lise.

Manipulační jednotky druhého řádu jsou ve společnosti IACG kovové, uzavíratelné palety. Tyto palety jsou klíčové pro ochranu finálních výrobků před mechanickým poškozením během přepravy a před nepříznivými přírodními vlivy během skladování. Díky své robustní konstrukci a uzavíratelnosti poskytují výrobkům nezbytnou bezpečnost. Jedná se o vratné palety, což znamená, že cirkulují pouze mezi společnostmi IACG a jejími zákazníky, čímž se minimalizuje potřeba neustálého nakupování nových palet a podporuje udržitelnost operací. Avšak s touto výhodou souvisí i značná nevýhoda. Palety jsou navrženy tak, aby transportovaly pouze jeden specifický typ výrobku, což omezuje jejich univerzálnost a flexibilitu.

4.5.2 Manipulační zařízení

Manipulační zařízení společnosti tvoří z 90 % vysokozdvizné elektrické vozíky, které přepravují manipulační jednotky prvního a druhého řádu. Důvod tohoto řešení je, vysoká flexibilita těchto vozíků při manipulaci s různými typy nákladů v rámci výrobního a skladovacího prostředí. Elektrický pohon je volen právě pro použití uvnitř výrobní haly, z důvodu produkce minimálního množství emisí. Navíc jsou elektrické pohony relativně tichá zařízení, která snižují hlukovou zátěž na zaměstnance oproti vozíkům plynovým nebo naftovým.

Jedno z klíčových zařízení firmy jsou vysokotonážní vysokozdvizné vozíky, které jsou určeny pro výměnu nástrojů v lisech. Bez těchto zařízení by firma nebyla schopna reagovat na požadavky zákazníků a její portfolio by se muselo značně zmenšit. Výměna nástroje do lisu výrobní linky je precizní operace, vyžadující manipulaci s až 9 tun těžkým břemenem, které musí být vloženo s přesností na milimetry. Pomocí náhlavní soupravy a přesně naladěného ovládání manipulačního zařízení jsou pracovníci technického oddělení schopni tyto výměny provádět několikrát denně. Technické oddělení, vzhledem k náročnosti výměn nástrojů, usiluje o to, aby logistik lisovací haly při plánování zredukoval množství těchto výměn. Nicméně tato redukce by měla za následek předvýrobu polotovarů a zvýšení skladových zásob (což je však také nežádoucí). Další kapitola se proto problematice vázaného kapitálu v zásobách polotovarů bude věnovat blíže a objasní, proč pro firmu nadále snížení počtu výměn není prioritou.

5 Optimalizace využití výrobních linek

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, prioritou společnosti při plánování výroby není omezit výměny nástrojů a materiálů, ale snížit množství vázaného kapitálu v zásobách polotovarů. Tato kapitola bude věnována představení zavedeného omezení, naformulování matematického modelu, který se dokáže řídit těmito omezeními, použití modelu a následnému vyhodnocení.

Společnost při zvyšování své efektivity zavedla několik opatření pro zvýšení likvidity. Jedním z těchto opatření bylo snížení vázaného kapitálu ve skladu polotovarů. Konkrétním opatřením je zákaz výroby polotovaru dříve než 2 dny před odevzdáním na kaširovací halu. Tímto zákazem vznikl tlak na vytváření plánu výroby lisovací haly pro maximálně 2 dny, respektive 6 směn. Priorita plánování se nyní nezaměřuje na výrobu co největšího počtu kusů za účelem splnění týdenních požadavků a maximalizaci efektivity výroby. Prioritou nyní je výroba maximálně na 6 směn dopředu, pro snížení šance nevyužití polotovaru během 48 hodin. Z dlouholetých zkušeností firmy v automobilovém průmyslu byl vyvozen právě tento plánovací horizont.

Plánování výroby se v důsledku těchto opatření stalo náročnější. Vysoké snížení pojistné zásoby polotovarů, nutí pracovníka logistiky přesně plánovat, aby nedošlo k zastavení výrobní linky. V případě poruchy jedné z výrobních linek, je zapotřebí pružné reakce logistika, který musí přeplánovat všechny výrobní dávky.

Stávající systém plánování výroby na lisovací hale probíhá tak, že logistik si vytiskne dvoudenní výrobní plán kaširovací haly a postupně výrobní dávky označuje zvýrazňovači. Ty podle barvy označují potřebný materiál pro výrobu dané dávky. Logistik následně výrobní dávky řadí za sebe, aby materiály na jednotlivých zařízeních navazovaly. Přičemž prioritou je dodržení času odevzdání dávky a respektování kapacity strojů. Vše je následně zadáváno do elektronického plánu výroby, který je přístupný všem pracovníkům IACG.

Stávající systém plánování na základě zkušeností by mohl vylepšit matematický model. Sestavením a řešením modelu, který by byl omezen termíny odevzdání, velikostí výrobních dávek, diferencovanými výrobními zařízeními, vytíženosti nástrojů a výrobních linek, při sledování kritéria minimalizaci použitých výrobních linek by bylo možné ve velmi krátkém čase vytvořit funkční a proveditelný výrobní plán, který by

optimalizoval počet použitých výrobních linek. (případně upozornit na nemožnost provedení zadaného plánu ve stanoveném čase).

Následně proběhne porovnání tohoto modelu se stávajícími postupy v podniku. Pokud by výsledky modelu překonaly nebo se alespoň vyrovnaly zkušenostem pracovníka logistiky (z pohledu kvality přiřazení), model by mohl být postupně integrován do elektronických systémů firmy, což by zefektivnilo plánovací procesy. V opačném případě, pokud by model neposkytl lepší řešení, než stávající logistické postupy by výsledky tohoto srovnání poskytly základ pro další zdokonalování a rozvoj modelu (zahrnutí dalších podmínek či změnu optimalizačního kritéria apod.).

5.1 Alokace nákladů

Pro určení koeficientů do vytvářeného matematického modelu (jehož tvorba bude podrobněji popsána v následující sekci), je nutné alokovat náklady související s provozem na lisovací hale, které budou sloužit jako důležité informace při tvorbě účelové funkce. Tato alokace se bude řídit podle teoretické části – nejprve je tedy nutné určit jaké náklady vznikají a rozdělit je podle druhu a účelu. Všechny náklady budou vztažené k jedné směně. Na přání firmy budou hodnoty uváděné v této práci pouze přibližné. Jednotlivé sledované skupiny nákladů budou nyní blíže specifikovány.

Spotřeba přímého materiálu

Přímý materiál, který tvoří polotovary, je nezbytně nutný pro vytvoření výrobku, ale žádnými logistickými optimalizacemi nejde docílit úspory těchto materiálů. Tedy pro matematický model, není tento náklad důležitý.

Fixní náklady na provoz výrobní linky

Aby se na jedné výrobní lince mohly začít vyrábět nosiče, je nutné ji připravit. Tyto přípravy jsou finančně náročné. Na začátku je nutné provést kontrolu všech zařízení, připojených k lince. Další náklad je na přípravu nanášeče lepidla, kde je náklad necelých 10 000 Kč. Preventivní výměna nože 2 000 Kč. Po ukončení výroby na lince je linka uklizena a uvedena do původního stavu. Tyto operace jsou cenově nákladné z důvodu vzniku nebezpečného odpadu. Náklad na vyčištění je cca 5 000 Kč podle znečištění a použitého materiálu.

Spotřeba energie pro výrobní linku

Tato energie je dělena na dva typy, a to režijní a variabilní. Variabilní energie je nutná pro výrobu jednoho kusu výrobku. Některé výrobní linky mají vyšší spotřebu než ty ostatní z důvodu velikosti a špatné účinnosti, která plyne ze ztrátového tepla topných desek. Protože se příkony liší, je nutné toto v modelu promítnout. Příkon topných těles je čerpán z technické specifikace, příkony lisů jsou odhadované podle součtu všech zařízení na něm nainstalovaných. Náklad je počítán při 5 Kč za kWh a jedné 7,5h pracovní směně. Procenta uvedené v závorkách je vyjádření navýšení spotřeby oproti malému lisu. Výrobní linky s malými lisy jsou označeny jako č. 5,6,7; se středními lisy č. 4; a s velkými lisy č. 1,2,3,8.

Tabulka 3: Energetická náročnost podle velikosti lisu

Velikost	Příkon lisu (kW)	Příkon topného tělesa 1 (kW)	Příkon topného tělesa 2 (kW)	Součet příkonu (kW)	Peněžní náklad na jednu směnu (Kč)
Malé	50	25,9	25,9	101,8	3825 (100 %)
Střední	55	25,9	33,9	114,8	4305 (112 %)
Velké	60	33,9	33,9	127,8	4793 (120 %)

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Spotřeba provozní energie

Náklady na osvětlení, odvětrávání a temperaci výrobních prostor, není nutné promítnout do modelu. Plánování nemá vliv na tyto náklady a všechny tyto technologie musí být v provozu i při nejmenší kapacitě výroby.

Opravy a udržování

Všechny výrobní linky vyžadují různé servisní zásahy pro udržení třisměnného provozu, ale některé z těchto linek vlivem stáří vyžadují těchto servisních zásahů víc. Tyto náklady se tedy pojí s používáním výrobní linky či nikoliv. Výpočet konkrétní hodnoty bude vycházet z ročního výtahu poruch a celkových nákladů na údržbu výrobních linek včetně mzdových nákladů pracovníků oddělení údržby za rok 2023.

Hrubá mzda jednoho pracovníka technického oddělení je průměrně 50 000 Kč a firma IACG za pracovníka odvede 66 900 Kč měsíčně. Při 40 pracovnících, kteří jsou rozděleni do 3 směnného provozu, vychází celkový roční náklad na 32 160 000 Kč.

Poruchovost strojů v hale lisovny je nízká a počet strojních prostojů je z dat roku 2023 na osmi vybraných lisech 34,1 h. Celkový dostupný čas v roce 2023 byl ponížěn o dovolenou 25 dní vychází na 5 063 hodin celkem. Pracovníci technického oddělení tedy věnují na opravu těchto strojů 0,00674 % své celkové roční pracovní doby.

Celkové mzdové náklady na opravu strojů na lisovací hale, jsou násobkem mzdových nákladů technického oddělení a poměru stráveného času na opravách výrobních linek lisovny, vůči dostupnému ročnímu času (přibližuje rovnice 10).

$$32\,160\,000 \times \frac{34,1}{5063} = 216\,759 \text{ Kč} \quad (10)$$

Součet jednotkových poruch na vybraných lisech je 79, průměrná cena opravy jedné poruchy vychází na 2743 Kč. V tabulce č.4. je k vybraným výrobním linkám uveden počet poruch a celkový mzdový náklad na opravu těchto poruch.

Tabulka 4: Alokace mzdových nákladů výrobním linkám

Číslo lisu	Počet poruch	Náklad (Kč)
1	14	38 402
2	10	27 430
3	12	32 916
4	11	30 173
5	13	35 659
6	5	13 715
7	1	2 743
8	13	35 659

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Výrobní linky, které nekorelují s pracovním vytížením jsou 2, 3 a 6.

Mzdy výrobních pracovníků

Mzdy výrobních pracovníků se do určité míry odvíjejí od vytížení výrobních linek. Každá výrobní linka v provozu potřebuje 4 pracovníky, kteří výrobní linku obslouží na jednu směnu 5x v týdnu. Ve firmě s třísměnným provozem je potřeba 12 pracovníků.

Firma má pouze kmenové zaměstnance, tedy není pro ni možné operativně snižovat a navyšovat počet zaměstnanců. Náklad na mzdy výrobních pracovníků není možné v krátkodobém hledisku snížit. Pokud by model dokázal efektivněji plánovat za použití méně výrobních linek v dlouhodobém pozorování, snaha firmy by byla nenabírat nové zaměstnance za odcházející.

Mzdy vedoucích na lisovací hale

Pokud klesne počet potřebných výrobních pracovníků, měl by úměrně klesnout počet vedoucích pracovníků. Aktuálně jsou 3-4 vedoucí pracovníci na každé směně. Pokud by optimalizováním plánování výroby klesl počet potřebných skupin, měla by klesnout potřeba vedoucích těchto pracovníků.

5.2 Matematický model

V této kapitole bude navrhnout matematický model, který podmínkami a účelovou funkcí navrhne splnitelný plán výroby při zapojení minimálního počtu výrobních technologií.

V teoretické části bylo popsáno několik typů matematických modelů, přičemž z důvodu jednoduchosti a nízké náročnosti na výpočetní techniku je rozumné volit lineární matematický model. Pro konkrétní řešený problém je optimální zvolit matematický model vycházející z přiřazovací úlohy. Pro použití tohoto modelu je nutné použít celočíselné binární proměnné.

Důvodem pro volbu tohoto typu modelu je, že výrobní dávka musí být vyrobena pouze na jedné výrobní lince. Pokud by byla výrobní dávka rozdělena, efektivita výroby by se značně snížila, s ohledem na výměnu nástrojů ve výrobní lince.

Model musí být sestaven tak, aby výrobní dávka splňovala tyto body:

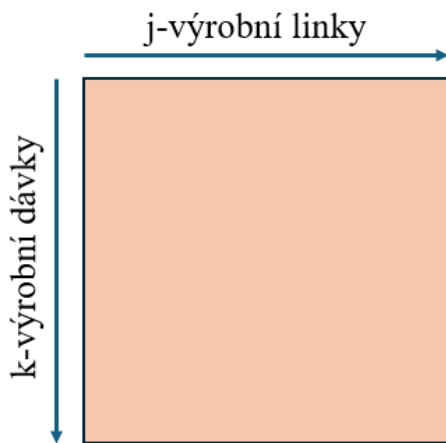
- musí být vyrobena v požadovaném čase,
- musí být vyrobena na správném stroji,
- v jednom okamžiku nelze vyrábět jeden typ výrobní dávky na více jak jedné výrobní lince,

- každý stroj má určitou časovou kapacitu a ta nesmí být překročena.

Definice proměnných

Prvním krokem při tvorbě matematického modelu je výběr vhodných proměnných. Jednou z možností je definovat proměnnou $x_{i,j}$, která by reprezentovala přiřazení i . výrobní dávky k j . výrobní lince. Tento přístup má omezení v podobě statické povahy modelu, jelikož by nezohledňoval časovou dimenzi a všechny informace by byly prezentovány v jediné tabulce viz. obrázek č.5. Právě časové hledisko je přitom s ohledem na plánování výroby s minimem zásob velmi důležité.

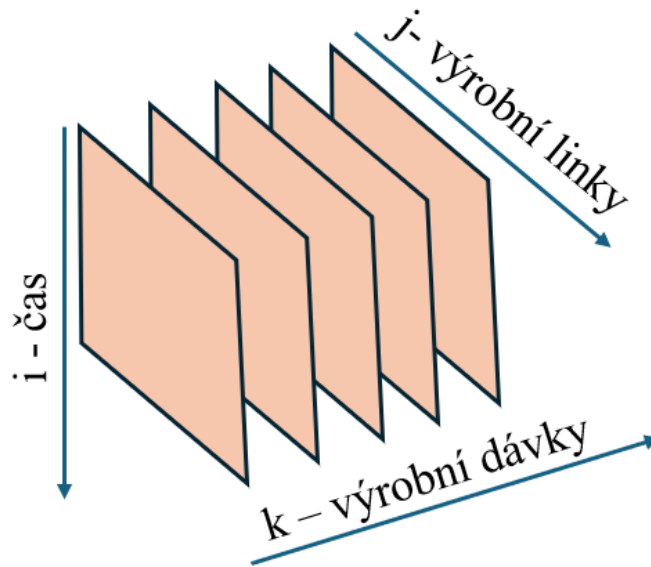
Obrázek 5: Zobrazení modelu při proměnných s dvěma indexy



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Řešením tohoto úskalí je přidat k proměnné index pro časové hledisko. Tento čas musí být vyjádřen vhodnou jednotkou, která nebude působit potíže s převodem ze šedesátkové soustavy. Vhodná volba ve výrobním podniku je jedna směna. Směny jsou v každém dni tři a veškeré výrobní normy jsou vztaženy vzhledem k jedné směně. Model tedy bude obsahovat proměnnou $x_{i,j,k}$, kde index i reprezentuje čas, j výrobní linku a k výrobní dávku. Proměnné budou zobrazeny ve formě k tabulek, které jsou seřazeny za sebou, jak přibližuje obrázek č. 6. Počet výrobních dávek určuje počet tabulek.

Obrázek 6: Zobrazení modelu při proměnných s třemi indexy



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Výsledná rozhodovací proměnná tedy bude binární (pro zamezení rozdělení výrobní dávky) a bude určovat na jaké výrobní lince jaká výrobní dávka a v jakém čase bude vyrobena.

$x_{ijk} = 1$... *k. výrobní dávka bude vyrobena na j. výrobní lince v čase i*

$x_{ijk} = 0$... *k. výrobní dávka nebude vyrobena na j. výrobní lince v čase i*

Výrobních linek j je v tomto modelu 8 a výrobních dávek k je, podle poptávek zákazníků, 20 až 50, včetně opakujících se typů výrobních dávek. Plán výroby se navrhuje na dva dny, respektive na 6 směn. Aplikovatelnost modelu bude stoupat závisle s detailnějším rozdělením času (směna, půl směny, desetina směny apod.). Společně s počtem proměnných, ale stoupá náročnost na výpočetní techniku. Pro účely tohoto modelu bude tedy 6 směn rozděleno na 12 půl směn.

Dále je definována proměnná, která zajistí využití lisů. Proměnná y_j bude určovat použití výrobní linky v daném plánovacím období (tj. nejbližších 6 směnách, resp. 12 půl směnách). Tato proměnná je nutná pro co nejefektivnější plánování.

$y_j = 1$... *výrobní linka j bude v plánovacím období použita*

$y_j = 0$... *výrobní linka j nebude v plánovacím období použita*

Účelová funkce

Účel tohoto modelu je vytvoření splnitelného plánu výroby, při použití nejmenšího přípustného množství výrobních technologií na lisovací hale. Kvalita přiřazení je však reprezentována nejen finančními ukazateli, ale i dalšími hledisky, reflektujícími praktické zkušenosti při stávajícím přiřazování. Proto, byly pro srovnávání kvality přiřazení (vhodnost výběru proměnné) zvoleny body reprezentující preference. Preferenční body budou nepřímo úměrné k preferenci, tedy čím více je sledovaný jev žádoucí (např. výběr daného stroje), tím méně body bude jev ohodnocen (fakticky se tak jedná spíše o antipreferenční či pokutové body, ale pro jednoduchost výkladu budou dále označovány jako preferenční). Je tak zřejmé, že cílem bude účelovou funkci minimalizovat. Účelová funkce se bude skládat celkem ze tří částí, přičemž dvě z těchto částí budou vztaženy k jedné proměnné.

První sada koeficientů $e_{j,k}$ slouží pro prioritizaci proměnných $x_{i,j,k}$, tak aby model vybíral výrobu výrobních dávek v bližších směnách před vzdálenějšími – tedy aby preferoval, proměnné, které jsou na začátku plánovacího období. Tyto koeficienty nelze exaktně kvantitativně určit a byly určeny na základě testování modelu. Koeficienty budou začínat od hodnoty 10 (první polovina směny) do 120 (šestá, poslední směna). Hodnota stoupá lineárně s časem v plánovacím období. Dále tyto kvalitativně určené hodnoty budou poměrově navýšeny podle nákladové alokace a specifických požadavků pro zaručení správného fungování modelu.

Z nákladové alokace vyplynulo, že střední lisy mají o 12 % větší příkon – tedy koeficienty pro výrobní linky se středními lisy vzrostou o 12 % (11-132). To samé platí pro výrobní linky s velkými lisy 20 % (12-144).

K výrobním dávkám stejného typu je nutné přiřadit více preferenčních bodů. Preferenční body navíc donutí model k přiřazení výrobní dávky výrobní lince, hned po uvolnění jak strojních kapacit, tak kapacit nástroje. Výše preferenčních bodů nelze kvantitativně určit. Základním způsobem je postupné navyšování koeficientů a pozorování chování modelu s ohledem na vyhodnocování správnosti výsledku. Z tohoto pozorování vyplynula hodnota od 600 do 7200 preferenčních bodů. Jiné řešení tohoto problému bude přiblíženo na konci kapitoly 5.4.

Příklad výpočtu koeficientů je uveden v tabulce č.5.

Tabulka 5: Ukázka výpočtu koeficientu

Velikost lisu/ směna/ opakovaný typ?	Časový koeficient	Účinnost výrobní linky	Prioritizace opakujících typů	Výsledný koeficient
Malý / 1 / NE	20	+0	+0	20
Střední / 2,5 / ANO	50	+5	+3000	3055
Velký / 6 / NE	120	+22	+0	142

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Druhá sada koeficientů jsou preferenční body pro použití výrobní linky vztažené k proměnné y_j . Tyto preferenční body jsou součtem maximálního počtu koeficientů na jedné výrobní lince s malým lisem, tj. 780 preferenčních bodů.

Třetí sada koeficientů je pro zohlednění efektivity a poruchovosti výrobních linek. V kapitole o alokaci nákladů, vyplynulo, že vybrané výrobní linky 2, 3 a 6 jsou poruchovější než zbytek výrobních linek. Je tedy vhodné poruchovost zohlednit v účelové funkci. Poruchovost na lisovací hale není, tak velká, aby model vybíral ostatní lisy na úkor času. Účel tohoto koeficientu je, aby v případě možnosti podobné doby ukončení všech výrobních dávek vybral výrobní linku s menší poruchovostí. Koeficient opět nelze kvantitativně určit, ale při implementaci modelu bylo stanoveno, že vhodná hodnota se pohybuje kolem 50.

$$\min z = \sum_{i=0,5, j=1, k=1}^{i=6, j=8, k=n} e_{j k} \times x_{i j k} + \sum_{j=1}^{j=8} 780 \times y_j + 50 \times (y_2 + y_3 + y_6) \quad (11)$$

Podmínka výrobení

První podmínkou, kterou je nutné zohlednit, je fakt, že výrobní dávka bude realizována pouze na jedné výrobní lince v jeden čas. Zápis této podmínky pro první výrobní dávku bude následující:

$$\sum_{i=1, j=1}^{i=6, j=8} x_{i j 1} = 1 \quad (12)$$

Podmínka zajišťuje, že součet všech proměnných, které obsahují index první výrobní dávky, se musí rovnat jedné. Tedy pouze jedna výrobní linka v určitém čase vyrobí první výrobní dávku. Lze taky říct, že každá tabulka s dimenzemi času a výrobních linek musí obsahovat pouze jednu proměnou nabývající hodnoty jedna.

Podmínka dokončení výrobní dávky

Další podmínkou pro model jsou časové požadavky. Jelikož jsou výrobní dávky zadávány logistikovi jako počet kusů, je nezbytné pro účely modelování kvantifikovat čas potřebný k výrobě každého kusu. Podle výrobních norem se počet kusů, určených k výrobě na kaširovací hale, převede na počet směn potřebných k jejich vyrobení na hale lisovací.

Jak už bylo zmíněno, výrobní linky nejsou univerzální a každý typ výrobní dávky může být přiřazen pouze vhodným výrobním linkám. Tento problém bude řešit zavedení pokutového koeficientu p_{jk} ve výpočtu počtu potřebných směn k výrobě výrobní dávky. Ten bude říkat, že pokud je výrobní linka vhodná pro výrobu určitého typu, nebude pokutována, tedy p_{jk} rovno 1, zatímco pokud na dané lince nelze typ vyrobit, p_{jk} rovno 20. Tato pokuta znemožní modelu použití nevhodného typu výrobní dávky na výrobní linku tím, že nebude možné splnit časovou podmínku dokončení výrobní dávky. Zahrnutí pokuty do podmínek, bylo vyhodnocen jako spolehlivější a přehlednější, oproti případnému zohledňování těchto koeficientů v účelové funkci.

$$v_{jk} = \frac{\text{Výrobní dávka}}{\text{Norma na směnu daného typu výrobní dávky}} \times p_{jk} \quad (13)$$

Omezující podmínka pro odevzdání výrobní dávky ve vymezeném čase je následující:

$$\sum_{i=0,5, j=1, k=1}^{i=6, j=8, k=n} x_{ijk} \times i \leq d_k \quad (14)$$

Tento zápis vyjadřuje, že násobek proměnné x_{ijk} a čas i musí být menší než čas odevzdání výrobní dávky d_k .

Povolení výroby na výrobní lince

Podmínka pro použití výrobní linky, bude určovat, že pokud model vyhodnotí nutnost výrobní linku použít, musí se příslušná binární proměnná y_j změnit z 0 na 1. Tato podmínka je nutná pro zajištění využití co nejméně výrobních linek za podmínky vyrobení všech výrobků v určeném čase. Nerovnice bude tvořena součtem všech proměnných k jedné výrobní linky, které musí být menší nebo rovny násobku počtu všech výrobních dávek k v plánování a proměnné y_j .

$$\sum_{i=0,5}^{i=6} \sum_{k=1}^{k=n} x_{i j k} \leq k \times y_j \quad (15)$$

Časová kapacita výrobních linek

Každá výrobní linka má časovou kapacitu. Pokud plánovací období činí 6 směn, kapacita každého stroje je také 6 směn. Je nutné časovou kapacitu navrhnout tak, aby model měl možnost v průběhu času, vkládat výrobní dávky do plánu. Tedy pouze až bude volná kapacita na konkrétním stroji, bude výrobní dávka vložena do plánu stroje. Tato podmínka kumuluje čas po půl směně, přičemž odečítá při každé kumulaci, proměnnou $x_{i j k}$ násobenou časovým přepočtem výrobní dávky. Příklad rovnice 16 a 17 pro první výrobní linku:

$$0,5 - \sum_{k=1}^{k=n} x_{0,5 1 k} \times v_{1 k} \geq 0 \quad (16)$$

$$0,5 + 0,5 - \sum_{k=1}^{k=n} x_{1 1 k} \times v_{1 k} - \sum_{k=1}^{k=n} x_{0,5 1 k} \times v_{1 k} \geq 0 \quad (17)$$

Časová kapacita stejného typu výrobních dávek

Výrobní dávky jsou většinu času diferencované typy polotovarů. V případě, že ve výrobním plánu bude požadavek na více výrobních dávek jednoho typu polotovaru, nastane (bez uvažování následující podmínky) situace, ve které jeden typ, bude ve stejném čase vyráběn na dvou různých výrobních linkách. To však v praxi není možné s ohledem na existenci jednoho nástroje, pro jeden typ polotovarů.

Tomuto lze zamezit podmínkou, která bude totožná s podmínkou pro kapacity výrobních linek, ale nebude obsahovat všechny výrobní dávky, ale pouze ty stejného typu. Pro příklad je uvedena podmínka pro výrobní dávky stejného typu 1 a 2.

$$0,5 - \sum_{j=1}^{j=8} x_{0,5 j 1} \times v_{j 1} + x_{0,5 j 2} \times v_{j 2} \geq 0 \quad (18)$$

$$0,5 + 0,5 - \sum_{j=1}^{j=8} (x_{1 j 1} \times v_{j 1} + x_{1 j 2} \times v_{j 2}) - \sum_{j=1}^{j=8} (x_{0,5 j 1} \times v_{j 1} + x_{0,5 j 2} \times v_{j 2}) \geq 0 \quad (19)$$

Shrnutí modelu

Účelová funkce:

$$\min z = \sum_{i=0,5, j=1, k=1}^{i=6, j=8, k=n} e_{j k} \times x_{i j k} + \sum_{j=1}^{j=8} 780 \times y_j + 50 \times (y_2 + y_3 + y_6) \quad (20)$$

Proměnné:

$x_{i j k} = 1$... k výrobní dávka bude vyrobena na j výrobní lince v čase i

$x_{i j k} = 0$... k výrobní dávka nebude vyrobena na j výrobní lince v čase i

$y_j = 1$... výrobní linka j bude v plánovacím období použita

$y_j = 0$... výrobní linka j nebude v plánovacím období použita

Omezující podmínky:

$$\sum_{i=1, j=1}^{i=6, j=8} x_{i j 1} = 1 \quad (21)$$

$$\sum_{i=0,5, j=1, k=1}^{i=6, j=8, k=n} x_{i j k} \times i \leq d_k \quad (22)$$

$$\sum_{i=0,5, k=1}^{i=6, k=n} x_{i j k} \leq k \times y_j \quad (12)$$

$$0,5 - \sum_{j=1, k=1}^{j=8, k=n} x_{0,5 j k} \times v_{j k} \geq 0 \quad (24)$$

Omezující podmínka pro určitý typ výrobní dávky je tvořena na míru konkrétnímu zadání. Podle příkladu v části, která se věnovala této podmínce viz. rovnice č. 18.

Obligátní podmínky:

$$x_{i j k} \in \{0,1\}, y_j \in \{0,1\}$$

Legenda koeficientů:

$e_{j k}$... preferenční body vyjadřující vhodnost přiřazení

výrobní lince j a výrobní dávce k

i ... vyjádření času v plánovacím období $\{0,5; 1; 1,5; \dots; 6\}$

$v_{j k}$... časová náročnosti výrobní dávky k na j . výrobní lince $\{0,1 - 25\}$

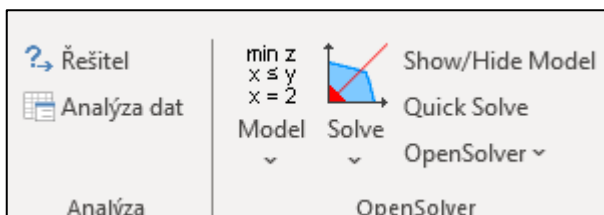
d_k ... čas odevzdání výrobní dávky k $\{2; 3; 4; 5; 6\}$

k_n ... celkový počet výrobních dávek v zadání $\{0; 1; 2; \dots; 50\}$

Řešitel matematického modelu

Sestavený matematický model lze řešit např. pomocí tabulkového procesoru Excel od společnosti Microsoft. Základní doplněk Řešitel (Solver) bohužel nepodporuje tak velké množství proměnných, proto je nutné zvolit a doinstalovat např. doplněk OpenSolver. OpenSolver (viz. obrázek č.7) je volně přístupný doplněk, který byl vyvinut studenty v Univerzitě Auckland na Novém Zélandu. Podporuje několik jak lineárních, tak nelineárních řešitelů. Řešitel, který bude využit pro optimalizaci tohoto modelu je COIN-OR CBC (Coin-or branch and cut), algoritmus větví a hranic. (Mason, 2012)

Obrázek 7: Výstřížek z aplikace Excel s doplňkem OpenSolver



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Řešení lze provádět lokálně na PC nebo odesílat data na servery pro rychlejší řešení.

5.3 Ověření správnosti modelu

Pro ověření správnosti chování modelu, podmínek a účelové funkce je klíčové provést testování. Jednou z metod ověření je zadání hodnot, pro které neexistuje řešení. Pokud model v takovém případě nevygeneruje přípustné řešení, lze usuzovat, že podmínky byly nastaveny korektně.

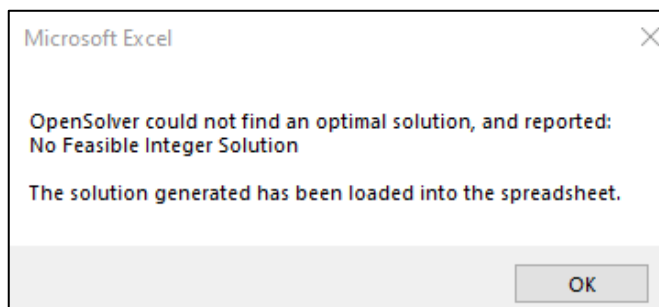
Ověření podmínky dokončení výrobní dávky

Ověření této podmínky je velmi jednoduché. Do zadání modelu se zadá výrobní dávka s vyšší časovou náročností, než bude čas odevzdání.

Pro zkoušku se tedy zapíše výrobní dávka 1 s časem odevzdání v první polovině druhé směny (1,5) s časovou kapacitou 1,67 směny. Z tohoto popisu je jasné, že není možné výrobní dávku vyrobit v čas. Pokud model usoudí to samé, je podmínka nastavená správně.

Po spuštění, řešitel zkontroluje linearitu a splnitelnost podmínek a až poté začne hledat optimální řešení s minimální účelovou funkcí. Řešitel svým oznámením (obrázek č.8) o nemožnosti řešení potvrdil správnost nastavení podmínky. Model při zachování podmínky nedokázal udržet binaritu proměnných, jak je vidět na obrázku č.9.

Obrázek 8:Oznámení při nenalezení řešení



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obrázek 9: Nedodržení binarity proměnných

	1	2	4	5
0,5	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0,24486
2	0,2006	0,2994	0	0
2,5	0	0,25514	0	0
3	0	0	0	0
3,5	0	0	0	0
4	0	0	0	0
4,5	0	0	0	0
5	0	0	0	0
5,5	0	0	0	0
6	0	0	0	0

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Ověření podmínky kapacity výrobních linek

Tato podmínka je komplexnější, a proto nebude tak jednoduché ověřit její správnost. Než řešitele zastaví podmínka na kapacity výrobní linky, dojde spíše k omezení ze strany podmínky dokončení. Je proto třeba model uzpůsobit k tomu, aby se otestovala pouze kapacitní podmínka výrobní linky.

Zadání musí být takové, které nebude model omezovat časem odevzdání a přiměje model vyrobit vše na jedné výrobní lince.

Pro test bylo vybráno 8 výrobních dávek (obrázek č.11), s celkovou časovou náročností 6,09 na 1. výrobní linku. V podmínce s proměnnou y_j se změnil koeficient z 30 na 0 u lisů 2–8, aby model použil pouze linku č. 1. Datum odevzdání byl nastaven na 7. směnu.

Model se zachoval správně a nedokázal splnit podmínku, jak je vidět na obrázku č.10. Tímto bylo ověřeno, že hranice modelu pro strojovou kapacitu je nastavena správně.

Obrázek 10: Kapacity výrobní linky

0,5	0
0,5	-2E-09
0,5	-3,6E-09
0,5	-5,6E-17
0,5	-5,6E-17
0,5	-3,6E-09
0,5	-2,9E-09
0,5	-3,4E-09
0,5	1,6E-09
0,5	-4,4E-11
0,5	0,30556
0,5	0,80556

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obrázek 11: Zadání pro ověření podmínky kapacity výrobních linek

1	0,60
2	0,80
3	0,40
4	0,20
5	1,00
6	0,79
7	1,20
8	1,10

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Ověření podmínky pro kapacitu typu výrobních dávek

Tato podmínka je důležitá pro využití nástroje určitého typu výrobních dávek. Pro každý typ, je k dispozici pouze jeden nástroj (forma). Tento nástroj má na plánovacím období 6 směn sdílenou kapacitu mezi všemi výrobními linkami. Pro ověření stačí zadat do modelu více jak 6 směn jednoho typu výrobku a spustit výpočet. Pokud model vyhodnotí zadání jako neřešitelné, je podmínka nastavena správně. Do zadání se zadaly 4 výrobní dávky stejného typu s časovou náročností 1,7; 2; 1,5 a 2,7 směny. Řešitel uznal model neřešitelným a tím potvrdil správně nastavenou podmínku viz. obrázek 12.

Obrázek 12: Tabulka kapacity typu

0,5	0,5	0
1	0,5	0
1,5	0,5	5E-09
2	0,5	1E-08
2,5	0,5	1,5E-08
3	0,5	1E-08
3,5	0,5	5E-09
4	0,5	0
4,5	0,5	-2E-09
5	0,5	-2E-09
5,5	0,5	-2E-09
6	0,5	-0,2

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Při ověřování této podmínky bylo však nalezeno omezení lineárního modelu. Model počítá s časovou kapacitou typu (nástroje), ale nepočítá s tím, kdy dojde k zahájení první výrobní dávky určitého typu a jak na ní bude navazovat. Tedy může dojít k problému, že poslední výrobní dávky jednoho typu, nebudou vyrobeny v čas. Tomuto problému lze předcházet v účelové funkci, tím, že těmto typům se přiřadí více preferenčních bodů, jak je popsáno v účelové funkci. Model bude prioritizovat proměnné těchto typů a tím budou co nejdříve umístěny do výrobního plánu. Toto řešení je funkční, pro 6 směn, ale v delším časovém období je potenciálně chybné. Při větším plánovacím horizontu by však také výrazně narostl počet řešených proměnných. Pro potřeby podniku stačí takto krátký plánovací horizont. Jedná se tedy o omezení, kterého si je autor vědom, ale pro účely konkrétního praktického problému není zásadní překážkou.

Problém lze vyřešit převedením modelu na nelineární s následujícími podmínkou. Vzhledem ke složitosti se uvede pouze příklad podmínky na druhé směně první výrobní linky (rovnice 25):

$$\sum_{i=0,5,j=1,k=n}^{i=1,5,j=1,k=n} (x_{i j k} \times v_{j k}) + x_{2 1 k} \times [v_{1 k} + \sum_{i=2,5,j=1,k=n}^{i=6,j=8,k=n} (x_{i j k} \times v_{j k})] \leq 6 \quad (25)$$

Tato podmínka počítá časovou náročnost přiřazených výrobních dávek jakéhokoliv typu na jedné výrobní lince do i . půl směny a časovou náročnost výrobních dávek konkrétního typu, které teprve musí být umístěny do výrobního plánu. Tento vzorec konkrétně říká, že součet všech přiřazených výrobních dávek na 1. výrobní lince do 1,5. směny a celkové časové náročnosti nezařazených výrobních dávek určitého typu od 2. směny, musí být menší nebo roven plánovacímu období (6 směn).

5.4 Příprava dat pro model

V této části bude popsána příprava dat do formy zadání pro navržený matematický model. Prvním krokem je z výrobního plánu kaširovací haly sepsat typ výrobní dávky, počet požadovaných kusů a čas odevzdání vyrobených polotovarů na kaširovací hale. Požadované kusy se musí převést na koeficienty v_{jk} , podle vzorce uvedeného v kapitole 5.2., společně s pokutami v příloze A. Výsledkem této přípravy je obrázek č.13 (jeho zvětšená verze je umístěna v příloze B).

Další úkolem před spuštěním modelu je vytvořit podmínku pro využívání typu J. Výrobní dávky typu J jsou 11, 16, 21 a 23.

Po sestavení podmínky je matematický model připraven k řešení, výrobního plánu na 6 výrobních směň.

Obrázek 13: Zadání pro model

Výrobní dávka	Typ	1	2	3	4	5	6	7	8	dk
1	A	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	2
2	B	0,70	0,70	0,70	0,70	14,00	14,00	14,00	0,70	2
3	C	0,77	0,77	0,77	0,77	15,30	15,30	15,30	0,77	2
4	D	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	2
5	E	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2
6	F	0,66	0,66	0,66	0,66	13,15	13,15	13,15	0,66	2
7	G	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	2
8	H	1,04	1,04	1,04	1,04	20,70	20,70	20,70	1,04	2
9	CH	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	3
10	I	1,15	1,15	1,15	1,15	23,08	23,08	23,08	1,15	3
11	J	1,63	1,63	1,63	1,63	32,64	32,64	32,64	1,63	3
12	K	0,93	0,93	0,93	0,93	18,56	18,56	18,56	0,93	3
13	L	0,31	0,31	0,31	0,31	6,20	6,20	6,20	0,31	4
14	M	0,75	0,75	0,75	0,75	14,97	14,97	14,97	0,75	4
15	N	0,54	0,54	0,54	0,54	10,90	10,90	10,90	0,54	4
16	J	1,49	1,49	1,49	1,49	29,76	29,76	29,76	1,49	4
17	O	20,22	20,22	20,22	20,22	1,01	1,01	1,01	20,22	4
18	P	16,65	16,65	16,65	0,83	0,83	0,83	0,83	16,65	5
19	Q	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	5
20	S	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	5
21	J	1,63	1,63	1,63	1,63	32,64	32,64	32,64	1,63	5
22	T	2,70	2,70	2,70	0,13	0,13	0,13	0,13	2,70	6
23	J	0,86	0,86	0,86	0,86	17,28	17,28	17,28	0,86	6

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

5.5 Řešení modelu a interpretace dat

V této části budou prezentovány data z výpočtu matematického modelu. Řešitel OpenSolver načítá 2208 proměnných x_{ijk} a 8 proměnných y_j . Počet proměnných měl vliv na čas nalezení optimálního řešení. Čas trvání výpočtu byl 183 s. V porovnání s dosavadním plánováním výroby, je tento čas zanedbatelný.

I přes ověření podmínek s neřešitelnými zadáními je důležité zkontrolovat, že nedošlo k porušení těchto logických omezení v prvním praktickém použití.

Na obrázku č.14 je zobrazena podmínka časové kapacity výrobních linek. Podle podmínky, buňky musí být větší nebo rovny 0. Z obrázku plyne, že podmínka nebyla porušena a na 8. výrobní lince zůstalo nejméně volné časové kapacity, 1,43 směny.

Obrázek 14: Využití kapacit výrobních linek

	Strojová kapacita							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	0,19	0,5	0,5	0,365116	0,5	0,5	0,346354	0,5
1	0,69	1	1	0,207424	1	0,47619	0,013745	0,3
1,5	1,19	1,5	1,5	0,707424	1,5	0,449017	0,513745	0,035
2	0,058	2	2	0,172424	2	0,051239	0,009301	0,535
2,5	0,558	2,5	2,5	0,672424	2,5	0,027429	0,509301	0,495
3	1,058	3	3	0,018578	3	0,527429	0,000412	0,066895
3,5	0,07	3,5	3,5	0,518578	3,5	0,01641	0,500412	0,566895
4	0,57	4	4	0,270191	4	0,51641	1,000412	1,066895
4,5	1,07	4,5	4,5	0,770191	4,5	1,01641	1,500412	1,566895
5	1,57	5	5	1,270191	5	1,51641	2,000412	0,434895
5,5	2,07	5,5	5,5	1,770191	5,5	2,01641	2,500412	0,934895
6	1,706	6	6	2,270191	6	2,51641	3,000412	1,434895

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Na dalším obrázku č.15 je zobrazena kapacita výrobních dávek typu J. Typ J byl naplánován 4x v průběhu plánovaného období, konkrétně na směně 2, 3,5, Podmínka nezápornosti buněk byla splněna.

Obrázek 15: Kapacita typu polotovaru

J	
0,5	0,5
1	1
1,5	1,5
2	0,368
2,5	0,868
3	1,368
3,5	0,38
4	0,88
4,5	1,38
5	0,248
5,5	0,748
6	0,384

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Plán výroby je kombinace všech 23 tabulek. Tabulka pro 1. výrobní dávku společně s podmínkou dodržení času odevzdání je na obrázku č.16.

Obrázek 16: Tabulka 1. výrobní dávky

	1	2	3	4	5	6	7	8		
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Řádky reprezentují směny, sloupce začínající od 1 do 8 reprezentují výrobní linky a poslední dva sloupce jsou pro dodržení data odevzdání. Tabulky lze jednoduše převést do stručného seznamu pomocí funkcí v aplikaci Microsoft Excel.

Při čtení seznamu přiřazených výrobních dávek (viz. obrázek 17 a 18), je nutné počítat se začátkem a koncem. Vhodným příkladem je 11. výrobní dávka s celkovou časovou náročností 1,632 směny. Začátek výroby této dávky je, až po 0,31 směny, protože na přiřazené výrobní lince (v tomto případě č. 1) předchází 13. výrobní dávka s trváním 0,31 směny. Konec zpracování 11. výrobní dávky je v 1,942 směně. Tato hodnota je dána součtem časové náročnosti výrobní dávky a časové náročnosti předcházejících výrobních dávek na první výrobní lince.

Obrázek 17: Výpis řešení modelu výrobní linky 1,2,3,4

	1		2	3	4	
0,5	13	0,31	0	0	22	0,13
1	0	0	0	0	6	0,66
1,5	0	0	0	0	0	0
2	11	1,632	0	0	8	1,04
2,5	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	10	1,15
3,5	16	1,488	0	0	0	0
4	0	0	0	0	14	0,75
4,5	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
5,5	0	0	0	0	0	0
6	23	0,864	0	0	0	0

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Obrázek 18: Výpis řešení modelu výrobních linek 5, 6, 7, 8

	5	6		7		8	
0,5	0	0	0	19	0,15	0	0
1	0	1	0,52	18	0,83	2	0,70
1,5	0	7	0,53	0	0	3	0,77
2	0	4	0,90	5	1,00	0	0
2,5	0	1	0,52	0	0	15	0,54
3	0	0	0	20	1,01	12	0,93
3,5	0	17	1,01	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
4,5	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	21	1,63
5,5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Plán modelu je nutné zpracovat do korektní podoby pro výrobní halu. V této korektní formě musí být rozděleny výrobní dávky do směn na výrobní linky viz. obrázek č.19.

Obrázek 19: Převedené řešení do korektní formy pro lisovací halu

	Linka č. 1		Linka č.4		Linka č.6		Linka č.7		Linka č.8	
1	13	0,31	22	0,13	1	0,52	19	0,15	2	0,7
	11	0,69	6	0,66	7	0,48	18	0,83	3	0,3
			8	0,21						
2	11	0,942	8	0,83	7	0,05	5	1,00	3	0,47
	16	0,058	10	0,17	4	0,9			15	0,54
					1	0,05				
3	16	1	10	0,98	1	0,47	20	1,01	12	0,93
			14	0,02	17	0,53				
4	16	0,43	14	0,73	17	0,48			21	0,57
5									21	1
6									21	0,06
	23	0,864								

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

5.6 Zhodnocení matematického modelu

Navržený plán, představený v předchozí kapitole, částečně korespondoval s plánem, který firma pro testovaná data použila. Například, stejně jako model i logistik rozmístil typ J výhradně na první výrobní linku. Model navíc úspěšně stanovil plán, který splňoval časová omezení s využitím minimálního počtu výrobních linek, což se shodovalo s výrobním plánem firmy. Většina typů výrobních dávek byla umístěna na stejných výrobních linkách, jaké vybral logistik, nebo na těch, které technologické omezení dovoluje. Po představení optimálního plánu výroby logistikovi, bylo konstatováno, že tento plán je proveditelný a může sloužit jako základ pro každodenní plánování. Model může být použit jako náhrada za logistika v době jeho absence. Kontrolu výsledků řešení a případnou úpravu, by ale musela zajistit osoba zastupující. Pouhá kontrola a úprava plánu by oproti aktuálnímu řešení přinesla značnou úsporu času. Aktuálně je časová náročnost řešení, včetně přípravy dat pro model od 15 do 60 minut, s ohledem na dovednosti v Microsoft Excel, zatímco u logistika tvoří náplň celé jeho pracovní doby.

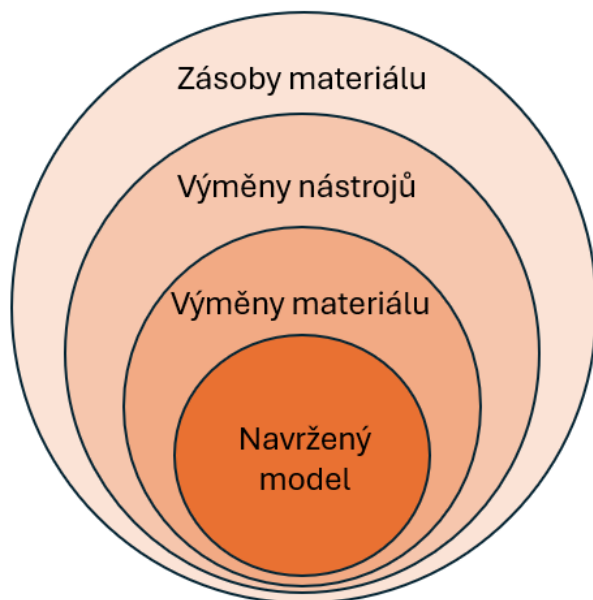
Dalším žádoucím krokem by byla integrace modelu s podnikovým systémem plánování, čímž by odpadla nutnost ručního zadávání dat do tabulkového procesoru.

Podněty, k případným úpravám modelu, ze strany firmy jsou takové, že pro zvýšení efektivity, je nutné minimalizovat počet výměn materiálů a nástrojů (forem). Tento krok by vedl také k optimalizaci nákladů na výrobu daného zadání. Tyto kroky si lze představit jako vrstvy finálního řešení, které by uspokojilo veškeré požadavky firmy (jak přibližuje obrázek č.20).

Cílem modelu bylo navržení funkčního a proveditelného plánu výroby, který bude omezen časem, kapacitou výrobních linek a nástrojů, při použití přípustného minima výrobních technologií. Z výsledků testování model tento cíl splnil. V případě použití nelineární podmínky uvedené v kapitole 5.4, a rozdělením času na menší části (např. 0,1 směny), by dokázal velmi efektivně naplánovat výrobu na lisovací hale. Aplikace těchto vylepšení modelu nicméně převyšuje implementační schopnosti doplňku pro řešení OpenSolver. Model by musel být navržen a řešen buď v interaktivním prostředí MatLab od společnosti MathWorks, které je určené pro pracování s náročnými výpočty, nebo naprogramováním aplikace, ve které bude integrován jeden z volně přístupných

nelineárních algoritmů. Tyto další úpravy navrženého modelu v současné chvíli přesahují rámec této bakalářské práce, ale bude s nimi uvažováno při další spolupráci s praxí.

Obrázek 20: Rozvrstvené finální řešení modelu plánování



Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navržení a použití matematického modelu pro plánování výroby v konkrétním podniku. Model byl vytvořen na míru požadavkům a technologiím výrobní haly společnosti International Automotive Components Group. Vychází z principů operačního výzkumu a matematického programování. Po představení teoretických východisek byl navržen lineární matematický model, který byl prakticky testován a byla diskutována jeho praktická implementace. Aplikace tohoto modelu na reálné poptávky zákazníků firmy ukázala, že model dokáže splnit časové kapacity vhodným rozdělením výrobních dávek do dvoudenního výrobního plánu (nepřetržitého provozu), a to při použití přípustného minima výrobních technologií. Případně model dokáže upozornit na nesplnitelnost stanoveného zadání. Model také dokáže pružně reagovat na poptávky zákazníků, v krátkém čase, oproti momentálnímu řešení ve firmě (empirické plánování s papírem a barevnými zvýrazňovači) a je uživatelsky přívětivý díky implementaci v tabulkovém kalkulátoru Excel.

Bakalářská práce se stala také ukázkou, že i obtížnější model plánování výroby nemusí nutně být apriori nelineární a že zvolením správných podmínek a účelové funkce lze do určité míry toto omezení překonat. Avšak při implementaci modelu, a i jeho konstrukci byly nalezeny oblasti, ve kterých je nelinearita v kontextu plánování výroby velmi výhodná. Tyto podmínky se nepodařilo vhodně linearizovat a k překonání tohoto, i dalších diskutovaných omezení je zapotřebí dalšího výzkumu. Zejména skrze zpřesnění plánovacího období a zavedením navržené nelineární podmínky.

Z této bakalářské práce plyne, že existují další příležitosti pro zdokonalování plánování výroby na lisovací hale. Tyto příležitosti mohou vést ke zvýšení efektivity a snížení nákladů, což vede ke zvýšení celkové produktivity a konkurenceschopnosti firmy. Firma by se dále měla zabývat, jak nejen zlepšovat výrobní procesy, ale i jak optimálně plánovat výrobu na lisovací hale.

Seznam použitých zdrojů

- Daněk, J., & Plevný, M. (2005). *Výrobní a logistické systémy*. Západočeská univerzita v Plzni.
- Dvořáková, L., & Červený, J. (2012). *Úloha manažerského účetnictví při řízení hospodárnosti, účinnosti a efektivnosti podnikových procesů a výkonů* (2. vyd.). Nava.
- Horváth, G. (2007). *Logistika ve výrobním podniku*. Západočeská univerzita v Plzni.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and Supply Chain Management* (5. vyd.). Pearson.
- Jablonský, J. (2007). *OPERAČNÍ VÝZKUM kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování* (3. vyd.). Professional publishing.
- Johnová, R. (2008). *Marketing kulturního dědictví a umění*. Grada Publishing.
- Jurová, M. (2016). *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Grada Publishing.
- Kislingerová, E. (2001). *Oceňování podniku* (2. vyd.). C.H.Beck.
- Kislingerová, E. (2007). *Úvod do podnikového hospodářství* (2. vyd.). C.H.Beck.
- Klabusayová, N. (2019). *Logistika*. <https://www.vovcr.cz/odz/ekon/409/page00.html>
- Kotler, P., & Lane, K. K. (2013). *Marketing management* (14. vyd.). Grada Publishing.
- Kubišová, A. (2015). *Podpora výuky předmětu Operační výzkum pro bakalářské studium s ekonomickým zaměřením* [Disertační práce, Vysoká škola Polytechnická Jihlava]
- Mason, A. (2012). *OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Plevný, M., & Žižka, M. (2010). *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování* (2. Vyd.). Západočeská univerzita v Plzni.
- Popesko, B., & Papadaki, Š. (2016). *Moderní metody řízení nákladů* (2. vyd.). Grada Publishing.
- Ředitelství silnic a dálnic ČR. (2021). Změny mýtného systému od 1.1.2021. Dostupné 11.12. 2024 z <https://mytocz.eu/cs/emytne/zmeny-2021>
- Sedláček, J. (2011). *Finanční analýza podniku* (2. vyd.). Computer Press.
- Synek, M. (2011). *Manažerská ekonomika* (5. vyd.). Grada Publishing.

Šubrt, T., Bartoška, J., Brožová, H., Domeová, L., Houška, M., & Kučera, P. (2011). *Ekonomicko-matematické metody*. Aleš Čeněk.

Taušl Procházková, P. (2017). *Úvod do podnikové ekonomiky* (3. Vyd.). Západočeská univerzita v Plzni.

Tomek, G., & Vávrová, V. (2000). *Řízení výroby* (2. vyd.). Grada Publishing.

Tyll, L. (2014). *Podniková strategie*. C.H.Beck.

Veřejný rejstřík a Sbírka listin (2024). Úplný výpis z obchodního rejstříku. Dostupné 15.3. 2024 z <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=550999&typ=UPLNY>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Příklad rozdělení nákladů	10
Tabulka 2: Příklad rozdělení nepřímých nákladů	12
Tabulka 3: Energetická náročnost podle velikosti lisu	36
Tabulka 4: Alokace mzdových nákladů výrobním linkám	37
Tabulka 5: Ukázka výpočtu koeficientu	42

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad použití Sankeyova diagramu	17
Obrázek 2: Stohovatelnost manipulačních jednotek.....	18
Obrázek 3: Logo firmy IACG s.r.o.....	28
Obrázek 4: Zjednodušený layout výrobního závodu IACG s.r.o	30
Obrázek 5: Zobrazení modelu při proměnných s dvěma indexy	39
Obrázek 6: Zobrazení modelu při proměnných s třemi indexy	40
Obrázek 7: Výstřížek z aplikace Excel s doplňkem OpenSolver	46
Obrázek 8: Oznámení při nenalezení řešení	47
Obrázek 9: Nedodržení binarity proměnných.....	48
Obrázek 10: Kapacity výrobní linky.....	49
Obrázek 11: Zadání pro ověření podmínky kapacity výrobních linek	49
Obrázek 12: Tabulka kapacity typu	50
Obrázek 13: Zadání pro model	51
Obrázek 14: Využití kapacit výrobních linek	52
Obrázek 15: Kapacita typu polotovaru	52
Obrázek 16: Tabulka 1. výrobní dávky	53
Obrázek 17: Výpis řešení modelu výrobní linky 1,2,3,4	54
Obrázek 18: Výpis řešení modelu výrobních linek 5, 6, 7, 8	54
Obrázek 19: Převedené řešení do korektní formy pro lisovací halu.....	55
Obrázek 20: Rozvrstvené finální řešení modelu plánování	57

Seznam příloh

Příloha A: Pokuty pro výrobní dávky	64
Příloha B: Zvětšené zadání pro matematický model	65

Příloha A: Pokuty pro výrobní dávky

Výrobní dávka	Typ	1	2	3	4	5	6	7	8
1	A	1	1	1	1	1	1	1	1
2	B	1	1	1	1	20	20	20	1
3	C	1	1	1	1	20	20	20	1
4	D	1	1	1	1	1	1	1	1
5	E	1	1	1	1	1	1	1	1
6	F	1	1	1	1	20	20	20	1
7	G	1	1	1	1	1	1	1	1
8	H	1	1	1	1	21	21	21	1
9	CH	1	1	1	1	1	1	1	1
10	I	1	1	1	1	20	20	20	1
11	J	1	1	1	1	20	20	20	1
12	K	1	1	1	1	20	20	20	1
13	L	1	1	1	1	20	20	20	1
14	M	1	1	1	1	20	20	20	1
15	N	1	1	1	1	20	20	20	1
16	J	1	1	1	1	20	20	20	1
17	O	20	20	20	20	1	1	1	20
18	P	20	20	20	1	1	1	1	20
19	Q	1	1	1	1	1	1	1	1
20	S	1	1	1	1	1	1	1	1
21	J	1	1	1	1	20	20	20	1
22	T	20	20	20	1	1	1	1	1
23	J	1	1	1	1	20	20	20	1

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Příloha B: Zvětšené zadání pro matematický model

Výrobní dávka	Typ	1	2	3	4	5	6	7	8	dk
1	A	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	2
2	B	0,70	0,70	0,70	0,70	14,00	14,00	14,00	0,70	2
3	C	0,77	0,77	0,77	0,77	15,30	15,30	15,30	0,77	2
4	D	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	2
5	E	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2
6	F	0,66	0,66	0,66	0,66	13,15	13,15	13,15	0,66	2
7	G	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	2
8	H	1,04	1,04	1,04	1,04	20,70	20,70	20,70	1,04	2
9	CH	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	3
10	I	1,15	1,15	1,15	1,15	23,08	23,08	23,08	1,15	3
11	J	1,63	1,63	1,63	1,63	32,64	32,64	32,64	1,63	3
12	K	0,93	0,93	0,93	0,93	18,56	18,56	18,56	0,93	3
13	L	0,31	0,31	0,31	0,31	6,20	6,20	6,20	0,31	4
14	M	0,75	0,75	0,75	0,75	14,97	14,97	14,97	0,75	4
15	N	0,54	0,54	0,54	0,54	10,90	10,90	10,90	0,54	4
16	J	1,49	1,49	1,49	1,49	29,76	29,76	29,76	1,49	4
17	O	20,22	20,22	20,22	20,22	1,01	1,01	1,01	20,22	4
18	P	16,65	16,65	16,65	0,83	0,83	0,83	0,83	16,65	5
19	Q	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	5
20	S	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	5
21	J	1,63	1,63	1,63	1,63	32,64	32,64	32,64	1,63	5
22	T	2,70	2,70	2,70	0,13	0,13	0,13	0,13	2,70	6
23	J	0,86	0,86	0,86	0,86	17,28	17,28	17,28	0,86	6

Zdroj: Vlastní zpracování, 2024

Abstrakt

Frouz, V. (2024). *Plánování výroby v podniku s využitím matematického programování* [Bakalářská práce, Západočeská univerzita v Plzni].

Klíčová slova: logistika, matematické programování, operační výzkum, plánování výroby

Tato bakalářská práce se zaměřuje na plánování výroby s využitím matematického programování na příkladu implementace v automobilového průmyslu IACG s.r.o. Je představena logistika společnosti a přiblížena už přijatá opatření pro zvýšení efektivity. Tím je i zkrácení výrobního plánu pro výrobu polotovaru, které má za benefit zvýšení likvidity, skrze snížení vázaného kapitálu v zásobách, což však ztížilo plánování výroby pracovníkovi logistiky. Na tento vzniklý problém je navržen a detailně popsán matematický model, který má za cíl naplánovat veškeré výrobní dávky do mezního termínu, při použití přípustného minima výrobních zařízení. Model je použit na konkrétní poptávky zákazníků firmy. V závěru práce je model vyhodnocen a jsou popsány jeho klady, zápory a postupy, kterými by mohl být dále zpřesňován a vylepšen.

Abstract

Frouz, V. (2024). *Production planning in company using mathematical programming* [Bachelor Thesis. University of West Bohemia].

Keywords: logistics, mathematical programming, operations research, production planning

This bachelor thesis focuses on production planning using mathematical programming with the example of implementation in the automotive industry of IACG s.r.o. The logistics of the company is presented and the measures already taken to increase efficiency are approached. This includes the shortening of the production schedule for semi-finished product production, which has the benefit of increasing liquidity, through a reduction of the tied-up capital in inventory, which, however, made production planning more difficult for the logistics worker. A mathematical model is proposed and detailed to address this emerging problem, which aims to schedule all production batches to a cut-off date, using the allowable minimum of production machines. The model is applied to specific customer demands of the company. At the end of the paper, the model is evaluated and its pros, cons and procedures by which it could be further refined and improved are described.