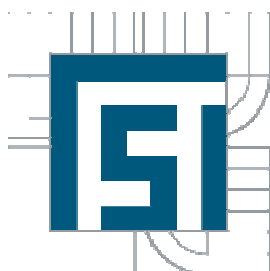


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH A POSOUZENÍ USPOŘÁDÁNÍ NOVÉ LAKOVACÍ LINKY VE SPOLEČNOSTI AUTOMOTIVE LIGHTING

DESIGN AND ASSESSMENT OF A NEW PAINT LINE ARRANGEMENT AT AUTOMOTIVE
LIGHTING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. FILIP BOUČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Filip Bouček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh a posouzení uspořádání nové lakovací linky ve společnosti Automotive Lighting

v anglickém jazyce:

Design and assessment of a new paint line arrangement at Automotive Lighting

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je navrhnout a posoudit několik variant uspořádání vstřikovacích strojů, temperace pro snížení vnitřního pnutí a lakovny.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor technologického procesu
2. Návrhy na uspořádání lakovací linky
3. Detailní grafické návrhy zvoleného řešení
4. Ekonomické a logistické zhodnocení vybrané varianty
5. Závěry, doporučení pro praxi

Seznam odborné literatury:

- JUŘICA, P.; JUROVÁ, M. Methodology for Assessing the Level of Process Management. *Ekonomika a management*, 2012, roč. 2012, č. 1, s. 30-35. ISSN: 1802- 3975.
- JUROVÁ, M. *Podniková ekonomika*. Brno: Vysoká škola Karla Engliš, 2010. ISBN: 978-80-86710-16- 7.
- MAŇAS, M.: *Optimalizační metody*. SNTL Praha, 1979
- MAŇAS, M. a kol. *Matematické metody v ekonomice*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1991. 192 s. ISBN 80-7079-157-8.
- SKÁLA, P. *Matematické modely v ekonomii* [online]. 2003 [cit. 2012-10-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/5-2/rp/skala.pdf>>.
- SMETANA, J. *Projektování technologických pracovišť*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1990. 195s. ISBN 80-7078-033-9
- ROSENBLATT, M.J. The Facilities Layout Problem: A Multi-goal Approach. *Inter. Jour. Prod. Res.* Vol. 17, 1979, p. 323. ISSN 0020-7543.
- VÁŇOVÁ, L.: *Optimalizace systému řízení výroby*. Diplomová práce v oboru „Logistika“. Přerov: VŠL. 2011. 86 s.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a uspořádáním nové lakovací linky ve společnosti Automotive Lighting s.r.o, Jihlava. Přesněji se jedná o navržení několika možných variant uspořádání strojů nutných pro zpracování polykarbonátových granulí a jejich přeměnu na polykarbonátové sklo za pomoci dvoukomponentního vstřikování. Sklo je dále lakováno na lakovací lince, jejíž návrh je též součástí tohoto projektu. Při navrhování jednotlivých pracovišť a jejich uspořádání se vychází jak z požadavků společnosti, tak ze zásad technologického projektování. Nejlepší ze tří variant je dále detailně zpracována a ekonomicky zhodnocena.

Klíčová slova

Technologické projektování, vstřikovací lis, lakování, multikriteriální hodnocení, náklady.

ABSTRACT

The thesis deals with the design and arrangement of a new paint line at company Automotive Ligting s.r.o in Jihlava. It deals with design of several possible options of arrangement of machines that are required for the processing of polycarbonate granules and their conversion into acrylic glass using two-component injection molding. The glass is then coated with the coating line which is part of the arrangement included in this project. Design of the individual sites and their organization is based on both the company's requirements and the principles of technological design. The best of the three options is analyzed in detail and evaluated from the economic point of view.

Key words

Technological design, injection molding, painting, multi-criteria evaluation, costs.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BOUČEK, F. *Návrh a posouzení uspořádání nové lakovací linky ve společnosti Automotive Lighting*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 80 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **NÁVRH A POSOUZENÍ USPOŘÁDÁNÍ NOVÉ LAKOVACÍ LINKY VE SPOLEČNOSTI AUTOMOTIVE LIGHTING** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Filip Bouček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Automotive Lighting s.r.o. Jihlava za umožnění práce na tomto projektu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	11
1. TEORIE NÁVRHU a POSOUZENÍ USPOŘÁDÁNÍ PRACOVÍŠŤ	12
1.1. Obecný postup při sestavování návrhů	12
1.1.1. Diagnostika návrhu.....	12
1.1.2. Sběr informací	12
1.1.3. Rozbor dané problematiky.....	13
1.1.4. Návrh řešení problematiky.....	13
1.1.5. Realizace konečného návrhu	14
1.2. Metody sestavování návrhů	15
1.2.1. Trojúhelníková metoda - prostá	15
1.2.2. Metoda návaznosti operací	15
1.2.3. Metoda posuzování možnosti vytváření specializovaných dílen.....	17
1.2.4. Metoda CRAFT.....	18
1.3. Kapacitní propočty	19
1.3.1. Přibližné způsoby kapacitních propočtů	22
1.3.2. Přibližný výpočet podle přímých a nepřímých ukazatelů	22
1.3.3. Podrobné kapacitní propočty	22
1.4. Typy výroby.....	23
1.4.1. Kusová výroba.....	23
1.4.2. Sériová výroba.....	23
1.4.3. Hromadná výroba	24
1.5. Základní způsoby rozmisťování strojů a pracovišť	24
1.5.1. Volné uspořádání	24
1.5.2. Technologické uspořádání	25
1.5.3. Předmětné uspořádání	25
1.5.4. Modulární uspořádání.....	26
1.5.5. Buňkové uspořádání.....	27
1.5.6. Kombinované uspořádání.....	27
1.6. Projektování linek.....	28
2. ROZBOR TECHNOLOGICKÉHO PROCESU.....	30

2.1.	Základní popis výroby polykarbonátových skel	30
2.1.1.	Výroba PC reesterifikací	30
2.1.2.	Příprava PC přímou fosgenací	31
2.2.	Zpracování polykarbonátu	32
2.2.1.	Technologie vstřikování	32
2.2.2.	Princip vstřikování termoplastů	32
2.2.3.	Vstřikovací cyklus	34
2.2.4.	Dokončovací operace po vstřikování - opracování	36
2.2.5.	Dokončovací operace po vstřikování - dodatečné operace	36
2.2.6.	Dokončovací operace po vstřikování - temperování	37
2.3.	Technologie lakování	37
2.3.1.	Technologie lakování polevem	37
2.3.2.	Akrylátový lak	37
2.3.3.	Rozpouštědlo	38
2.3.4.	Odpařování rozpouštědla	38
2.3.5.	Vytvrzování laku ultrafialovým zářením	39
2.3.6.	Antistatická úprava povrchu plastických hmot	39
2.3.7.	Vznik elektrostatického náboje	39
2.3.8.	Antistatické přípravky	39
2.4.	Způsoby hodnocení technologického procesu	40
2.4.1.	Ekonomické zhodnocení technologického procesu	40
2.4.2.	Logistické zhodnocení	41
3.	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	43
3.1.	Jednotlivé úseky výrobního cyklu	43
3.1.1.	Vstřikovací lis s předhřívací stanicí	43
3.1.2.	Manipulační zařízení – robot	44
3.1.3.	Temperační pec pro snížení vnitřního pnutí	44
3.1.4.	Nakládací zóna na dopravník	45
3.1.5.	Lakovací a okapová zóna	45
3.1.6.	Odpařovací a vytvrzovací zóna	46
3.1.7.	Vykládací a kontrolní zóna	47
4.	NÁVRHY USPOŘÁDÁNÍ NOVÉ LAKOVNY	48
4.1.	Kapacitní propočet toku materiálu linkou	48
4.1.1.	Stanovení časového efektivního fondu	48
4.1.2.	Stanovení pracnosti výroby	48

4.1.3.	Stanovení počtu lisovacích strojů	49
4.1.4.	Výpočet taktu celé linky	49
4.2.	Varianta A – popis návrhu + schematické znázornění	50
4.3.	Varianta B – popis návrhu + schematické znázornění	51
4.4.	Varianta C – popis návrhu + schematické znázornění	53
5.	POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	56
5.1.	Prostorové nároky	56
5.2.	Množství pracovníků	57
5.2.1.	Nakládací zóna	57
5.2.2.	Vykládací a kontrolní zóna	58
5.3.	Multikriteriální zhodnocení	58
5.3.1.	Multikriteriální hodnocení varianty A	59
5.3.2.	Multikriteriální hodnocení varianty B	61
5.3.3.	Multikriteriální hodnocení varianty C	62
5.3.4.	Srovnání jednotlivých variant	63
6.	DETAILNÍ GRAFICKÉ NÁVRHY ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ	65
6.1.	Detailní návrh rozmístění strojů	65
6.2.	Sankeyův diagram	65
7.	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VYBRANÉ VARIANTY	67
7.1.	Ekonomické nároky na výstavbu	67
7.1.1.	Investiční náklady	67
7.2.	Provozní a energetické náklady	68
7.2.1.	Odpisy	68
7.2.2.	Náklady na zaměstnance	68
7.2.3.	Náklady na elektrickou energii	68
7.2.4.	Náklady na materiál	69
7.2.5.	Náklady na využitý prostor	69
7.2.6.	Náklady na údržbu	70
7.3.	Tržby z produkce	70
7.4.	Zhodnocení investice	70
7.4.1.	Čistá současná hodnota investice	70
7.4.2.	Návratnost	71
7.4.3.	Bod zvratu	71
8.	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	76

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
9. SEZNAM PŘÍLOH.....	80

ÚVOD

Výroba světlometů provází automobilový průmysl již od jeho samého počátku a prošla dlouhodobým vývojem. Na samotném začátku šlo především o jejich funkci osvětlení vozovky a vozidla. Dnes se k této funkci přidal další důležitý prvek a to prvek designový, který se stal nedílnou součástí všech vyráběných světlometů. Jedničkou na trhu nejen v České republice je bezesporu společnost Automotive Lighting s.r.o., která se touto činností zabývá již od 1. května 1999, kdy vznikla jako joint venture německé firmy Robert Bosch GmbH a italské společnosti Magneti Marelli.

Světlomety se dnes v převážné míře vyrábějí z plastu. Nejpříjemnější technologií jejich výroby je vstřikování jednotlivých dílů světlometu na vstřikovacích lisech a následná montáž těchto dílů.

Tato diplomová práce pojednává o návrhu nové linky na výrobu polykarbonátových skel za pomoci dvoukomponentního vstřikování. Do této chvíle se ve firmě Automotive Lighting vyráběla skla v převážné většině pouze jednokomponentním vstřikováním. Změnu na dvoukomponentní vstřikování si vyžaduje doba rychlého rozvoje automobilového designu, konkurenceschopnost, rozšíření nabídky a v neposlední řadě též zákazník.

Prioritou tohoto projektu je navržení několika vhodných variant řešení celé lakovací linky. Dále pak tyto varianty porovnat a vybrat nejvhodnější po stránce technologické a logistické. U vybrané varianty bude provedeno její ekonomické zhodnocení. Konečný návrh bude překreslen pomocí software AutoCAD a bude přiložen k této práci.

1. TEORIE NÁVRHU A POSOUZENÍ USPOŘÁDÁNÍ PRACOVÍŠŤ

1.1. Obecný postup při sestavování návrhů

Nejčastěji se v praxi setkáváme s úpravou stávající výroby. Navržení nové výroby na zelené louce není tak časté. Při navrhování je nejdůležitější použít správný metodický postup. Při přípravě návrhu obvykle postupujeme v následujících etapách:

- diagnostika (orientační průzkum),
- sběr informací (shromažďování podkladů),
- rozbor stávajícího stavu (současného stavu),
- návrh.

Následná realizace projektu a sledování funkce již není součástí přípravy návrhů[1].

1.1.1. Diagnostika návrhu

Jedná se o první seznámení s objektem řešení. Tato etapa je nezbytná k upřesnění problematiky, které se návrh týká, a zároveň představuje etapu, která představuje rozumový přístup k řešení daného problému. Orientační průzkum je prováděn zpravidla nejzkušenějšími pracovníky, kteří jsou znalí vzájemných závislostí jevů a jejich původů[12].

1.1.2. Sběr informací

Sběr informací bývá někdy opomíjen a charakterizován jako pomocný. Ovšem tato práce by neměla být vynechána, protože na ní navazují další činnosti. V zájmu urychlení času při sestavení návrhu je nutná dobrá organizace sběru informací. Důležité je dobré zorganizování sběru informací, aby byly včas k dispozici pro rozbor. V podstatě lze informace získat dvěma způsoby. Z *evidence* nebo *pozorováním*. Informace získané pozorováním lépe zobrazují reálnou situaci, ale mnohdy se obtížně získávají. Informace, které jsme získali, je nutné ještě před rozbohem zpracovat [12].

1.1.3. Rozbor dané problematiky

K rozboru je možno přistoupit až po provedení prací uvedených výše. Z kvalitního rozboru získáme různé varianty možných řešení dané problematiky. Jedná se například o rozborů:

- rozbor standardizace,
- rozbor vybavenosti výroby stroji a zařízeními a jejich využití,
- rozbor technického stavu základních prostředků,
- rozbor vybavenosti výroby speciálním nářadím,
- rozbor úrovně mechanizace a automatizace výrobního procesu,
- rozbor toku materiálu a manipulačních prostředků,
- časové rozborů výroby a manipulace,
- rozbor stávajícího dispozičního řešení, stavu výrobních hal,
- rozbor ergonomických vlivů,
- rozbor věkové, kvalifikační struktury pracovních sil,
- rozbor úrovně řízení a použité řídicí techniky.

Je důležité, aby byl rozbor proveden pracovníky, kteří jsou pro danou práci vysoce kvalifikovaní s odpovídajícími morálními vlastnostmi. V rozboru hodnotíme, bilancujeme, posuzujeme zkoumaný jev všestranně, tzn. z různých hledisek (např. z hlediska ekonomického, technického, sociologického, psychologického, ergonomického [1]).

1.1.4. Návrh řešení problematiky

Zde je možnost uplatnění tvůrčího talentu řešitele. Z empirických znalostí víme, že skoro žádný z projektů není v plné míře opakovatelný. U řešitele je žádoucí, aby postupoval samostatně a výhodně používal vzorových řešení i částečných aplikací. Na paměti by měl mít, že každá práce by měla začínat zpracováním rešerší a podrobným studiem informací a literatury. Pouze takto a s pomocí moderních poznatků vědy a techniky začít jednotlivé směry řešit, z těch

pak vybrat náležitou variantu a na ni vypracovat technickou dokumentaci. V případě, že projektant svým návrhem řeší určitou část většího celku, musí myslet i na respektování a řešení kontaktních vazeb s vyšším celkem. V návrhové etapě, je důležité připravit náběh výroby, což může ovlivnit efektivnost celé akce a zároveň i její návratnost. Další důležitou součástí, která by neměla chybět je ekonomické hodnocení návrhu, ve kterém se porovnávají přínosy a náklady. Do konečných projektových činností je zahrnuto i vypracování časového plánu realizace, který obvykle bývá zpracován ve formě síťového grafu [1,12].

1.1.5. Realizace konečného návrhu

Dovršením celého přípravného procesu je vlastní realizace akce, která je zároveň považována za základní kámen projektové práce. Již v průběhu realizace se projeví nedostatky projektové přípravy. Vady v koncepci a ekonomické hodnocení se též neúprosně ozvou již v počátečním období provozu. Skutečná práce realizační etapy je založena na instalaci a zavedení navrhovaného projektu.

Samotnou realizaci akce je možno zabezpečit třemi způsoby a to:

- dodavatelsky,
- vlastními silami,
- kombinovaně.

Je žádoucí, aby čas strávený realizací i zpracováním projektu byl co nejkratší a to z důvodu co nejmenšího ovlivnění původního záměru a ekonomie akce. Završením předvedení zařízení a zkušebního provozu by mělo být oficiální předání uživateli. K tomuto se používá tzv. *předávací protokol*. Po podepsání předávacího protokolu zákazník potvrzuje, že zařízení odpovídá tomu, co bylo požadováno, a že přebírá systém do své ochrany. V případě předávání větších jednotek probíhá předávání formou kolaudace. Úkol však tímto aktem nekončí. Provoz je nutné dále sledovat po určitou dobu a až na základě tohoto sledování zpracovat závěrečné vyhodnocení projektu a vybrat prvky vhodné k zobecnění [12].

1.2. Metody sestavování návrhů

Dříve projektant technologických návrhů používal více citu a intuice. V pozdějších dobách se vybírala z řady možných variant ta nejvhodnější podle předem stanovených kritérií.

Dnes je pro projektování možnost použít z řady dostupných metod, které pomohou i méně zkušeným projektantům navrhnout optimální řešení. Používá se více metod a jejich kombinací, a tím i dosažení nejlepších možných výsledků [1].

1.2.1. Trojúhelníková metoda - prostá

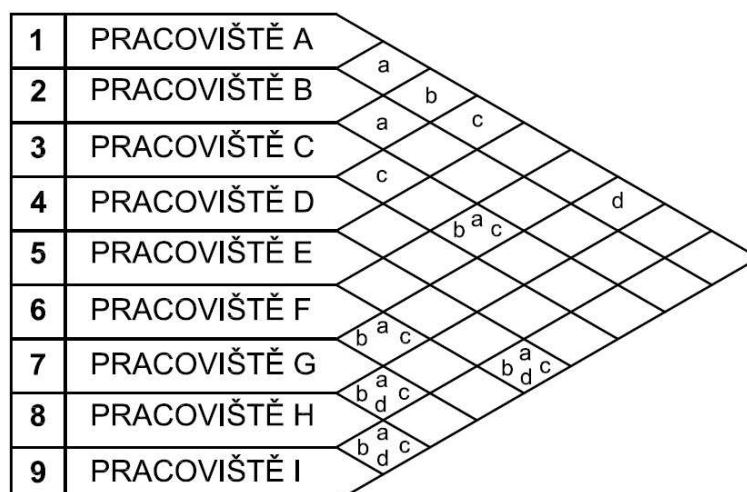
Tato metoda je používána ve dvou variantách:

- popaměti (bez výpočtu) – je použitelná u případů s nevelikým počtem elementů,
- propočtem (exaktní) – je použitelná u složitých systémů s větším počtem elementů.

Nejefektivněji je tuto metodu možné použít v místech, kde jeden vztah převažuje nad ostatními, které nejsou tak důležité. Principem metody je minimalizace vzdálenosti mezi pracovišti, které mají mezi sebou největší vztah [1].

1.2.2. Metoda návaznosti operací

Tato metoda je vhodná ke skládání pracovišť na dílnách, kde se vyrábí více součástí, nebo k projektování uspořádání pracovišť ve víceřadové lince. Metoda je založena na tom, že všechny součásti postupují výrobou dle stanoveného postupu úkonů. Úhrn mezioperačních pohybů veškerých dílců v navrhované dílně je *materiálový tok*. Cílem této metody je sestavit jednotlivé pracoviště za sebou tak, aby materiál plynul pracovišti bez zbytečných křížování a vratných cest, aby nedocházelo k hromadění výrobků. Čím lépe se podaří pracoviště sestavit, tím nižší budou energetické nároky, bude kratší průběžná doba, vyšší efektivnost a produktivita výroby [1].



Obr.1.1 Tabulka návaznosti [1].

Pro výrobu jedné nebo dvou součástí pro dispoziční návrh postačí logické myšlení. Pro výrobu více součástí se již vyplatí použít osvědčený metodický postup [1].

Tato metoda podobně jako většina dalších, se dá aplikovat na konkrétní případy různě. Na obrázku č. 1.1 je vidět, jak se zaznamenávají údaje o vztazích mezi pracovišti do jednotlivých čtverečků. Pro dokonalejší vystižitelnost se mohou do průsečíku čtverečků psát číselné hodnoty, které lépe popisují nezbytnost návaznosti pracovišť, např. součet součástí lze vynásobit hmotností [1].

V případě, že je na navrhované dílně velký počet strojů a tabulka by byla příliš velká, je možno celou situaci zjednodušit umístěním podobného pracoviště do stejné skupiny, např.:

- malé soustruhy,
- revolverové soustruhy,
- karusely,
- svařovací pracoviště,
- obrážečky,
- vyvrtávačky [1].

Za pomoci metody se řeší kontinuita mezi skupinami, jednodušší rozložení pracovišť ve skupinách se uspořádá pomocí logických úvah. V případě, že do skupiny patří např. pouze 3 malé soustruhy, je možné situaci vyřešit bez využití další metody [1].

1.2.3. Metoda posuzování možnosti vytváření specializovaných dílen

Produkty, které jsou vyráběny ve strojírenském podniku, bývají složeny z tisíců součástí. Součásti, které podnik nenakupuje nebo si je nenechá vyrobit v kooperaci, je nutné vyrábět ve vlastním závodě. Celá organizace jejich výroby je odvozena především od množství, jaké se bude vyrábět. Při potřebě malého množství není takový problém součásti vyrobit klasickým způsobem se stávajícím uspořádáním hlavních provozů. Ovšem pro výrobu součástí ve velkém množství je výhodnější navrhnout a vytvořit novou specializovanou dílnu s potřebným vybavením a progresivní technologií. Toto rozhodnutí vyplyne z metod, které jsou založeny na hodnocení vztahů a rentability výroby. Obvyklými výhodami specializovaných dílen jsou:

- lepší využití strojů a zařízení,
- vysoká produktivita práce,
- krátká průběžná doba zpracování součástky,
- snadnější organizace a řízení výroby apod.

Obvykle u strojírenských podniků se zřetelem na určité potřeby technologie zřizujeme jako specializované pracoviště:

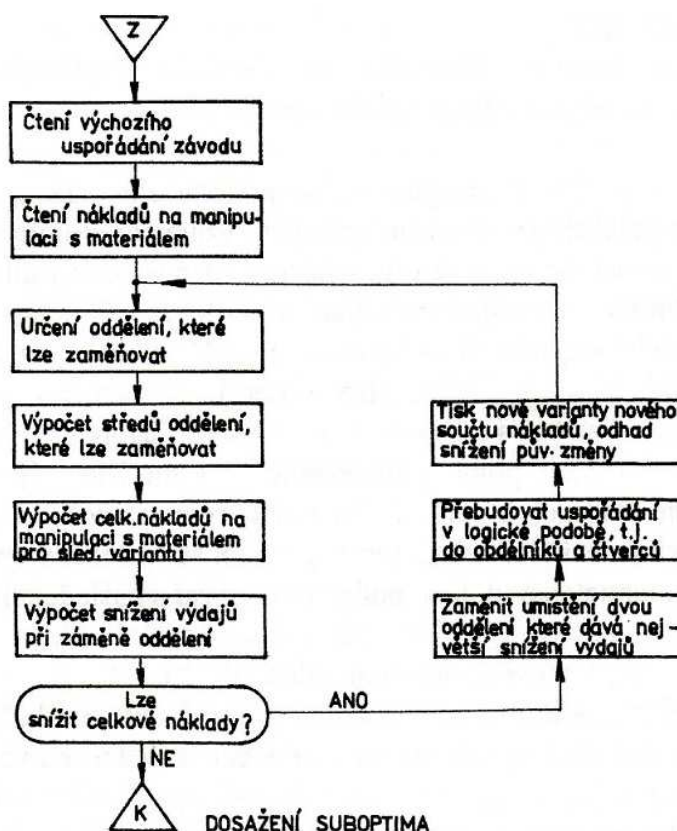
- dělírnu materiálu,
- kovárnu,
- lisovnu,
- automatárnu,

- povrchové úpravy apod.

Jednou ze základních pomůcek k rozhodnutí o vytvoření specializované dílny je kapacitní propočet, který nás upozorní na možnost vytvoření specializovaného pracoviště [1].

1.2.4. Metoda CRAFT

(Computer Relative Allocation of Facilities Technique – Technika stanovení vzájemné polohy strojů propočtem – počítačem). Již z volně přeloženého názvu vyplývá, že je metoda CRAFT matematická, určená k výpočtu optimální vzájemné polohy prvků v řešené množině. U této metody se nemusí jednat výhradně o stroje, může být využita i k rozmísťování dílny, plochy apod., mající početně vymezený vzájemný vztah. Nejvyšší efektivnost z hlediska, které posuzujeme, většinou dá optimální rozmístění objektů. Celé řešení se realizuje za podpory matematického modelu výpočtem minima sestavené funkce. Výpočet se provádí na počítači a to z důvodu, že při větším počtu rozmísťovaných pracovišť existuje velké množství možných řešení [1,13]. Vývojový diagram této metody je zobrazen na obrázku č. 1.2.



Obr.1.2 Blokové schéma metody CRAFT [1].

Při použití metody CRAFT pro projektování vzniká přesné řešení. Ulehčení práce spočívá především v tom, že není nutné sestavovat celou řadu variant – použijeme jen výslednou variantu. Pro dosažení dobrých výsledků je důležité mít objektivní podklady a samotné optimum je poté skutečně závislé na samotném vztahovaném vztahu. Jestliže v projektové organizaci je zahrnut program určený pro výpočty metodou CRAFT, pak výsledná, přesná řešení vzniknou ve velmi krátkém čase. Při opakovaném použití metody zaměřené na jiné řešení stačí změnit pouze vstupní data [1,13].

1.3. Kapacitní propočty

V souvislosti s konkrétní prací a zadáním projektované výroby je nutné z odpovídajících a skutečných dat vypracovat tzv. kapacitní propočet. Takto získané kapacitní propočty slouží především pro získání teoretických údajů o množství potřebných

- strojů a zařízení,

- manipulačních prostředků,
- výrobních a pomocných dělníků,
- inženýrsko-technických a administrativních pracovníků,
- výrobních, pomocných, správních a sociálních ploch,
- energii dle jednotlivých druhů.

Samotné kapacitní propočty řeší souvislost mezi určeným výrobním plánem a navrhovaným výrobním profilem objektu. V případě určení nového objektu, musí dojít k přizpůsobení vypočítaného výrobního profilu naplánovanému. Ve skutečnosti kapacitní propočet zároveň slouží pro určování investičních i provozních nákladů. Postupů a metod pro získání kapacitních propočtů je dnes celá řada. V podstatě existují dvě skupiny postupů[14]:

- *hrubé* propočty,
- *přesné* kapacitní propočty.

Jsou k dispozici tzv. *univerzální* postupy, ty je možné aplikovat na výpočet veškerých projektů, a *specifické*, které je možno využít pouze ke stanovení kapacitního propočtu určité dílny, např. lakovny. K zrychlení provádění kapacitních propočtů jsou statisticky vytvořeny určité projektované soubory, ze kterých byly následně vytvořeny tabulky směrných hodnot. Na základě typu projektovaného objektu využíváme při kapacitním propočtu určité základní veličiny [1,14].

Např.:

- Pro *skladové hospodářství* se jedná o
 - roční objem zpracovaného materiálu,
 - délka dodávkového cyklu,
 - pojistná zásoba.

Tyto údaje slouží pro výpočet počtu palet, množství materiálu k uskladnění, počtu regálů, ploch, lidí, manipulačních prostředků atd.

- Pro *údržbářské dílny* se jedná o počet jednotek složitosti, délku opravárenského cyklu, normy pracnosti jednotlivých oprav.
 - Pro *nářadovny* mohou být základní výchozí veličinou potřebné odpracované hodiny strojů základní výroby, nebo množství výkovků, odlitků apod.
 - Pro *lakovny* se ve většině případů vychází z velikosti lakované plochy, nebo ze spotřeby nátěrových hmot na daný výrobní sortiment programu,
- a pod [1].

Při stanovení kapacitního propočtu pro závod, který vyrábí jen malé množství výrobků různého druhu, lze kapacitní propočty stanovit pro každý druh. Ovšem při výrobě mnoha druhů výrobků se stanoví jeden či více zástupců a kapacitní propočet se určí na určitou technologii zvoleného zástupce. Důležité je zástupcem zvolit takový výrobek, aby byl charakteristický pro danou skupinu [1,14].

Přepočtený počet kusů představitele se vypočítá:

- přepočtem z výkonových norem (nejpoužívanější způsob)

$$N_p = \frac{n_1 t_1 + n_2 t_2 + n_3 t_3 \dots n_m t_m}{t_p} = \frac{\sum_1^m n_i t_i}{t_p} \quad (1.1)$$

kde N_p ... přepočtený počet kusů představitele [ks/rok]

n_i ... počet i-tého výrobku [ks/rok]

t_i ... pracnost i-tého výrobku [Nh]

t_p ... pracnost zvoleného představitele [Nh]

m ... počet vyráběných druhů výrobků [ks]

- propočtem z materiálových norem

$$N_p = \frac{n_1 G_1 + n_2 G_2 + n_3 G_3 \dots n_m G_m}{G_p} = \frac{\sum_1^m n_i G_i}{G_p} \quad (1.2)$$

kde N_p ... přepočtený počet kusů představitele [ks/rok]

n_i ... počet i-tého výrobku [ks/rok]

G_i ... pracnost i-tého výrobku [Nh]

G_p ... pracnost zvoleného představitele [Nh]

m ... množství vyráběných druhů výrobků [1]

1.3.1. Přibližné způsoby kapacitních propočtů

Používají se pro velmi rychlé a jednoduché stanovení propočtů za pomoci využití srovnávacích ukazatelů odvozených v praxi. Na správné volbě ukazatelů je závislá přesnost výpočtů. Ukazatele se tedy volí z nejpodobnějšího provozu. Tyto přibližné způsoby propočtů jsou používány k hrubým, rychlým propočtům v začátcích práce, zpracování investičních záměrů a přípravě perspektivních hospodářských plánů [12].

1.3.2. Přibližný výpočet podle přímých a nepřímých ukazatelů

Tento způsob výpočtu většinou vystupuje z výchozí plánované roční výroby, udávané v Kč, tunách nebo kusech. Přímé ukazatele se zvolí ve stejných jednotkách. V ekonomickém systému, se kterým se dnes setkáváme, bude příhodné vytvářet ukazatele a kalkulovat s nimi z tzv. redukované produkce, nebo z hodnot opravdových výkonů [1].

1.3.3. Podrobné kapacitní propočty

Tento způsob výpočtu vyžaduje plán produkce s přesným počtem kusů vyráběných dílů a zároveň technologický postup jejich výroby. Při samotné kalkulaci se již přesně bilancují nutné Nh na zhotovení produkčního programu

s disponibilní kapacitou dělníků a strojů. Normovaná pracnost součástí je poté součet normovaných pracností všech operací a normovaná pracnost výroby celého výrobku je znovu součtem pracnosti výroby všech součástí a pracnosti montáže [1,12].

1.4. Typy výroby

Na zpracování technologického projektu má především vliv výrobek a typ výroby. Celý závod se charakterizuje dle převládající výroby, i když se v něm vyrábí více druhů výrobků. V těžkých provozech bývá obvykle typ výroby kusový, v lehkých provozech se používají vyšší typy výroby, a nasazuje se progresivnější technologie a způsoby zacházení s materiálem. Nepochybně má tato skutečnost kardinální vliv na zpracování technologického projektu, především má vliv na volbu zařízení a strojů, manipulačních prostředků a na jejich dispoziční uspořádání [15].

1.4.1. Kusová výroba

Její charakteristika spočívá v tom, že jednotlivé předměty odlišných konstrukcí se obvykle vyrábějí pouze jednou, zpravidla univerzálním nářadím a strojním vybavením. Důležité je při volbě strojního parku, aby umožňoval použití různorodých způsobů zpracování. Technologický postup se upravuje takovým způsobem, aby se dalo na jednom stroji provést co možná nejvíce operací. Přičemž samotné využití strojů v kusové výrobě bývá menší než ve výrobě sériové. Rozmístění strojů je dle technologické příbuznosti. Pro kusovou výrobu je vyžadována kvalifikovaná pracovní síla [1,15].

1.4.2. Sériová výroba

Je charakterizována velkým množstvím výrobků vyráběných v dávce. Dá se rozdělit podle velikosti a tvaru výrobku např. na malou sérii kdy se jedná o výrobu 5-49 kusů, střední sérii kam se počítá výroba 50-500 kusů a velkou sérii pro více než 500 kusů. Zde je již možnost rozmístit stroje předmětně do linek. Technologický postup je sestaven tak, aby se prováděl na každém pracovišti určitý (menší než v kusové výrobě) počet operací. Kvalifikace pracovníků u sériové

výroby není potřeba tak vysoká jako u předešlého typu a produktivita práce je vyšší [1,15].

1.4.3. Hromadná výroba

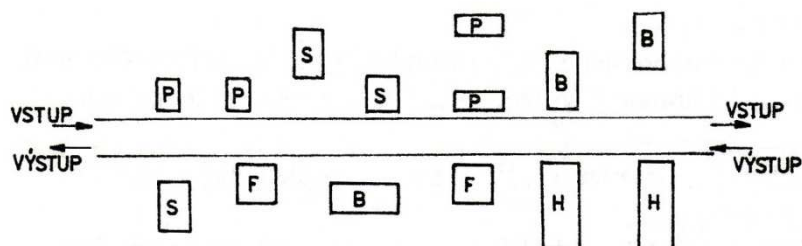
Má uplatnění při výrobě velkého počtu stejných výrobků. Operace v technologickém postupu jsou rozloženy tak, aby každá operace mohla být provedena v určitém taktu na jednom pracovišti. Specializované stroje jsou jednoúčelové a provádí se na nich jedna jednoduchá operace. Jsou uspořádány v lince, která je zásobována materiálem, dokumentací, nářadím dle plánů, které jsou připravené předem. Při jakékoli změně technologie nebo konstrukce výroby je zapotřebí přestavba linky. Je zde nízká kvalifikace pracovníků a vysoká produktivita práce. Využívá se zde poznatků ergonomie, za pomoci níž jsou navrženy jednotlivé pohyby. Pro seřizování strojů jsou určeni kvalifikovaní specialisté [15].

1.5. Základní způsoby rozmístování strojů a pracovišť

Na základě výsledků předchozích rozborů a za pomoci rozmisťovacích metod lze navrhnout rozmístění strojů a pracovišť. Samotný výsledek při rozmístění by měl být nejvýhodnější vzhledem k výchozím potřebám (hospodárnost výroby, přehlednost uspořádání, přímočarost a nevratnost technologického toku, minimální manipulace, minimální zabraný prostor, požadavky bezpečnosti práce atd.) [17].

1.5.1. Volné uspořádání

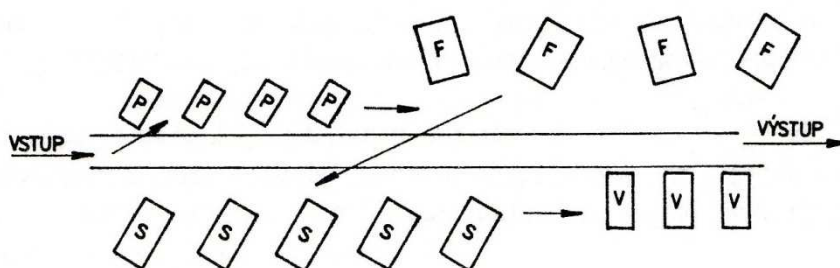
Jedná se o uspořádání, při kterém jsou stroje a pracoviště shromážděny v dílně náhodně. Viz obrázek č. 1.3. Do takové situace se dostávají v případě, že nebylo možno předem určit materiálový tok, návaznost operací, organizační a řídicí vztahy. Často takovéto uspořádání bývá v prototypových a údržbářských dílnách především s kusovým charakterem výroby. Takový způsob uspořádání je nevyhovující a prakticky se od něj upustilo. Ovšem ani při tomto uspořádání není naprostá volnost. Je důležité dodržovat určité podstatné výrobní a hygienická kritéria. Např. není možno postavit buchar hned vedle dokončovací brusky [1].



Obr.1.3 Volné uspořádání pracovišť [1].

1.5.2. Technologické uspořádání

Jedná se o jedno z nejstarších. V technologických postupech se operace slučují podle příbuznosti a stejným způsobem jsou stavěny i stroje. Tento způsob uspořádání tvoří tedy skupiny stejných druhů strojů. Různorodost vyráběných součástek způsobí nemožnost určení jednotného směru materiálového toku. Viz obrázek č.1.4. Nejčastěji se tento způsob uspořádání objevuje v kusové a malosériové výrobě těžkého a středního strojírenství. Pro samotné plánování a řízení výroby se většinou volí postupný způsob. Strojní vybavení a nářadí je univerzální, dělníci jsou vyučení a kvalifikovaní. Časté použití pro technologické uspořádání je též v učňovských dílnách a údržbářských prototypových dílnách [16].

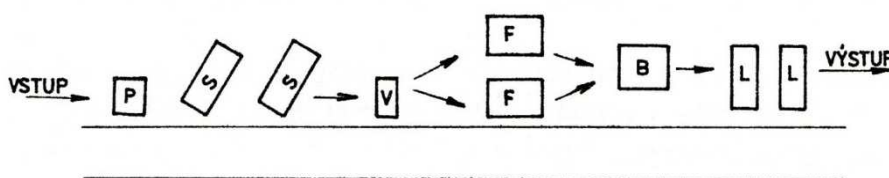


Obr.1.4 Technologické uspořádání pracovišť [1].

1.5.3. Předmětné uspořádání

Je prospěšné při velké sériovosti výroby eventuálně při opětovné výrobě malých sérií. Typickým znakem tohoto uspořádání je seřazení pracovišť dle technologického postupu výrobku, který je zde vyráběn. Stejný směr má také pohyb součástí a tím vzniká výrobní proud. Viz obrázek č. 1.5. Pro stanovení ideálního předmětného uspořádání je nutné mít jednu určitou součástku nebo skupinu tvarově a technologicky podobných součástek. Dokonalejším stupněm

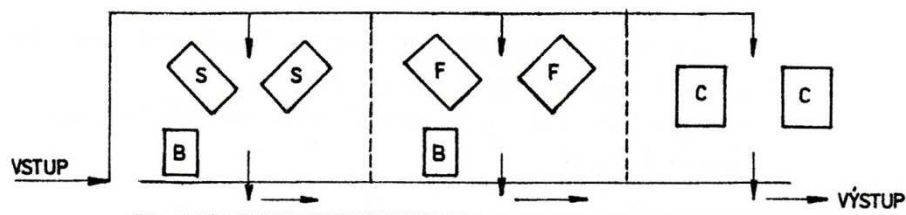
předmětného uspořádání pracovišť je výrobní linka. Vrcholným stupněm předmětného uspořádání je automatická synchronizovaná linka, která je složená ze speciálních jednoúčelových strojů propojených společným dopravníkem ovládaným řídicím automatem nebo řídicí technikou. Výhodně se předmětné uspořádání pracovišť používá ve všeobecném a středně těžkém strojírenství ve velkosériové a hromadné výrobě. Co se týká samotného organizačního hlediska, tak má charakter proudové výroby. Pro tento druh uspořádání se používají speciální stroje, zařízení i speciální operační nářadí. Dělníci nebývají kvalifikováni, stroje jsou seřizovány specialisty – seřizovači [16].



Obr.1.5 Předmětné uspořádání pracovišť [1].

1.5.4. Modulární uspořádání

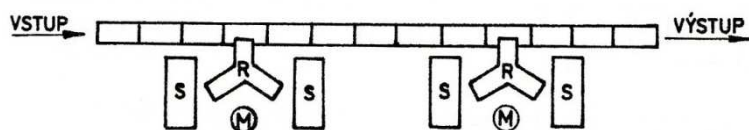
Charakteristické pro toto uskupení je seskupování stejných technologických bloků, při čemž každý z nich plní více technologických funkcí. Celý provoz je složen ze shodných nebo obdobných modulů – skupin pracovišť. Jako příklad modulárního uspořádání je hromadné použití NC strojů v klasicky řízené dílně, nebo soustředění více obráběcích center. Viz obrázek č.1.6. Výhodou modulárních pracovišť je jejich vyšší produktivita práce a z tohoto důvodu mají prioritní postavení z mnoha hledisek. Jak z hlediska obsluhy strojů nářadím, materiálem, výkresovou dokumentací, tak z hlediska systému plánování a řízení přípravy zakázek, údržby atd. Toto uspořádání se využívá ve všeobecném, středně těžkém i těžkém strojírenství v kusové a malosériové výrobě. V každém modulu jsou využívány progresivní stroje i nářadí. Dělníci jsou kvalifikováni, technickou přípravu výroby je potřeba zvlášť uzpůsobit [1,17].



Obr.1.6 Modulární způsob rozmístění pracovišť [1].

1.5.5. Buňkové uspořádání

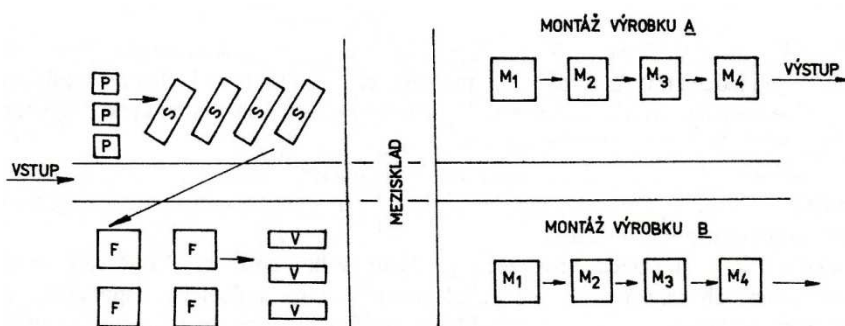
Buňka bývá obvykle tvořena strojem a vysokou produktivostí s automatizovaným a mechanizovaným okolím. Jako příklad buňkového uspořádání pracovišť jsou uváděny plně mechanizovaná, automatizovaná nebo robotizovaná pracoviště. Viz obrázek č.1.7. Projektování takovýchto buňkových uspořádání vyžaduje svědomité předprojektové rozborové zpracování, zavedení standardizace a přípravu skupinových technologických postupů [1,17].



Obr.1.7 Buňkové uspořádání pracovišť [1].

1.5.6. Kombinované uspořádání

Používá se pro projektování větších celků, kdy nemůže projektant aplikovat obvykle jen jednu metodu uspořádání pracovišť, ale je zapotřebí sáhnout k příhodné kombinaci dvou nebo více způsobů. Ve většině případů se tak stává ve všeobecné až středně těžké strojírenské středně-sériové výrobě. Viz obrázek č.1.8. Při řízení a plánování výroby zpravidla se zvolí smíšený nebo souběžný způsob výroby v nevelikých dávkách. Strojní park pro toto uspořádání je univerzální nebo stavebnicový, nářadí bývá univerzální až speciální konstrukce. Pro tuto práci se požadují zruční i kvalifikovaní dělníci [17].



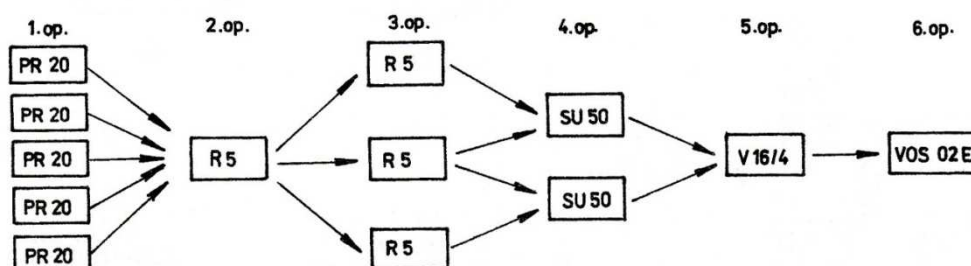
Obr.1.8 Kombinované uspořádání pracovišť [1].

1.6. Projektování linek

U výroby na lince se jedná o takovou metodu výroby, aby bylo uspořádání materiálového toku plynulé a rovnoměrně se zpracovával časově sladěnými operacemi. Tato výroba postupuje plynule v co nejkratší zpravidla přímé dráze. Pro tuto výrobu bývá hlavním znakem „linka“, tj. dráha a podél ní jsou uspořádána jednotlivá pracoviště. Existuje celé řada možných průběhů výroby na lince. Jako nejvyšší forma linky je považována linka se synchronizovaným taktům v permanentním proudu a každá operace je obsazena stavebnicovou obráběcí jednotkou. Nejprve se dílec upne na mechanizovaný, periodicky se pohybující transportér, poté postupně prochází automaticky jednotlivými operacemi s přesným nastavením do pracovních pozic. Rovněž automatický je následný posuv nástrojů k obrobku, do řezu a odsun po opracování. Na samotném konci linky pak vyjíždí obrobek a zkontrolovaný dílec. Při navrhování předmětné linkové výroby se objevuje řada problémů. První z nich je stanovení množství strojů a zařízení tak, aby jejich využití bylo dostatečně vysoké. Z tohoto důvodu je nutné provádět zásahy v technologickém postupu výroby a to především v členění práce a úpravě časů na jednotlivých pracovištích tak, aby čas strávený na každé operaci byl násobkem taktu. Z důvodu závislosti času na pracovních podmínkách, je nutné je změnit technologicko-organizačními opatřeními, jako např.:

- sloučením a rozdělením operací a úkonů,
- návrhem upínacího přípravku, který by umožňoval současné obrábění více kusů,
- aplikací moderních řezných nástrojů umožňujících zvýšení řezné rychlosti,

- mechanizací, robotizací a automatizací práce [1].



Obr.1.9 Schematické znázornění linky [1].

Dalším krokem po provedení synchronizace je sestavení schematického náčrtu linky (obr. 1.9). Toto schematické znázornění linky se poté upraví do určitého dispozičního řešení, které je omezeno prostorem lodi. V dispozičním řešení by neměl chybět návrh manipulace s materiálem. U pokrokových linek, kde je manipulace mezi jednotlivými pracovišti zajištěna dopravníkem, se musí též navrhnout tento dopravník, poněvadž takovéto druhy mezioperačních linkových dopravníků nejsou obvykle vyráběny. Dále je nutné při výrobě na lince řešit koordinaci vztahů a pohybů dělníka, materiálu a stroje. Pro samotné řešení jejich koordinace je možnost si vybrat z různých způsobů, např.:

- *pohyb materiálu* - součást se pohybuje od jednoho pracoviště ke druhému,
- *pohyb dělníka* - dělník postupuje od pracoviště k pracovišti a vykonává zde úkony na stabilním pracovišti,
- *pohyb nástrojů (strojů)* – dělník na stabilním pracovišti užívá postupně různých přetransportovaných nástrojů (zařízení),
- *pohyb materiálu, dělníka i nástroje (stroje)* – v průběhu operace se spolu s výrobkem pohybuje dělník i nástroj. Po vykonání určitých úkonů na výrobku se vrátí i s nástrojem (zařízením) zpět k následnému výrobku,
- *jiné kombinace* [1].

2. ROZBOR TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

2.1. Základní popis výroby polykarbonátových skel

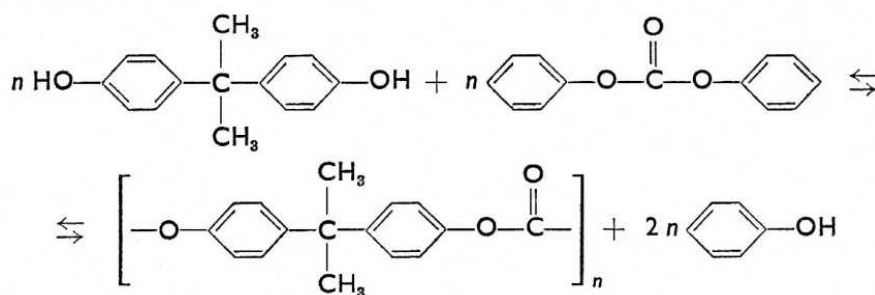
Polykarbonáty jsou lineární polyesterové odvozené od kyseliny uhličitě a dihydroxysloučenin. Kyselina uhličitá H_2CO_3 je příliš nestálá a nemůže se jí přímo použít k přípravě polyesterů. K přípravě polykarbonátů se proto používá derivátů kyseliny uhličitě. Podle výchozích derivátů kyseliny uhličitě se způsoby přípravy dělí do dvou hlavních skupin:

- reesterifikace,
- přímá fosgenace.

Rozdíl mezi oběma reakcemi je v podmínkách, za jakých probíhají. Zatímco reesterifikace se uskutečňuje za teplot vyšších než $100^\circ C$, tak u přímé fosgenace stačí pokojová teplota nebo i teplota nižší [2].

2.1.1. Výroba PC reesterifikací

Tento způsob spočívá v reakci dianu s diesterem kyseliny uhličitě, hlavně difenylkarbonátem. Reakce probíhá za odštěpení dvou molekul fenolu v rozmezí od $150^\circ C$ do $300^\circ C$ v inertní atmosféře a je urychlována katalyzátory, mícháním a vakuem. Proces chemické reakce je zobrazen na obrázku č.2.1.



Obr.2.1 Výroba polykarbonátů reesterifikací [2].

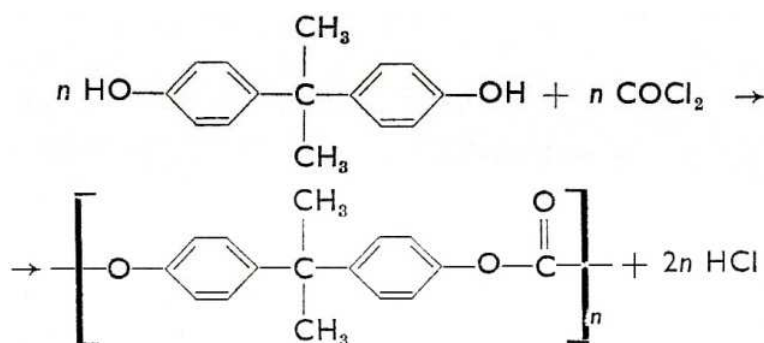
Postupuje se obvykle tak, že se v inertní atmosféře roztaví za přítomnosti katalyzátoru směs dianu a bifenylacetátu. Při 150 až $200^\circ C$ se za vakua 20 až 50 torrů oddestiluje 80 až 90 % teoretického množství fenolu vzniklého kondenzací, načež se teplota zvýší až na $300^\circ C$ za současného snižování tlaku pod 1 torr. Za

těchto podmínek se oddestilují i poslední zbytky fenolu. S postupující reesterifikací se zvětšuje viskozita taveniny současně s rostoucí molekulární hmotou polykarbonátu. Po dosažení určitého stupně kondenzace, jehož horní mez je dána viskozitou taveniny, se katalyzátor obvykle zneutralizuje a tavenina se zpracuje na granule, nebo požadované předměty vytlačováním.

Závěrem k rektifikačním způsobům přípravy polykarbonátů lze říci, že jejich společnou nevýhodou je, že se musí pracovat v uzavřených reaktorech v inertním prostředí a za vysokého vakua a teplot, čímž je omezena velikost výrobního zařízení. Velká viskozita taveniny přitom nedovoluje připravit polykarbonát neomezeně velké molekulové hmoty. Naproti tomu se může použít dianu znečištěného fenolem a ostatními jednomocnými fenoly, přičemž produkt je velmi čistý, v tuhé formě, z které se může přímo zpracovat na požadované výrobky [2,18].

2.1.2. Příprava PC přímou fosgenací

Příprava polykarbonátů přímou fosgenací spočívá v přímé reakci dianu s fosgenem za přítomnosti sloučenin reagujících se vznikajícím chlorovodíkem. Proces chemické reakce je zobrazen na obrázku č.2.2.



Obr.2.2 Příprava polykarbonátů přímou fosgenací [2].

Jako prostředku vázajícího vznikající chlorovodík se používá buď vodných roztoků alkálií, nebo pyridinu. Proto se také mluví o pyridinovém způsobu nebo o způsobu voda a inertní rozpouštědlo.

V systému voda a inertní rozpouštědlo se jako akceptoru chlorovodíku používá hlavně vodného roztoku hydroxidu sodného za přítomnosti inertních rozpouštědel. Tato rozpouštědla buď rozpouštějí pouze uváděný fosgen, ale

nerozpouštějí vznikající polykarbonát, který vypadává z roztoku v nabitné formě, nebo rozpouštějí jak fosgen, tak i polykarbonát.

Při pyridinovém způsobu váže pyridin uvolněný chlorovodík a rozpouští i uváděný fosgen a vznikající polykarbonát a působí současně jako katalyzátor reakce. Výhodou pyridinového způsobu je, že příprava probíhá v homogenním roztoku. Nahradí-li se pyridin z části levnějším organickým rozpouštědlem rozpouštějícím polykarbonát, označuje se tento způsob jako částečně pyridinovým.

Hlavním předpokladem pro dosažení dostatečné molekulové hmoty polykarbonátů a lineárního tvaru řetězců je vysoká čistota všech surovin, hlavně dianu. Dian musí být zbaven hlavně všech monofunkčních a více než difunkčních hydroxysloučenin. Dalším požadavkem je pečlivé dodržování technologického postupu a čistoty během výrobního postupu [2,18].

2.2. Zpracování polykarbonátu

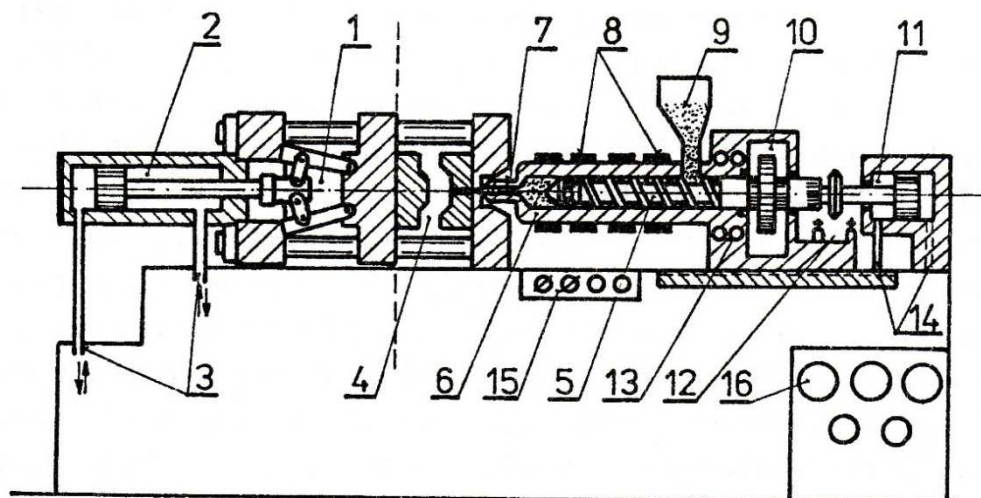
2.2.1. Technologie vstřikování

Podstata zpracování polykarbonátů je většinou stejná jako u jiných termoplastů. Nejčastější technologie používané pro zpracování polykarbonátů jsou vytlačování, lití a vstřikování. Obecně lze přetvářet po roztavení, nebo při teplotě pod intervalem tání a to beztržiskovým obráběním, jako je např. kování, lisování, nebo vakuové tvarování desek.

Dodržení optimálních výrobních podmínek je velmi významné pro dosažení jakostních výrobků. Pro zpracování taveniny je kladen velký význam na dokonalé vysušení polykarbonátů. Před samotným zpracováním se tedy suší i několik hodin, aby bylo dosaženo maximální vlhkosti 0,03 %. Vlhkost v polymeru není přípustná především pro pokles molekulové hmoty z důvodu zmýdelňování [2,18].

2.2.2. Princip vstřikování termoplastů

Jedná se o způsob tváření plastů, kdy je roztavený plast vstříknut velkou rychlostí do dutiny uzavřené kovové formy. Formy bývají předehřáté na určitou teplotu z důvodu lepší zabíhavosti polymeru. Po vyplnění formy tavenina ztuhne v hotový dílec. Obecné schéma vstřikovacího stroje je na obr. 2.3 [3].



Obr.2.3 Schéma šnekového vstřikovacího stroje [3].

Hlavní součásti stroje:

- 1 – kloubový uzavírací mechanismus,
- 2 – píst ovládající kloubový mechanismus,
- 3 – přívod a odvod kapaliny,
- 4 – vstřikovací forma,
- 5 – šnek,
- 6 – tavicí komora,
- 7 – tryska tavicí komory,
- 8 – odporové topení,
- 9 – násypka,
- 10 – hydraulický motor,
- 11 – hydraulický válec s pístem pro axiální pohyb šneku,
- 12 – koncové spínače pro nastavení pohybu šneku,
- 13 – chladičí kanály,
- 14 – přívod hydraulické kapaliny,
- 15 – ovládací panel,
- 16 – regulace hydraulického systému stroje.

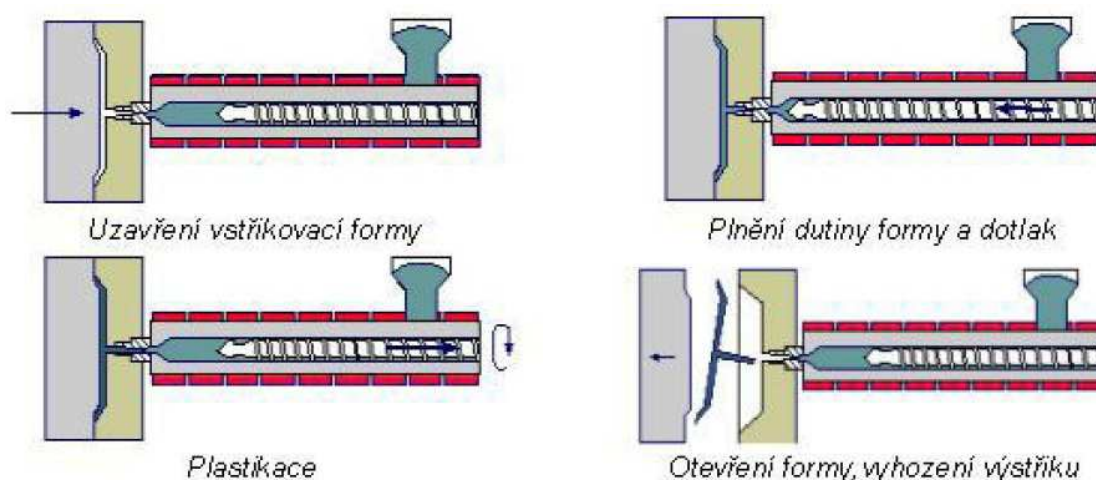
Princip vstřikování: Plast je převážně dodáván v podobě granulí, které se nasypou do zásobníku. Odtud jsou odebírány otáčejícím se šnekem a tím dopravovány do tavicí komory, která je vyhřívána elektrickými odporovými pásy. Zde je plast díky vyhřívání a tepla vzniklého třením ve šneku roztaven a dále jako tavenina vstříknut do dutiny formy, která je úplně vyplněna taveninou, a materiál přijme tvar formy. Formy jsou kovové a chlazené protékající vodou na teplotu asi 30 až 80 °C, díky čemuž hmota rychleji ztuhne. Poté následuje otevření formy a

vyjmutí výrobku. Následně se může forma znovu uzavřít a cyklus se opakuje [3,19].

Vstřikovací stroj se skládá ze dvou na sobě závislých jednotkách, a to jednotky vstřikovací a uzavírací. Vstřikovací jednotka zajišťuje dávkování granulátu, jeho plastikaci, vstřiknutí roztavené hmoty do formy, provedení dotlaku a zajištění dalších pohybů tavicí komory, jako je např. jejich odsunutí a přisunutí k formě. Jednotlivé posuvy jsou hydraulické, z čehož vyplývá regulace rychlosti vstřikování a velikosti dávky za pomoci tlaku přiváděné hydraulické kapaliny. Uzavírací jednotka stroje má na starosti zajišťovat pevné uzavření vstřikovací formy v průběhu plnění a veškeré pohyby formy nepostradatelné k vyhození dokončeného výrobku z formy. Řídicí systém zabezpečuje automatický provoz stroje a samočinné dodržování nastavených technologických parametrů, jako jsou např.: teplota vstřikované hmoty, vstřikovací tlak, rychlost vstřikování, teplota formy a časové rozčlenění vstřikovacího cyklu [19].

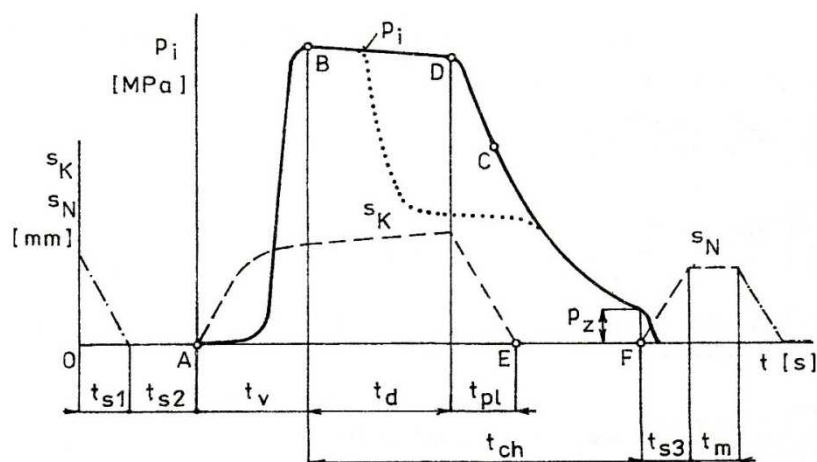
2.2.3. Vstřikovací cyklus

Nejdůležitější při zhotovení výstřiku je zajištění sledu přesně za sebou jdoucích úkonů, které dohromady formují celý vstřikovací cyklus. Je třeba, aby jeho začátek byl jednoznačně definován. Bývá to moment, který odpovídá impulzu danému k uzavření formy. Chod stroje v průběhu vstřikovacího cyklu je schematicky zobrazen na obr. 2.4 [3].



Obr.2.4 Vstřikovací cyklus [4].

Vstřikovací cyklus můžeme též vyjádřit jako průběh tlaku v dutině lisovací formy. Jedná se o vnitřní tlak, který se značí p_i . Závislost tohoto tlaku p_i na čase se značí jako tlakový cyklus, který je zobrazen na obr.2.5 [3,19].



Obr.2.5 Tlakový cyklus [3].

Na začátku cyklu se předpokládá otevřená a prázdná dutina formy a čas $t = 0$. Stroj čeká na impuls k započetí vstřikovacího cyklu. Po impulsu se forma přisune, uzavře a uzamkne, čemuž odpovídá čas t_{s1} . Následuje časový úsek t_{s2} , kdy se tavicí komora přisune k formě. Tyto dva časy představují tzv. strojní časy. V bodě A se spustí šnek umístěný v tavicí komoře a forma se začíná plnit. V tuto chvíli šnek provádí pouze axiální pohyb bez otáčení, tedy působí jako píst. Snímač umístěný v dutině formy začne zaznamenávat nárůst tlaku taveniny ve formě, což odpovídá času doby plnění formy, který se značí t_v , a končí v bodě B. Hmota v dutině formy začne chladnout hned při jejím vstupu a chladnutí trvá až do otevření formy, což se značí t_{ch} . První část chladnutí je doba dotlaku t_d , které je nutné z důvodu smrštění taveniny během chladnutí. Doba dotlaku končí v bodě D a může začít doba plastikace další dávky plastu. Šnek se otáčí, aby nabral z násypky další granule, které plastifikuje a vtlačuje před čelo šneku. Dalším důležitým bodem je bod C, ve kterém dochází k zatuhnutí hmoty ve vtokovém kanálu. Při zatuhnutí hmoty dochází k přerušení mezi dutinou formy a tavicí komorou. Tím dochází k rychlému poklesu tlaku ve formě. Forma a tavicí komora se od sebe musí odsunout, protože se musí zabránit přestupu tepla z trysky do formy. Tlak ve formě neustále klesá z důvodu chlazení formy a to až na hodnotu p_z . Hmota je již zcela ztuhlá a forma je těsně před otevřením. V bodě F dochází

k otevření formy a vyhození výstřiku. Čas potřebný pro tuto operaci je označen t_{s3} . Dále může následovat manipulační čas, který využívá obsluha formy [19].

2.2.4. Dokončovací operace po vstřikování - opracování

Výroba výstřiku nekončí jeho vyhozením z formy. Ve většině případů zbývá ještě odstranit vtokové zbytky. Jedná se o ztuhlou taveninu, která zaplnila vtokové kanálky a je s výrobkem pevně spojena.

- *Odstraňování vtoků* – u menších sérií výroby se vtoky odstraňují ručně za pomoci ostrého nože, kleští, nebo speciálními nůžkami. U výrobků, které mají vtoky větších rozměrů, se na jejich odstranění používá kotoučová nebo pásová pila.
- *Odstraňování přetoků* – mohou vzniknout následkem nedostatečné uzavírací síly, nebo opotřebením formy a je nutné je odstranit. Přetoky u tvrdých materiálů se odstraňují speciální škrabkou nebo pilníkem. U měkkých materiálů se používá ostrý nůž, břitva, skalpel, apod. [6].

2.2.5. Dokončovací operace po vstřikování - dodatečné operace

Hodně časté jsou u výstřiků dodatečné operace. Nejčastější jsou tyto:

- *Vrtání otvorů* – v případě malých sérií by se nevyplatilo vyrábět formu s jádry pro otvory a tak se dodatečně vrtají.
- *Leštění povrchů* – lesk na povrchu výrobku je obrazem kvality povrchu formy a zvolených technologických parametrů. U některých plastů je možné nedokonalý povrch zlepšit jeho leštěním za použití velmi jemných abraziv smíchaných s vazelínou. Důležitá je volba rychlosti rotačního kotouče a přítlačná síla.
- *Spojování* – používá se v případech, kdy by byla forma příliš drahá nebo by konečného tvaru výrobku nemohlo být dosaženo z důvodu jeho složitosti. Jedná se především o svařování, mechanické spojování a lepení.

- *Speciální operace* – nejčastěji se provádí u hotových výrobků vyrobených vstřikováním. Sem patří potiskování, povrchové barvení a pokovování [6,19].

2.2.6. Dokončovací operace po vstřikování - temperování

Slouží k odstranění vnitřního pnutí u výstřiků a k dosažení rozměrové a strukturní stálosti. Bez temperování může dojít u některých výstřiků již při malém mechanickém namáhání ke vzniku trhlin. Tudíž je doporučeno temperování zařadit hned po vyhození výstřiku z formy. Výrobky dle typu použitého materiálu lze temperovat ve vodní, olejové lázni nebo i na vzduchu. Nejdůležitějšími parametry jsou teplota a čas temperování [6,19].

2.3. Technologie lakování

Základem nátěru na plastických hmotách je plnění dvou základních funkcí: estetické a ochranné. Dané využití materiálu určuje, která z těchto funkcí je převládající. Co se estetického hlediska týká, je důležitou vlastností kryvost, lesk nátěru a barva. Na druhou stranu je též důležitá životnost nátěru z hlediska povrchové ochrany, protože předmět chrání proti vlivům okolního prostředí. Výdrž (životnost) nátěrů je především závislá na plastické hmotě, ze které je výrobek vyroben, na povrchové úpravě před nanesením barvy, na druhu nátěrové hmoty a na prostředí kterému bude výrobek vystaven [5].

2.3.1. Technologie lakování polevem

Technologie polévání je též v některých literaturách uváděna pod názvem clonování. Využívá se především pro nanášení nátěru ve velkých sériích na rovinné plochy. Princip spočívá v tom, že lak vytéká z tenké štěrbině jako souvislá hmota a nanáší se na dílec, který projíždí touto clonou. Požadavek na kvalitu nátěrových hmot je v tomto případě velmi vysoký. Tato technologie se může zdát jednoduchá, má však určité technické a technologické úskalí [7].

2.3.2. Akrylátový lak

Lak používaný pro lakování polykarbonátových skel musí splňovat specifické podmínky vyplývající z jeho budoucího použití. Polykarbonát je materiál

houževnatý a snadno podléhající mechanickým podnětům z okolí. Povrch výlisku je citlivý na poškrábání a nepolakovaný výlisek by byl brzy znehodnocený např. škrábanci po posypovém materiálu. Z tohoto důvodu je nutné povrch chránit tvrdým a zároveň transparentním lakem. Nejlépe těmto požadavkům vyhovuje akrylátový lak.

Akrylátový lak, používaný v této technologii, je materiál poskytující řadu vlastností vyhovujících požadavkům pro tento proces. Zásadními vlastnostmi jsou přilnavost k podkladu, rychlé tvrdnutí materiálu, mechanická odolnost, propustnost pro světlo a odolnost proti povětrnostnímu stárnutí.

Akrylátový lak je směs akrylátových mono a oligomerů, aktivátorů polymerace (fotoiniciátorů), reaktivních rozpouštědel a aditiv. Lak je vytvrzovaný fotoiniciovanou polymerací v průběhu velmi krátké doby, kdy se vytvoří tvrdá vrstva.

2.3.3. Rozpouštědlo

Výběr vhodného rozpouštědla určeného pro nátěrové hmoty, které se nanášejí na plastické hmoty je velmi důležitý a obtížný oproti jiným materiálům (dřevo, kov). Důvodem je možnost interakce mezi plastem a rozpouštědlem. Plastická hmota může nabotnat proniknutím molekul rozpouštědla mezi řetězce makromolekuly a být do určité míry vázána. Nabotnání plastu se může projevit jak příznivě, tím že dojde k lepšímu zakotvení vrstvy nátěru, tak nepříznivě, tak že nabotnání vede k porušení výrobku. Rozpouštědlo použité k nabotnání polymeru, je schopno zvyšovat přilnavost nátěru na povrchu plastu dvěma možnostmi. Po vniknutí mezi řetězce polymerů je od sebe oddáleno a dovolí nátěru jeho lepší zakotvení a to především zvětšením reliéfu a reálné dotykové plochy [5].

2.3.4. Odpařování rozpouštědla

Žádoucím jevem tedy je, aby rozpouštědlo dokázalo nabotnat polymer a zároveň se rychle odpařilo po zdrsnění jeho povrchu. Přesto se stane, že určitá část rozpouštědla zůstává vázána značně dlouho (retence rozpouštědel). Tato mezivrstva však může zároveň působit příznivě mezi polymerem a nátěrem [5].

2.3.5. Vytvrzování laku ultrafialovým zářením

Vytvrzování nátěrů za pomoci UV záření se řadí k progresivním metodám povrchových úprav materiálů. Jedná se o záření s vlnovou délkou před viditelnou oblastí celkového spektra. Dá se použít pro nátěrové hmoty, které lze vytvrdit pomocí polymerace. Fotoiniciátory se rozpadají na volné radikály díky ultrafialovému záření. K vytvrzení nátěru za pomoci této metody dochází velmi rychle (několik vteřin). Vhodné využití této metody je u kontinuálních lakovacích linek. Díky vytvrzení laku za pomoci záření nedochází k uvolňování výparů, a tudíž je není potřeba odvádět. Důležité je použití vhodné vlnové délky, o které se starají UV zářiče, které toto záření emitují [8].

2.3.6. Antistatická úprava povrchu plastických hmot

Je potřeba věnovat zvýšenou pozornost jedné z průvodních vlastností plastů a to jejich schopnost vytvářet a uchovávat náboj. Jeho přítomnost je ve většině případů nežádoucí. Elektrostatický náboj vzniká již při výrobě a nejčastěji se projevuje přitahováním prachu a elektrickými výboji. Vznik elektrostatického náboje se tudíž snažíme potlačit prováděním různých antistatických úprav [5,20].

2.3.7. Vznik elektrostatického náboje

Předpokladem pro vznik náboje je vznik elektrické dvojvrstvy způsobené dotykem dvou dielektrik. Tyto dvojvrstvy lze přirovnat k miniaturním kondenzátorům. Dále následkem oddálení dielektrik zůstane na každém z těles elektrický náboj rozdílné polarity. Nejdůležitější činitele ovlivňující vznik elektrostatického náboje jsou: druh materiálu, velikost a vzdálenost dotýkajících se povrchů, drsnost, tření, teplota a vlhkost vzduchu [5].

2.3.8. Antistatické přípravky

Konečný antistatický účinek je složen z různých činitelů. Jednotlivé antistatické opatření se navzájem prolínají, a z toho důvodu je nelze jednoznačně rozdělit. Dají se rozdělit pouze dle převládající složky do čtyř skupin:

- látky zvyšující povrchovou vodivost materiálu,

- látky snižující tření – jedná se především o oleje a vosky,
- látky omezující styčné plochy dielektrik – je možné je realizovat nanesením koloidní kyseliny křemičité nebo jemně dispergovaných polymerů,
- látky schopné ovlivnit polaritu náboje – používá se různých příměsí, které jsou schopny se nabít na opačnou polaritu [5,20].

Moderním způsobem odstranění elektrostatického náboje je použití plazmového hořáku. Je ovšem důležité dodržet teplotu a vzdálenost od výrobku, aby nedošlo k jeho poškození. Plazmou se rozumí vysoce ionizovaný plyn, který rozkládá náboj na povrchu výrobku tak, aby měl stejný náboj jako okolní prostředí a tím odpuzoval případné nečistoty.

2.4. Způsoby hodnocení technologického procesu

2.4.1. Ekonomické zhodnocení technologického procesu

U nových projektů manipulace s materiálem je důležité hodnotit i ekonomickou stránku výrobního systému. Ve většině případů je připraveno více projektů, ze kterých je nutné vybrat takový, který podniku přinese největší efekt. Při výběru nejlepší varianty se vychází především z:

- investičních nákladů,
- nákladů na zaměstnance,
- nákladů na spotřebovanou energii,
- nákladů na materiál [10].

Samotné hodnocení efektivnosti investice probíhá ve fázích:

- 1) Vyhodnotí se účel a potřebnost investice.
- 2) Hodnotí se technickoekonomická úroveň výrobků.
- 3) Porovnání zaměnitelných variant.

4) Kompletní hodnocení vybrané varianty.

5) Souhrnné vyhodnocení efektivnosti investice [1].

V prvních dvou fázích se prověřuje, zda je vůbec potřeba investovat. Ve třetí fázi se vypracují jednotlivé varianty, za pomoci kterých můžeme dosáhnout cílů. Cíle jsou stanoveny v prvních dvou fázích. Čtvrtá a pátá fáze zahrnuje kompletní zhodnocení účinků akce, hlavně její celkový přínos [1].

2.4.2. Logistické zhodnocení

Ze základních funkcí vyplývají cíle výrobní logistiky, které můžeme rozdělit dle následujících kritérií:

- optimalizace materiálových a výrobních toků,
- maximální využití výrobních ploch a prostorů,
- vysoká dosažená pružnost pro využití staveb, budov a zařízení,
- pracovní síla musí mít vhodné podmínky [9].

Děje a činnosti v logistických řetězcích lze porovnávat jak ze strany kvantitativní, tak ze strany kvalitativní. Přičemž hodnocení logistických činností po stránce kvantitativní lze realizovat za pomoci logistických veličin. Existuje soubor pomocných a srovnávacích logistických ukazatelů, které za pomoci různých parametrů dokážou hodnotit úroveň a stav efektivnosti logistických systémů. Mezi nejčastěji používané ukazatele patří ukazatel produktivity a hospodárnosti. V logistice je zároveň důležité se zabývat náklady, které jsou definovány jako peněžně vyjádřená hodnota výrobních prostředků, které podnikové hospodaření vynakládá při své realizaci zboží. Náklady postupně vznikají v každém článku logistického řetězce. Avšak při produkci více typů zboží v podniku vzniká problém s jejich zařazením k jednotlivým článkům [9,11].

Náklady lze dělit na:

- *Přímé náklady* – jedná se o skupinu nákladů, které se dají s určitostí přiřadit k zakázce. Patří sem např. mzdové náklady, materiálové náklady a některé technologie.
- *Nepřímé náklady* – není možné je jednoznačně přiřadit k určitým zakázkám. Pro přiřazení je potřeba určit rozdělovací klíč. Avšak detailní rozdělení těchto nákladů se ve většině případů neprovádí. Do této skupiny patří např. osvětlení a vytápění budov, všeobecné náklady.

Mimo toto dělení je vhodné též rozdělit náklady na fixní a variabilní.

- *Fixní náklady* – tyto náklady se nemění až do určitého množství produkce. Mohou to být náklady informační technologie, budovy, atd. Při rozhodování o začlenění nákladů mezi fixní a variabilní je též důležitým parametrem čas.
- *Variabilní náklady* – mění se jejich velikost v určitém období a to hlavně v závislosti na objemu výroby. Jedná se především o materiálové náklady, které se zvyšující produkcí rostou [11].

Moderní doba díky vyššímu stupni automatizace přenáší část variabilních nákladů do fixních, tím se ale stává výrobní kapacita více nákladná, a proto musí být dostatečně využita [11].

3. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Tento projekt, který se zabývá návrhem lakovací linky HC3 vychází z již funkčních lakovacích linek HC1, HC2 a z empirických zkušeností, které jsou s nimi spojeny. Tyto linky jsou umístěny ve firmě Automotive Lighting ovšem jsou starší koncepce a slouží k lakování jednokomponentních skel na staré lakovně. Jednotlivá pracoviště budou z lakovacích linek HC1 a HC2 použita i v tomto projektu, ale budou uzpůsobena, aby vyhovovala daným požadavkům a omezením. Jedním z omezení je využití strojů a zařízení, které jsou běžně použity na ostatních lakovacích linkách, z čehož vyplývá, že jednotlivé návrhy se od sebe mohou lišit pouze uspořádáním, ale ne výměnou pracovišť za jiný druh. Přehled jednotlivých pracovišť a jejich nejdůležitější parametry jsou uvedeny níže.

3.1. Jednotlivé úseky výrobního cyklu

3.1.1. Vstřikovací lis s předhřívací stanicí



Obr.3.1 Šnekový vstřikovací stroj.

Celá lakovací linka, kterou tento projekt řeší, bude začínat dvěma šnekovými vstřikovacími stroji, jeden z nich je možno vidět na obrázku č.3.1. Přívod materiálu v podobě vysušených granulí je zajištěn za pomoci přetlakového dopravníku z nedalekého zařízení na vysoušení granulí. Toto zařízení není součástí projektu. Materiál je dopraven až do násypky stroje, kde se pomocí snímačů hladiny udržuje jeho potřebné množství. Dále je granulát zpracován, jak již bylo popsáno v teoretické části, a vstříknut do formy, kde vzniká výrobek, který se dle ČSN nazývá výstřík.

3.1.2. Manipulační zařízení – robot

Pro vyjmutí výrobku z formy bude použit robot, který za pomoci podtlakových přísavek zajistí uchopení výstřiku a jeho vyjmutí z lisovací formy. Na greifru robota jsou též umístěny nůžky, které umožňují odstranění již nepotřebných vtoků. Dále robot přesouvá výrobek pod plamen plazmy, který zajistí rovnoměrné rozložení náboje na výstřiku. Tímto způsobem se zabrání přitahování nečistot z okolí na výstřik. Po těchto operacích je již možno odložit výrobky na lamelový dopravník.

3.1.3. Temperační pec pro snížení vnitřního pnutí



výrobek na
dopravníku
temperační pece

lamelový
dopravník

Obr.3.2 Vstup materiálu do temperační pece.

Každý výrobek vyrobený technologií vstřikováním má určité vnitřní pnutí, které je u výroby světlometů nežádoucí. Toto pnutí je potřeba odstranit žíháním materiálu a k tomuto účelu je na dopravník umístěna žíhací pec, kterou všechny výrobky projíždí. Vstup do takové temperační pece je zobrazen na obrázku č.3.2. V peci materiál neprojíždí kontinuálně, nýbrž po určitých krocích, které jsou určeny tím, jak robot řadí výrobky na dopravník. V prvním kroku se materiál ohřeje na teplotu 127 °C a dále se postupně ochlazuje přibližně rychlostí 15 °C/min. Tímto způsobem se vnitřní pnutí polykarbonátu uvolní a tím je dosaženo požadovaných vlastností.

3.1.4. Nakládací zóna na dopravník



dílec umístění na
trnu dopravníku

Obr.3.3 Nakládací zóna.

Po ochlazení výstřiku se provádí jeho kontrola na viditelné vady, které mohly vzniknout při jeho výrobě vstřikováním. Tuto kontrolu provádí kvalifikovaný pracovník. Kontrolní pracoviště starších lakoven je pro představu vyobrazeno na obrázku č.3.3. Poté je výrobek umístěn na trn, který je pevně spojen s dalším dopravníkem. Tento dopravník je veden dále celou lakovnou. Ještě před vjezdem do lakovny je každý trn snímán, aby se rozpoznaly neobsazené pozice, které se zpracovávat nebudou.

3.1.5. Lakovací a okapová zóna



Obr.3.4 Lakovací hlava.

Lakovací část začíná tzv. vzdušným zámekem, který za pomoci přetlaku a přesně stanoveného proudění vzduchu zabezpečí potřebné bezprašné prostředí. Po projetí výstřiku touto částí se dostává pod štěrbinu, ze které vytéká souvislá clona laku a postupně polévá celou část výrobku. Lakovací hlava je vidět na obrázku č.3.4. Zde je velmi vysoký požadavek na kvalitu laku. Lak se proto předem připravuje smícháním s rozpouštědlem a ještě těsně před jeho aplikací je kontrolována jeho teplota a hustota. Po nanesení laku na povrch výrobku dochází k jeho stékání. Pro zachycení stečeného laku nám slouží okapová zóna. V této zóně přebytečná část laku skapává do nerezových van, vrací se do míchací části a po její filtraci může být dále opětovně zpracována. Celková nanesená vrstva laku by měla být mezi 10 μm až 15 μm .

3.1.6. Odpařovací a vytvrzovací zóna



Obr.3.5 Vytvrzování laku UV zářením.

Tato část lakovací linky nám v první fázi musí zabezpečit dostatečnou dobu působení rozpouštědla obsaženého v laku a zároveň jeho odpaření. Výpary vzniklé jeho odpařováním je nutné odsávat a společně s výpary vzniklými v lakovací zóně odvádět do spalovny. Doba odpařování rozpouštědla je přesně stanovena a je nutné ji zohlednit při navrhování této části dopravníku. V druhé fázi výrobek pokračuje do vytvrzovací zóny, kde na akrylátový lak působí UV záření (viz obrázek 3.5.). Díky tomuto záření dochází v laku k fotoinicované polymeraci. Tím dochází ke změně vlastností dosud měkkého laku na požadovaný tvrdý lak sloužící k ochraně výrobku.

3.1.7. Vykládací a kontrolní zóna



obsluha při
kontrolce dílce

obaly na
hotové výrobky

Obr.3.6 Obsluha při kontrole dílců.

Po všech předchozích operacích projíždí výrobek chladicí zónou a dostává se do vykládací zóny zobrazené na obrázku č.3.6. Zde jej obsluha snímá z trnu a výrobek podrobí důkladné optické kontrole před balením. Podrobně se zde zkoumá vše od kvality výstřiku, až po kvalitu naneseného laku. Pokud je vše v pořádku, je dílec vložen do balení označeného IO dílce. Vadný výrobek je vhozen do červeného kontejneru označeného jako NIO dílce.

4. NÁVRHY USPOŘÁDÁNÍ NOVÉ LAKOVNY

Návrh jednotlivých variant řešení dané problematiky má hned od začátku jistá omezení, se kterými je nezbytné počítat. Především se jedná o vymezený prostor určený pro stavbu nové lakovací linky, který není možné přesáhnout. Jedná se o plochu 36,5 m x 24,5 m. Daná situace se stává ještě více komplikovaná tím, že se na dané ploše vyskytují sloupy a tak se jednotlivé části linky musí uzpůsobit jejich rozložení. Dalším důležitým faktorem pro zpracování návrhů je kapacita linky určená dle požadavku zákazníka na 2 500 000 ks za rok. Dle výpočtu níže musí být použity dva vstřikovací lisy. Tyto lisy jsou dominantními stroji celé lakovny a zároveň u nich začíná celý materiálový tok linkou. A právě proto jednotlivé návrhy vycházejí z jejich rozmístění. Dále je nutné pokračovat dle požadovaného toku materiálu jednotlivými zónami a to v pořadí: temperance, nakládání, detekce kusů, lakování a okap, odpařování, vytvrzování, ochlazení a nakonec vykládka a kontrola hotového výrobku.

4.1. Kapacitní propočet toku materiálu linkou

4.1.1. Stanovení časového efektivního fondu

Důležité pro stanovení počtu strojů potřebných pro dosažení výroby již zmíněných 2 500 000 ks požadovaných zákazníkem je stanovení časového efektivního fondu F_e . Počítá se zde se ztrátou 5 % na údržbu a opravy strojů. Počet směn je dán za týden 20. Každá směna má 7,5 hod. Celkový počet pracovních týdnů za rok je po odečtení celozávodní dovolené 49.

$$F_e = t_z \cdot s_{\text{týd.}} \cdot n_{\text{týd.}} \cdot h \quad [\text{hod.}] \quad (4.1)$$

$$F_e = 0,95 \cdot 20 \cdot 49 \cdot 7,5$$

$$F_e = 6\,982,5 \text{ hod.}$$

4.1.2. Stanovení pracnosti výroby

Pro výpočet pracnosti je známou veličinou doba výroby jednoho výstřiku na vstřikovacím lisu. Pro nejsložitější výrobky je doba vstřikování 80 s, ale zároveň je

použita forma na čtyři kusy, z čehož vyplývá, že průměrný čas se pohybuje kolem 20 s na jeden kus. Tento čas je závislý na typu vyráběné produkce.

$$P_k = p_k \cdot Q \text{ [Nh]} \quad (4.2)$$

$$P_k = 20 / (60 \cdot 60) \cdot 2\,500\,000$$

$$P_k = 13\,889 \text{ Nh}$$

4.1.3. Stanovení počtu lisovacích strojů

Pro stanovení počtu potřebných vstřikovacích lisů jsou použity výpočty časového efektivního fondu a pracnosti výroby. Počet strojů je stanoven jejich podílem.

$$A = P_k / F_e \quad (4.3)$$

$$A = 13\,889 / 6\,982,5$$

$$A = 1,989 \text{ strojů}$$

Z výpočtu jednoznačně vyplývá, že pro splnění objednávek je zapotřebí použití dvou vstřikovacích strojů.

4.1.4. Výpočet taktu celé linky

Tento výpočet je důležitý pro porovnání proudu výrobků linkou a času práce obsluhy na jednotlivých pracovištích. Je vypočítán v sekundách na základě dvou vstřikovacích lisů, z nichž každý má formu na čtyři výstřiky. Doba cyklu jednoho lisu je kolem 80 s, podle velikosti výrobku.

$$\text{Takt} = t_{\text{cyklu}} / (n_{\text{strojů}} \cdot n_{\text{výrobků}}) \text{ [s]} \quad (4.4)$$

$$\text{Takt} = 80 / (2 \cdot 4)$$

$$\text{Takt} = 10 \text{ s}$$

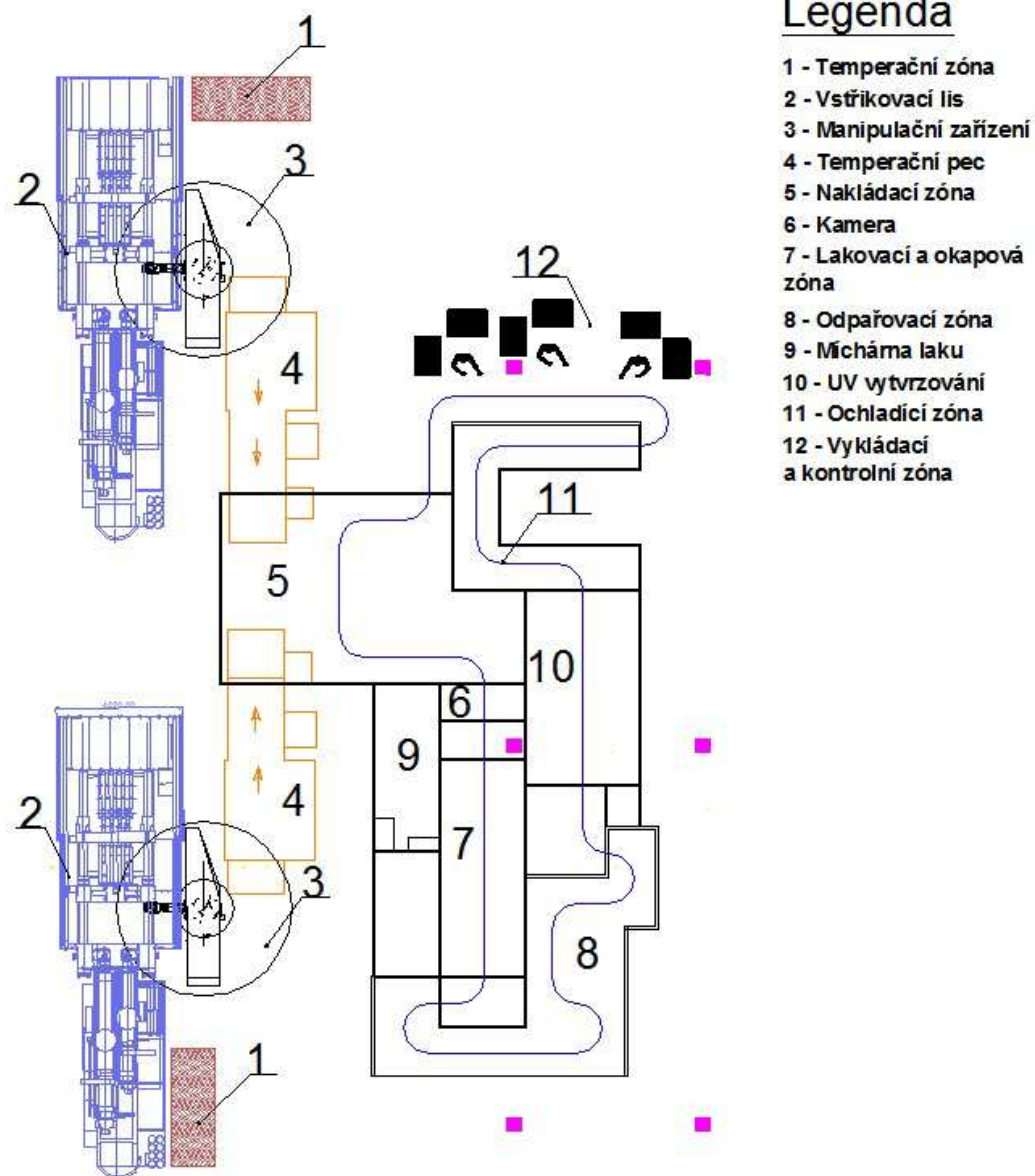
Z výpočtu vyplývá, že každých 10 s vyjede z linky jeden hotový kus určený ke kontrole a zabalení. Tato hodnota bude použita pro další výpočty stanovující počet potřebného personálu pro obsluhu celé linky.

4.2. Varianta A – popis návrhu + schematické znázornění

První varianta zobrazena na obrázku č.4.1 je v projektu navržena pro uspořádání lisů na délku vymezeného prostoru tzv. za sebou. Přívod granulátu do zásobníku vstřikolisu je řešen pomocí podtlakového dopravníku. Jedná se o pružné hadice, jejichž umístění je značně variabilní, proto není důležité jejich řešení v projektu. Důležité je umístění a temperování forem. Místo vyhrazené pro tuto činnost je hned vedle vstřikovacích lisů, a tak vzdálenost pro přepravu předeřtátých forem do lisu je vyhovující. Pro přepravu formy do stanice se používá jeřáb, a tak je nutné počítat i s dostatečnou délkou jeřábové dráhy. Fialové značky znamenají rozmístění sloupů na hale, se kterými nelze manipulovat.

O vyzvednutí hotových výstřiků z formy lisu se starají dvě automatická manipulační zařízení, která zajistí i odstřižení vtoků, rovnoměrné rozložení náboje na výrobku plazmou a jeho odložení na dopravník vedoucí temperanční pecí. V tomto případě jsou použity dvě sériové pece, které není potřeba jakkoli upravovat. V nakládací zóně je počítáno s jednou obsluhou, která bude odebírat výrobky ze dvou pásů a vkládat je na trny dopravníku lakovny. Dále výrobek projíždí lakovací linkou jednotlivými úseky, jejich pořadí je u všech variant stejné a již bylo popsáno dříve. Dopravník se však díky uspořádání pracovišť liší svojí délkou, která je v tomto případě 75,5 m. Na konci dopravníku je vykládací a kontrolní zóna, kde u této varianty pracují tři dělníci.

Výhodou tohoto uspořádání je především možnost použití sériově vyráběných temperančních pecí, dále dostatečný prostor pro vykládku hotových výrobků a jejich balení do připravených boxů. Nevýhodou je ovšem manipulace s formami, kde vychází dlouhá dráha od místa určeného k jejich temperaci do lisu. Další nevýhoda je velký počet pracovníků obsluhujících celou linku.



Obr.4.1 Návrh č.1 – uspořádání lisů za sebou.

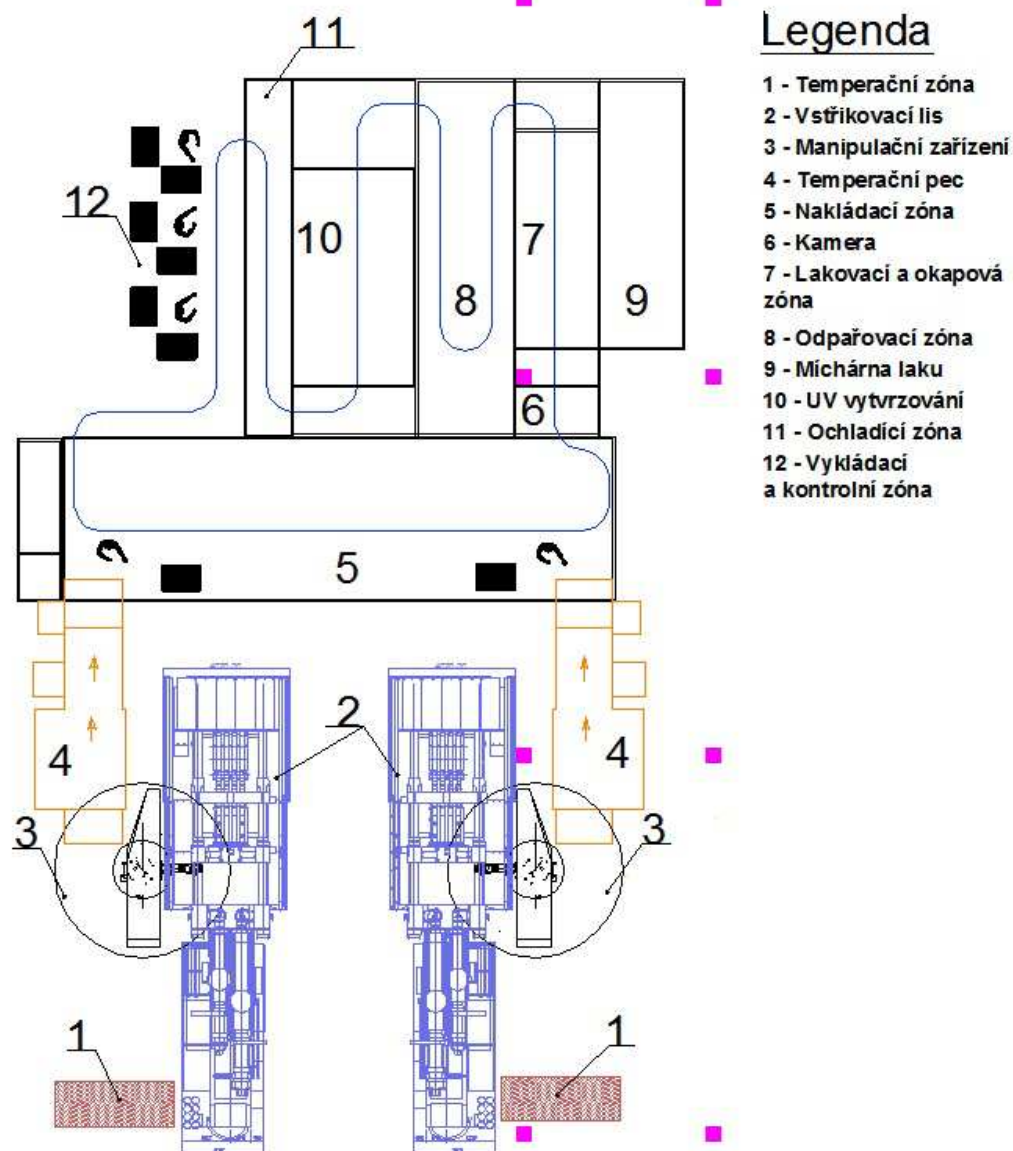
4.3. Varianta B – popis návrhu + schematické znázornění

Varianta č. 2, která je zobrazena na obrázku č.4.2, je v projektu navržena pro uspořádání lisů tzv. vedle sebe. Přívod granulátu do zásobníku vstřikovacího lisu je řešen pomocí podtlakového dopravníku. Jedná se o pružné hadice, jejichž umístění je značně variabilní, proto není důležité jejich řešení v projektu. Důležité je umístění a temperování forem. Místo vyhrazené pro tuto činnost je hned vedle vstřikovacích lisů, a tak vzdálenost pro přepravu přehřátých forem do lisu je

vyhovující. Pro přepravu formy do stanice se používá jeřáb, a tak je nutné počítat i s dostatečnou délkou jeřábové dráhy. Fialové značky znamenají rozmístění sloupů na hale, se kterými nelze manipulovat.

O vyzvednutí hotových výstřiků z formy lisu se starají dvě automatická manipulační zařízení, která zajistí i odstřižení vtoků, rovnoměrné rozložení náboje na výrobku plazmou a jeho odložení na dopravník vedoucí temperační pecí. V tomto případě jsou použity dvě sériové pece, které není potřeba jakkoli upravovat. V nakládací zóně je z důvodu její délky počítáno se dvěma lidmi, kteří budou odebírat výrobky ze dvou pásů a vkládat je na trny dopravníku lakovny. Dále výrobek projíždí lakovací linkou jednotlivými úseky, jejich pořadí je u všech variant stejné a již bylo popsáno dříve. Dopravník se však díky uspořádání pracovišť liší svojí délkou, která je v tomto případě 86,6 m. Na konci dopravníku je vykládací a kontrolní zóna, kde u této varianty pracují tři dělníci.

Výhodou tohoto uspořádání je především možnost použití sériově vyráběných temperačních pecí. Prostor pro vykládku hotových výrobků a jejich balení do připravených boxů již není tak velký jako u předchozí varianty. Nevýhodou je ovšem nedostatek místa na skladování forem. Další nevýhoda je velký počet pracovníků obsluhujících celou linku. U této varianty je nejvíce pracovníků z důvodu velké vzdálenosti temperačních pecí, a tak by obsluha nestíhala přecházet mezi pracovišti.



Obr.4.2 Návrh č.2 – uspořádání lisů vedle sebe.

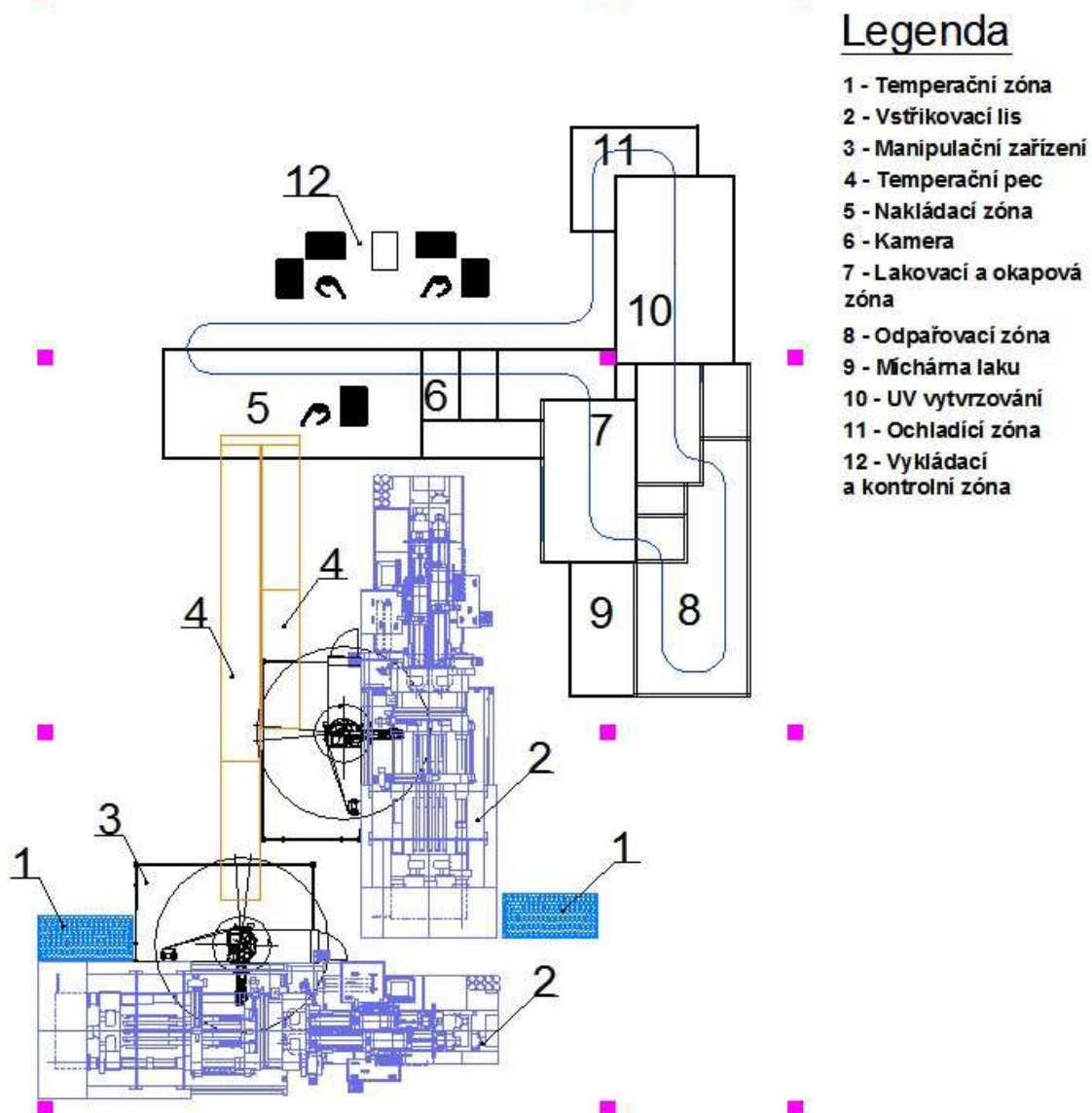
4.4. Varianta C – popis návrhu + schematické znázornění

Třetí varianta zobrazena na obrázku č.4.3 je v projektu navržena pro uspořádání lisů tzv. „do L“. Přívod granulátu do zásobníku vstřikolisu je řešen pomocí podtlakového dopravníku. Jedná se o pružné hadice, jejichž umístění je značně variabilní, proto není důležité jejich řešení v projektu. Důležité je umístění a temperování forem. Místo vyhrazené pro tuto činnost je hned vedle vstřikovacích lisů a tak vzdálenost pro přepravu přehřátých forem do lisu je vyhovující. Pro přepravu formy do stanice se používá jeřáb, a tak je nutné počítat i s dostatečnou

délkou jeřábové dráhy. Fialové značky znamenají rozmístění sloupů na hale, se kterými nelze manipulovat.

O vyzvednutí hotových výstřiků z formy lisu se starají dvě automatická manipulační zařízení, která zajistí i odstřížení vtoků, rovnoměrné rozložení náboje na výrobku plazmou a jeho odložení na dopravník vedoucí temperační pecí. V tomto případě je nutné nechat upravit sériové pece tak, aby byla možnost je uspořádat hned vedle sebe. V nakládací zóně je počítáno s jednou obsluhou, která bude odebírat výrobky ze dvou pásů a vkládat je na trny dopravníku lakovny. Dále výrobek projíždí lakovací linkou jednotlivými úseky, jejich pořadí je u všech variant stejné a již bylo popsáno dříve. Dopravník se však díky uspořádání pracovišť liší svojí délkou, která je v tomto případě 62,8 m. Na konci dopravníku je vykládací a kontrolní zóna, kde u této varianty pracují tři dělníci.

Výhodou tohoto uspořádání je především dostatečné množství místa, jak pro manipulaci s hotovými výrobky, tak pro ukládání forem. Manipulace s formami je v tomto případě též dobrá díky umístění temperační zóny forem. Další nespornou výhodou je počet pracovníků potřebných pro obsluhu, který je v tomto případě roven třem pracovníkům. Nevýhodou je nutnost úpravy sériově vyráběných temperačních pecí z důvodu jejich těsného umístění.



Obr.4.3 Návrh č.3 – uspořádání lisů do „L“.

5. POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

5.1. Prostorové nároky

Nároky na obsazenost vyčleněného prostoru se u jednotlivých variant liší. Především jsou závislé na uspořádání vstřikovacích lisů, použití temperačních pecí a rozmístění jednotlivých stanic lakovací linky. Zastavěná plocha má vliv na velikost zbylého manipulačního prostoru, který je požadován co největší. Jednotlivé hodnoty prostorové náročnosti jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Stroj / pracoviště	Plocha [m ²]			Počet strojů / pracovišť [ks]	Celková plocha [m ²]		
	Varianta A	Varianta B	Varianta C		Varianta A	Varianta B	Varianta C
Vstřikovací lis	70,3	70,3	70,3	2	140,6	140,6	140,6
Nahřívací zóna	5,3	5,3	5,3	2	10,6	10,6	10,6
Manipulační zařízení	24,2	24,2	24,2	2	48,4	48,4	48,4
Temperační pec	23,9	23,9	28,2	2	47,8	47,8	56,4
Nakládací zóna	50,9	91,5	27,8	1	50,9	91,5	27,8
Identifikační zóna	3,9	3,9	3,9	1	3,9	3,9	3,9
Lakovací a okapová zóna	18,5	18,1	15	1	18,5	18,1	15
Odpařovací zóna	34,5	34,8	21,9	1	34,5	34,8	21,9
Vytvrzovací zóna	21,6	27	22	1	21,6	27	22
Ochlazovací zóna	20,1	16,1	8,8	1	20,1	16,1	8,8
Vykládací a kontrolní zóna	50	64,4	53,7	1	50	64,4	53,7
Míchárna laku	11	22,3	8,5	1	11	22,3	8,5
Ostatní zóny	24,5	31,1	20,4	1	24,5	31,1	20,4
Výrobní plocha [m²]					482,4	556,6	438
Pomocná plocha [m²]					241,2	278,3	219
Celková plocha [m²]					723,6	834,9	657

Tab. 5.1: Prostorové nároky pracovišť.

Na základě součtu prostorových nároků jednotlivých variant vychází nejlépe poslední varianta C. Rozdíl oproti nejhorší variantě je celkem markantní a to 21,3 %.

5.2. Množství pracovníků

Důležité je hodnocení variant i podle množství pracovníků potřebných pro obsluhu celé linky. Umístění obsluhy je nutné na dvou pracovištích a každé je potřeba spočítat zvlášť z důvodu odlišných úkonů prováděných na těchto pracovištích. Jedná se o nakládací zónu, kde obsluha vyndává výstřik z temperační pece a přemísťuje ho na trn dopravníku lakovny. Druhé pracoviště je společné pro vykládku, kontrolu a zároveň balení nalakovaného výrobku.

5.2.1. Nakládací zóna

Jednotlivé časy úkonů prováděných pracovníkem byly naměřeny na starších lakovacích linkách HC1 a HC2, kde pracovník provádí v podstatě stejnou činnost, jaká je od něj očekávána na nové lince HC3. Tyto časy jsou vloženy do tabulky 5.2. Pro položky, kde pracovník musí přecházet, je čas úměrně zvýšen dle vzdálenosti, jakou musí absolvovat.

Operace	Čas [s]		
	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Uchopení dílce	1,2	1,2	1,2
Vizuální kontrola dílce	2,8	2,8	2,8
Otočení a přechod s dílcem	3,2	5,7	1,8
Uložení dílce na trn	2,4	2,4	2,4
Otočení a přechod zpět	3,3	5,8	1,8
Celkový čas	12,9	17,9	10

Tab. 5.2: Časy jednotlivých úkonů pracovníka v nakládací zóně.

Díky porovnání výsledků měření a jejich aplikace na jednotlivé varianty návrhu bylo zjištěno, že u varianty A a B, kde je velká vzdálenost mezi temperačními pecemi a dopravníkem s trny, byl čas potřebný pro obsluhu přesažen a je nutné zvýšit obsluhu na dva pracovníky. Nabízí se zde i jiná varianta dalšího dopravníku, kde by se čas na otočení a přechod podstatně snížil.

5.2.2. Vykládací a kontrolní zóna

Stejně jako u nakládací zóny, tak i zde se vychází z časů naměřených na starších lakovacích linkách HC1 a HC2, kde pracovníci provádějí v podstatě stejnou činnost, jaká je od nich očekávána na nové lince HC3. Časy jsou vloženy do tabulky 5.3.

Operace	Čas [s]		
	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Uchopení dílce a nástroje	2,4	2,4	2,4
Začištění dílce	14,2	14,2	14,2
Vizuální kontrola dílce	3,5	3,5	3,5
Otočení a přechod s dílcem	2,4	2,4	2,4
Uložení dílce do obalu	4,2	4,2	4,2
Otočení a přechod zpět	2,5	2,5	2,5
Celkový čas	29,2	29,2	29,2

Tab. 5.3: Časy jednotlivých úkonů pracovníka ve vykládací a kontrolní zóně.

Z tabulky je patrné, že jsou časy ve všech variantách stejné, je to z důvodu dostatečného místa ve vykládací a kontrolní zóně u každé z variant, a tak se nabízí sestavení těchto pracovišť stejné. Zjišťování těchto časů nebylo však zbytečné, neboť se z něj dá usoudit, že na obsluhu tohoto pracoviště bude zapotřebí 3 pracovníků.

5.3. Multikriteriální zhodnocení

Pro výběr nejvhodnějšího uspořádání linky byla zvolena metoda multikriteriálního hodnocení. Pro tuto metodu jsou zvolena vhodná kritéria zahrnující různé oblasti jako je například oblast ekonomická, technologická nebo logistická. Každému kritériu je přiřazena jiná váha a to od hodnoty 1 až do hodnoty 5. Dále se dle splnění každého kritéria dává bodové ohodnocení v rozsahu od 1 do 9. Konečným součtem získaných bodů bude vybrána nejvhodnější z variant. Jednotlivá hodnotící kritéria jsou uvedena v tabulce 5.4.

Č.	Hodnotící kritéria	Váha
1	Délka dopravníku	3
2	Prostorová náročnost	5
3	Délka jeřábové dráhy	4
4	Počet pracovníků	5
5	Vzdálenost od hlavního toku materiálu	2
6	Vzdálenost míchárny laku od lakovací zóny	2
7	Prostor pro přehazování forem	3
8	Manipulační a skladovací prostor hotových výrobků	3

Tab. 5.4: Jednotlivá hodnotící kritéria.

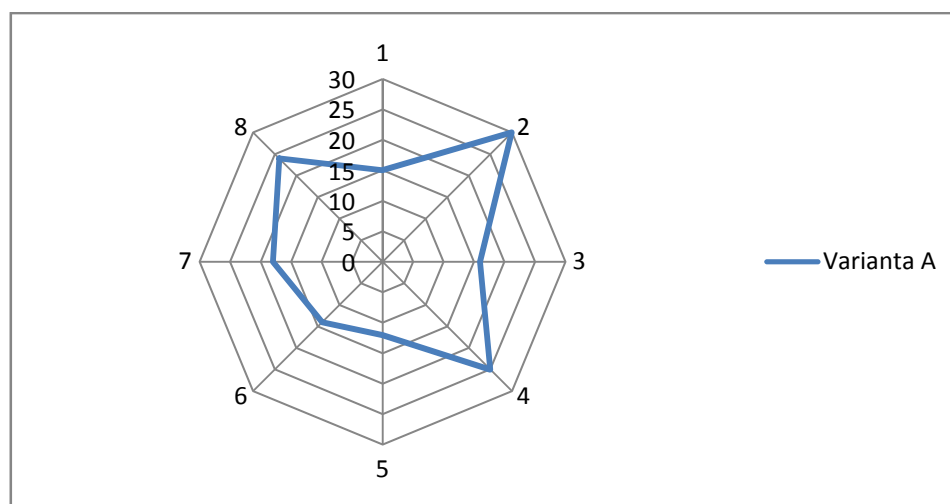
Váha jednotlivých kritérií je přidělena na základě jejich důležitosti pro tento projekt. Nejdůležitějšími kritérii jsou prostorová náročnost především z důvodu nedostatku prostor na hale a počet pracovníků, kde jsou příčinou náklady na personál. Naopak nejmenší váhu projekt přikládá vzdálenosti od hlavního toku materiálu z důvodu další přepravy hotových výrobků za pomoci vysokozdvizných vozíků, kde je časová ztráta na přepravu při dostatečné zásobě minimální. Dostatečná zásoba hotových dílů je zajištěna velikostí manipulačního a skladovacího prostoru u vykládací a kontrolní zóny. Druhým kritériem s nejmenší váhou je vzdálenost míchárny laku od lakovací zóny. Jedná se sice o důležitý technický prvek, který zabezpečí kvalitu laku nanášeného na výrobek, ale při větší vzdálenosti se dá problém s lakem řešit např. použitím vyhřívaných hadic a kontrolou hustoty a teploty laku těsně před jejím nanesením.

5.3.1. Multikriteriální hodnocení varianty A

č.	Hodnotící kritéria	Váha	Hodnocení	Získané hodnocení
1	Délka dopravníku	3	5	15
2	Prostorová náročnost	5	6	30
3	Délka jeřábové dráhy	4	4	16
4	Počet pracovníků	5	5	25
5	Vzdálenost od hlavního toku materiálu	2	6	12
6	Vzdálenost míchárny laku od lakovací zóny	2	7	14
7	Prostor pro přehazování forem	3	6	18
8	Manipulační a skladovací prostor hotových výrobků	3	8	24
Celkové hodnocení				154

Tab. 5.5: Multikriteriální hodnocení varianty A.

Délka dopravníku byla ohodnocena známkou 5 z důvodu, že je střední mezi ostatními variantami. Prostorová náročnost je též ve středu, ale dostala bodů 6 z důvodu, že na manipulační prostor zbývá stále dost místa. Jeřábová dráha je u této varianty potřebná nejdelší, a tak je ohodnocena slaběji, než u ostatních variant. Ovšem dala by se nahradit dvěma manipulačními zařízeními umístěnými u každého lisu zvlášť. Počet pracovníků je u této varianty stejný jako u varianty B, dostávají tedy stejný počet bodů. Míchárna laku je umístěna u všech variant hned vedle lakovací zóny, a tak je všude ohodnocena na 7 bodů. Prostor pro přehazování a předehtívání forem je stanoven hned vedle lisu s dosahem jeřábu. Co se týká manipulačního a skladovacího prostoru, tak je dostatečný u všech variant, ale jisté rozdíly tam jsou. Při větším zbylém prostoru je možné skladovat více dílů a tím zamezit výpadkům výroby při poruše na lakovací lince. A proto je bodové hodnocení u jednotlivých variant jiné. Kompletní multikriteriální hodnocení je shrnuto v tabulce 5.5 a zobrazeno v paprskovém grafu 5.1.



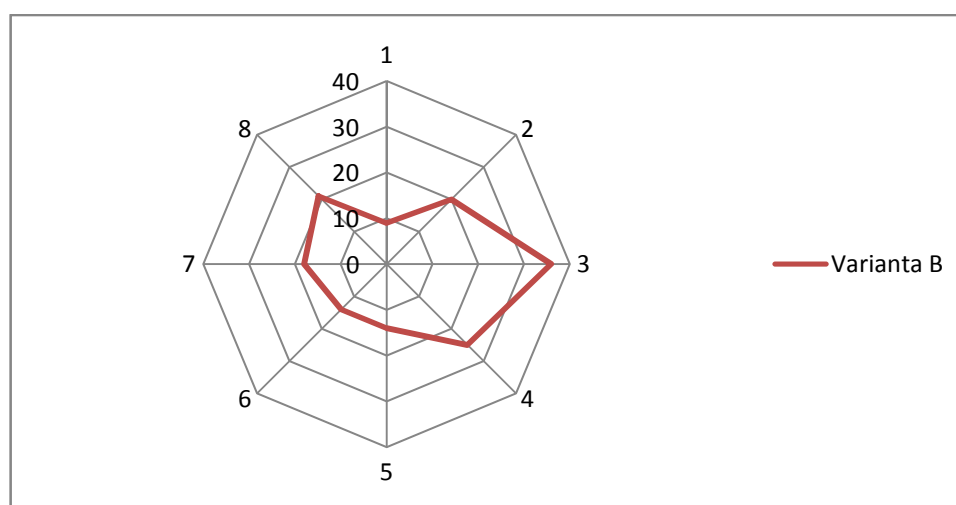
Graf 5.1: Paprskový graf multikriteriálního hodnocení varianty A.

5.3.2. Multikriteriální hodnocení varianty B

č.	Hodnotící kritéria	Váha	Hodnocení	Získané hodnocení
1	Délka dopravníku	3	3	9
2	Prostorová náročnost	5	4	20
3	Délka jeřábové dráhy	4	9	36
4	Počet pracovníků	5	5	25
5	Vzdálenost od hlavního toku materiálu	2	7	14
6	Vzdálenost míchárenny laku od lakovací zóny	2	7	14
7	Prostor pro přehazování forem	3	6	18
8	Manipulační a skladovací prostor hotových výrobků	3	7	21
Celkové hodnocení				157

Tab. 5.6: Multikriteriální hodnocení varianty B.

Tato varianta návrhu má nejdelší dopravník, což přináší vyšší náklady na provoz i údržbu, a proto je ohodnocena známkou 3. Zároveň se jedná i o nejvíce prostorově náročný návrh, a tak bodové ohodnocení tohoto kritéria je pouze 4 body. Potřebná jeřábová dráha je u této varianty nejkratší, a tak je ohodnocena největším bodovým hodnocením. Špatný je počet pracovníků, který je zde společně s variantou A vyšší, a tak se snížilo hodnocení tohoto kritéria na pouhých 5 bodů. Míchárna laku je umístěna u všech variant hned vedle lakovací zóny, a tak je všude ohodnocena na 7 bodů. Prostor pro přehazování a předehřívání forem je stanoven hned vedle lisu s dosahem jeřábu. Co se týká manipulačního a skladovacího prostoru, tak je dostatečný u všech variant, ale jisté rozdíly tam jsou. Konkrétně v tomto případě vychází manipulační a skladovací prostory nejmenší, a tak je zde nejnižší hodnocení oproti ostatním variantám. Kompletní multikriteriální hodnocení je shrnuto v tabulce 5.6 a zobrazeno v paprskovém grafu 5.2.



Graf 5.2: Paprskový graf multikriteriálního hodnocení varianty B.

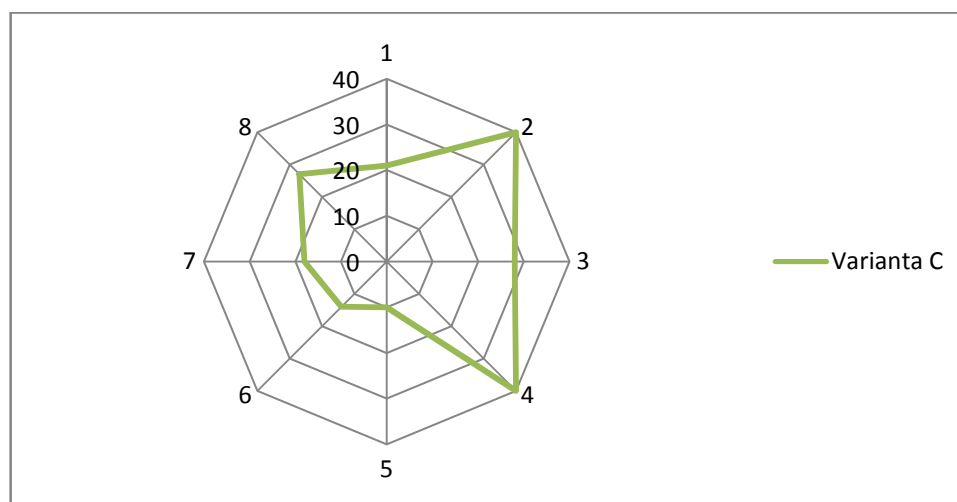
5.3.3. Multikriteriální hodnocení varianty C

č.	Hodnotící kritéria	Váha	Hodnocení	Získané hodnocení
1	Délka dopravníku	3	7	21
2	Prostorová náročnost	5	8	40
3	Délka jeřábové dráhy	4	7	28
4	Počet pracovníků	5	8	40
5	Vzdálenost od hlavního toku materiálu	2	5	10
6	Vzdálenost míchárný laku od lakovací zóny	2	7	14
7	Prostor pro přehazování forem	3	6	18
8	Manipulační a skladovací prostor hotových výrobků	3	9	27
Celkové hodnocení				198

Tab. 5.7: Multikriteriální hodnocení varianty C.

Přínosem zde je délka dopravníku, která je nejkratší, a tak je hodnocena vysokým číslem 7. Prostorová náročnost vychází nejlépe právě v této variantě, což přináší řadu dalších výhod pro větší manipulační a skladovací prostory přímo na lince. Díky poměrně blízkému umístění obou lisů a temperačních prostor pro výměnné formy není potřebná délka jeřábové dráhy taková jako v případě varianty A, ovšem oproti variantě B je delší, a tak je hodnocena na 7 bodů. Počet pracovníků je u této varianty nejnižší, a proto zde dostává vysoké bodové ohodnocení 8 bodů. Míchárna laku je umístěna u všech variant hned vedle lakovací zóny a tak je všude ohodnocena na 7 bodů. Prostor pro přehazování a předešívání forem je stanoven hned vedle lisu s dosahem jeřábu. Manipulační a skladovací prostor, je největší právě v tomto případě, a proto dostává největší

ohodnocení číslem 9. Kompletní multikriteriální hodnocení je shrnuto v tabulce 5.7 a zobrazeno v paprskovém grafu 5.3.



Graf 5.3: Paprskový graf multikriteriálního hodnocení varianty C.

5.3.4. Srovnání jednotlivých variant

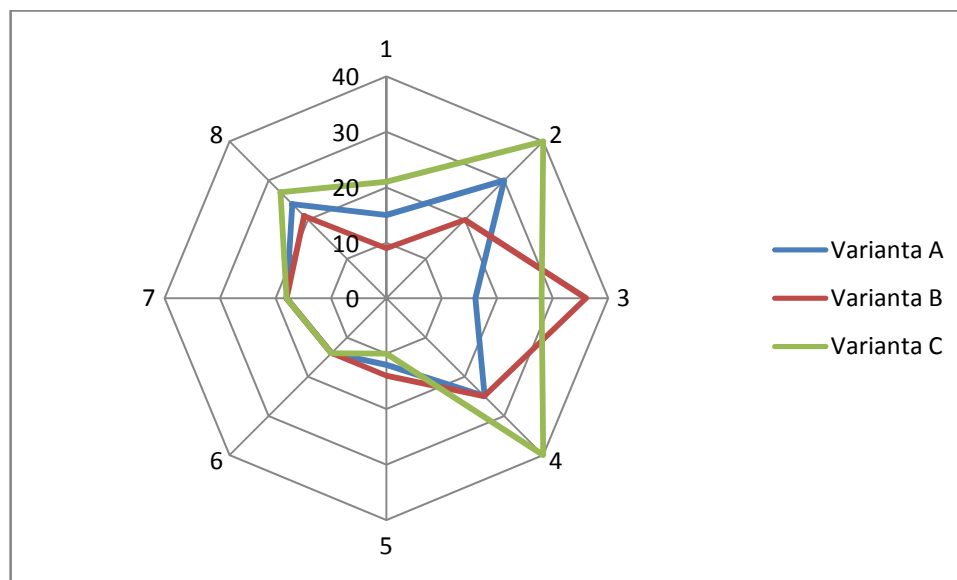
Pro porovnání všech variant slouží tabulka 5.8 a paprskový graf 5.4, kde jsou zahrnuty výsledky samostatných hodnocení.

č.	Hodnotící kritéria	Hodnocení varianty A	Hodnocení varianty B	Hodnocení varianty C
1	Délka dopravníku	15	9	21
2	Prostorová náročnost	30	20	40
3	Délka jeřábové dráhy	16	36	28
4	Počet pracovníků	25	25	40
5	Vzdálenost od hlavního toku materiálu	12	14	10
6	Vzdálenost míchárny laku od lakovací zóny	14	14	14
7	Prostor pro přehazování forem	18	18	18
8	Manipulační a skladovací prostor hotových výrobků	24	21	27
Celkové hodnocení		154	157	198

Tab. 5.8: Celkové multikriteriální hodnocení.

Výsledky zobrazené v tabulce i v paprskovém grafu slouží pro rozhodnutí, která z variant bude nejvhodnější pro realizaci. Nejvyšší bodové ohodnocení v tomto případě znamená nejlepší výsledek, kterého v tomto multikriteriálním hodnocení dosáhla varianta C. Tato varianta nejvíce bodovala v prostorové

náročnosti a počtu pracovníku, což jsou dvě nejdůležitější položky z hodnotících kritérií.



Graf 5.4: Paprskový graf multikriteriálního hodnocení všech variant.

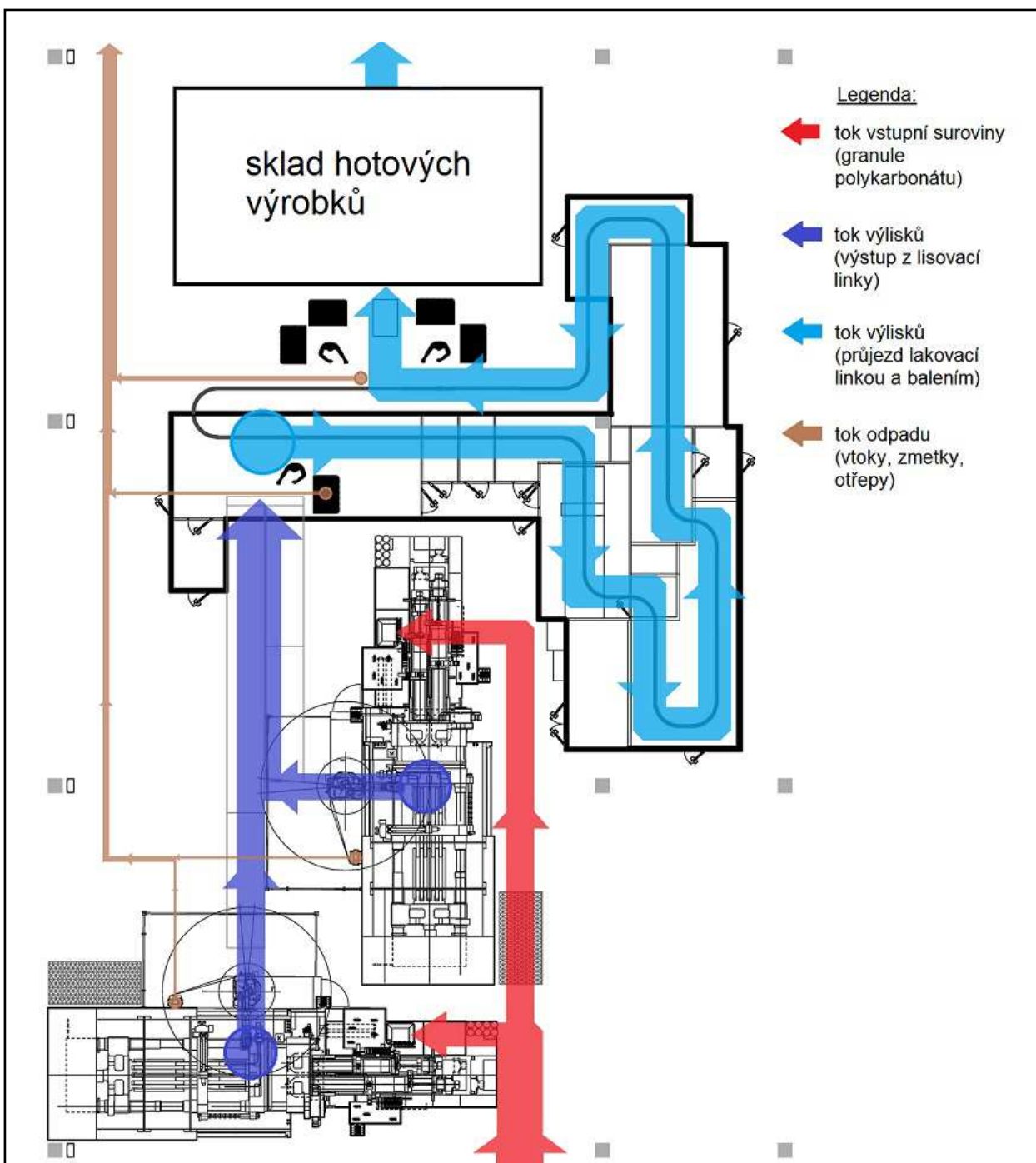
6. DETAILNÍ GRAFICKÉ NÁVRHY ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ

6.1. Detailní návrh rozmístění strojů

Oproti návrhům pro zvolení nejlepší varianty je detailní návrh rozšířen o kóty pro přesné rozmístění strojů a pracovišť. Dále je na návrhu vyznačena jeřábová dráha a její dostupnost, která je důležitá pro výměnu forem v lisu. Jsou zde i doplněny vchodové dveře a průchody mezi jednotlivými zónami. Výkres detailního návrhu je přiložen k tomuto projektu jako příloha 1.

6.2. Sankeyův diagram

Pro lepší představu o toku materiálu linkou je vytvořen Sankeyův diagram, který je zobrazen na obrázku č. 6.1. Je v něm vyobrazen vstupní materiál, kterým je polykarbonát ve formě granulí (červená barva). Po průchodu vstřikovacím lisem se mění na výstřik procházející temperačními pecemi (tmavě modrá barva). Poté polykarbonátové sklo projíždí lakovací linkou a po zabalení je umístěno ve skladu hotových výrobků (světle modrá barva). V obrázku je též vidět tok odpadového materiálu (hnědá barva).



Obr. 6.1: Zobrazení toku materiálu pomocí Sankeyova diagramu.

7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VYBRANÉ VARIANTY

7.1. Ekonomické nároky na výstavbu

7.1.1. Investiční náklady

Jedná se o náklady spojené s pořízením celé výrobní linky. Údaje o pořizovacích cenách strojů jsou katalogové a cena lakovací linky je dle předběžné nabídky dodavatele. Cena strojů i lakovací linky zahrnuje dopravu, montáž přímo na místě a zprovoznění. Jejich připojení na stávající rozvody společnost Automotive Lighting zajišťuje sama. Všechny započtené ceny je možné vidět v tabulce č. 7.1.

Zařízení	Počet [ks]	Náklady na stroj [EUR]	Jednotlivé náklady [EUR]
Vstříkovací lis	2	900 000	1 800 000
Manipulační zařízení (robot)	2	70 000	140 000
Temperační pec	2	10 000	20 000
Lakovací linka	1	1 700 000	1 700 000
Elektroinstalace			16 000
Rozvody kapalin			14 000
Vzduchotechnika			21 000

Tab. 7.1: Investiční náklady.

Jednotlivé ceny položek investičních nákladů jsou uvedeny v EUR, pro přepočítání na Kč je použit kurz 25 Kč/EUR. Aktuální kurz při realizaci linky může ovlivnit velikost investičních nákladů.

$$N_i = \sum N_{ji} \cdot 25 \text{ [Kč]} \quad (7.1)$$

$$N_i = (1\,800\,000 + 140\,000 + 20\,000 + 1\,700\,000 + 16\,000 + 14\,000 + 21\,000) \cdot 25$$

$$N_i = 92\,775\,000 \text{ Kč}$$

Investiční náklady na realizaci celého projektu jsou 92 775 000 Kč.

7.2. Provozní a energetické náklady

7.2.1. Odpisy

Pro realizaci projektu se počítá s maximální dobou ekonomické životnosti linky 5 let a to hned z několika důvodů. Linka je jednoúčelová pro výrobu dvoukomponentních polykarbonátových skel a bez dalších investičních nákladů ji není možno využít k jiné výrobě. Na životnost má vliv i fakt, že světla automobilů slouží dnes i jako designový prvek a design je jednou z nejdynamičtějších oblastí automobilového průmyslu.

Roční odpis se vypočítá jako podíl celkových investičních nákladů a počtu let ekonomické životnosti.

$$N_{ODP} = N_i / 5 \quad [\text{Kč/rok}] \quad (7.2)$$

$$N_{ODP} = 18\,551\,000 \text{ Kč/rok}$$

7.2.2. Náklady na zaměstnance

Zaměstnanci jsou na lince umístěni celkem na dvou pracovištích a to v nakládací a vykládací zóně. U zvolené varianty je celkem zapotřebí čtyř pracovníků.

Pro výpočet nákladů na zaměstnance je použita průměrná hrubá mzda, která je dále navýšena o zdravotní a sociální pojištění. Ve firmě Automotive Lighting se počítá pro tuto linku s výrobním modelem 20 S. Jedná se o čtyřsměnný model.

$$N_z = n_{\text{prac}} \cdot s \cdot M \cdot n_{\text{més.}} \quad [\text{Kč/rok}] \quad (7.3)$$

$$N_z = 4 \cdot 4 \cdot (25100 \cdot 1,34) \cdot 12$$

$$N_z = 6\,457\,728 \text{ Kč/rok}$$

7.2.3. Náklady na elektrickou energii

Spotřeba elektrické energie je u výrobní linky důležitým faktorem. Cenu spotřebované elektřiny má společnost Automotive Lighting nasmlouvanou dopředu a v průběhu let se mění. Průměrně se pohybuje kolem 3,20 Kč/kW. Pro výpočet

nákladů v tomto projektu je průměrná cena navýšena o 5%, aby se započítala možnost růstu ceny elektřiny. Spotřeba lakovací linky byla spočítána energetikem podniku na 280 kWh.

$$N_E = P_E \cdot 1,05 \cdot W \cdot s_{\text{týd.}} \cdot n_{\text{týd.}} \cdot h \quad [\text{Kč/rok}] \quad (7.4)$$

$$N_E = 3,2 \cdot 1,05 \cdot 280 \cdot 20 \cdot 49 \cdot 7,5$$

$$N_E = 6\,914\,880 \text{ Kč/rok}$$

7.2.4. Náklady na materiál

Do těchto nákladů jsou započítány jak náklady na granulát polykarbonátu, tak i náklady spojené s lakovacím procesem (lak, rozpouštědlo). Cena používaného materiálu je 2,10 EUR/kg, na české koruny bude přepočtena kurzem 25 Kč/EUR. Na každý výlisek je v průměru použito 600 g materiálu. Pro lakování skla je spotřebován lak o váze 7,2 g, který je předem míchán s isopropanolem v poměru 1:1. Lak je dodáván v sudech o váze 180 kg za 97 000 Kč a ředidlo v sudech o váze 150 kg za 23 000 Kč. Cena naneseného laku je stanovena 3 Kč/ks.

$$N_M = (0,6 \cdot P_M \cdot 25 + P_L) \cdot Q \quad [\text{Kč/rok}] \quad (7.5)$$

$$N_M = (0,6 \cdot 2,1 \cdot 25 + 3) \cdot 2\,500\,000$$

$$N_M = 86\,250\,000 \text{ Kč/rok}$$

7.2.5. Náklady na využitý prostor

Do těchto nákladů se započítává obvyklá nájemní cena výrobních prostor na Jihlavsku a to z důvodu, že při realizaci tohoto projektu musí být přesunuta jiná část výroby do nájemních prostor. Plocha potřebná pro lakovací linku je 36,5m x 24,5m. Obvyklá nájemní cena takovýchto prostor v Jihlavě je 600 Kč/m² za rok.

$$N_p = S \cdot P_n \quad [\text{Kč/rok}] \quad (7.6)$$

$$N_p = 36,5 \cdot 24,5 \cdot 600$$

$$N_p = 536\,550 \text{ Kč/rok}$$

7.2.6. Náklady na údržbu

Náklady na údržbu nové lakovací linky není možné přesně vyčíslit, ovšem lze usuzovat ze zkušeností s údržbou starších linek HC1 a HC2. Jsou tedy stanoveny jejich průměrem z předchozích let a to na částku 3 300 000 Kč/rok.

$$N_U = 3\,300\,000 \text{ Kč/rok}$$

7.3. Tržby z produkce

Hodnota jednoho výlisku je 2,3 EUR. Při dodržení plánované výroby bude dosažena produkce 2 500 000 ks. Výsledek je přepočten na Kč dle kurzu 25 Kč/EUR.

$$T = Q \cdot P_v \cdot 25 \text{ [Kč]} \quad (7.7)$$

$$T = 2\,500\,000 \cdot 2,3 \cdot 25$$

$$T = 143\,750\,000 \text{ Kč}$$

Celkové tržby při dosažení plánované produkce činí 143 750 000 Kč.

7.4. Zhodnocení investice

7.4.1. Čistá současná hodnota investice

Investiční projekt lakovací linky je spojen s jednorázovým výdajem 92 755 000 Kč. Během pětileté doby životnosti se očekávají v jednotlivých letech čisté příjmy z investice ve výši 40 290 842 Kč. Diskontní sazba je zvolena na úrovni 10 %. Celý výpočet je uveden v tabulce 7.2.

$$\check{C}SH = \sum_{i=1}^n \frac{CF}{(1+DS)^i} \quad (7.8)$$

	Rok 0	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investiční náklady	-92 755 000					
Tržby		143 750 000	143 750 000	143 750 000	143 750 000	143 750 000
Náklady na zaměstnance		-6 457 728	-6 457 728	-6 457 728	-6 457 728	-6 457 728
Náklady na energie		-6 914 880	-6 914 880	-6 914 880	-6 914 880	-6 914 880
Náklady na materiál		-86 250 000	-86 250 000	-86 250 000	-86 250 000	-86 250 000
Náklady na prostor		-536 550	-536 550	-536 550	-536 550	-536 550
Náklady na údržbu		-3 300 000	-3 300 000	-3 300 000	-3 300 000	-3 300 000
CF	-92 755 000	40 290 842	40 290 842	40 290 842	40 290 842	40 290 842
Diskontní sazba		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Diskontní faktor	1	1,1	1,21	1,331	1,4641	1,61051
Diskontované CF	-92 755 000	36 628 038	33 298 217	30 271 106	27 519 187	25 017 443
Čistá současná hodnota	ČSH = \sum diskontované CF					59 978 991 Kč

Tab. 7.2: Čistá současná hodnota.

7.4.2. Návratnost

Jako další kritérium hodnocení investice byla zvolena doba návratnosti investice, která určuje, za kolik let se vrátí počáteční investiční náklady. Při výpočtu doby návratnosti se vychází z předpokladu, že linka bude využita na 100 % požadované kapacity. Do výpočtu je zařazena diskontní sazba 10 %. Výpočet vychází z tabulky 7.2. Jedná se o součet diskontovaného CF, až do doby, kdy jeho hodnota dosáhne nuly.

Doba návratnosti investice při plném využití kapacity bude dosažena v průběhu třetího roku. Na základě výsledku lze doporučit přijetí investice a to především z důvodu, že doba návratnosti je nižší než doba ekonomické životnosti linky.

7.4.3. Bod zvratu

Pro zjištění bodu zvratu jsou jednotlivé položky nákladů rozděleny na náklady fixní (tabulka 7.3) a variabilní (tabulka 7.4). Jednotlivé náklady jsou sečteny. U variabilních nákladů se počítá s náklady na jeden kus. Dále je zjišťován okamžik, kdy celkové tržby kryjí celkové náklady výroby.

Fixní náklady:	Odpisy	18 551 000 Kč
	Náklady na využitý prostor	536 550 Kč
	Náklady na údržbu	3 300 000 Kč
	Náklady na zaměstnance	6 457 728 Kč
Součet fixních nákladů		28 845 278 Kč

Tab. 7.3: Fixní náklady

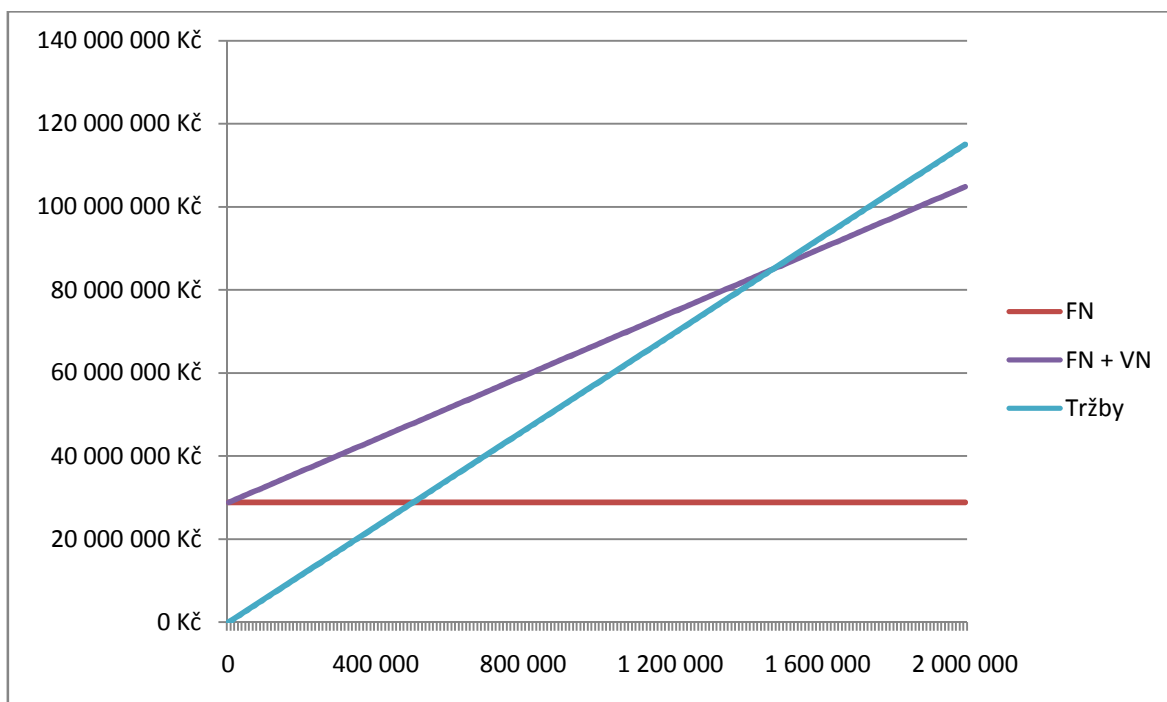
Variabilní náklady:	Náklady na materiál	35 Kč
	Náklady na elektrickou energii	3 Kč
Součet variabilních nákladů		38 Kč

Tab. 7.4: Variabilní náklady.

$$Q_{BZ} = \frac{FN}{P - VN} \quad [ks] \quad (7.9)$$

$$Q_{BZ} = \frac{28\,845\,278}{57,5 - 38}$$

$$Q_{BZ} = 1\,479\,245 \text{ ks}$$



Obr. 7.1: Grafické zobrazení bodu zvratu.

Výsledek výpočtu ukazuje, že každý rok se musí vyrobit minimálně 1 479 245 ks výrobků, aby nebyla výroba ztrátová. Grafické určení bodu zvratu je zobrazeno na obrázku 7.1, kde na ose x je zaznamenán počet vyrobených kusů a na ose y jsou náklady a tržby v Kč.

8. ZÁVĚR

Návrh nové lakovací linky určené pro výrobu polykarbonátových skel technologií dvoukomponentního vstřikování vychází přímo z požadavků firmy Automotive Lighting s.r.o. v Jihlavě. K tomuto účelu jsou vypracovány 3 možné varianty řešení, které se vzájemně liší uspořádáním pracovišť.

Na základě srovnání navržených variant dle multikriteriálního hodnocení doporučuji firmě Automotive Lighting investovat do varianty „C“. Tato varianta se potýká s vyšší konstrukční náročností z hlediska nutnosti přestavby temperačních pecí s dopravníkem z důvodu jejich těsnějšího umístění a nutnosti přemístění rozvaděčů. Na druhou stranu tato varianta vyniká mnoha přednostmi při srovnání se zbylými dvěma řešeními. Výhodou této varianty je především využití přidělené plochy. Díky navrženému uspořádání zde zbývá dostatek prostoru pro manipulaci s přípravky a materiálem používanými při výrobě. Tato varianta je tedy prostorově nejméně náročná a nabízí se i možnost využití volných prostor k uskladnění hotových výrobků. Dalším nesporným přínosem je počet pracovníků nutných pro obsluhu takto navržené linky. Ostatní varianty kalkulují s nezbytným počtem pěti pracovníků, zatímco zvolená varianta počítá se čtyřmi pracovníky, což zvyšuje ekonomický přínos této varianty především z hlediska úspory v oblasti mzdových nákladů. Určitou výhodou je i délka dopravníku, která je u varianty „C“ nejkratší. Se zkracující se délkou dopravníku dochází ke snížení pravděpodobnosti vzniku poruch. Každá porucha vyžaduje vynaložení dodatečných nákladů spojených s opravami a údržbou. Využití kratšího dopravníku tedy snižuje rizika spojená s poruchami.

Vítězná varianta „C“ se stala předmětem ekonomického hodnocení, jehož výsledky jsou nezbytným zdrojem informací v rozhodovacím procesu, jehož cílem je stanovit, zda je pro firmu výhodné investici přijmout. Na základě analýzy bodu zvratu je minimální roční produkce stanovena na 1 479 245 ks, což odpovídá využití kapacity linky na 59 %. Toto využití je reálné a dosažitelné. Navržená linka přináší návratnost celé investice do tří let od zavedení výroby v případě plného využití kapacity a čistá současná hodnota investice za pětileté období dosahuje hodnoty 59 978 991 Kč. Vzhledem k vyhovující době návratnosti investice a

kladné čisté současné hodnotě doporučuji společnosti Automotive Lighting investici realizovat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů – Technologické projekty I.* 3. vydání. Brno: VUT v Brně, 1999. 197s. ISBN 80-214-1472-3`
- [2] J. KINCL, M. ŠRÁMEK, A. PÁNEK *Makromolekulární látky – Polykarbonáty*, Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 160s. Typové číslo L16a-B2-IV-41/6586-VII. Vydání 1.
- [3] KREBS, J. *Teorie zpracování nekovových materiálů* 3. vydání, TU v Liberci, 2006. 250s. ISBN 80-7372-133-3
- [4] SOVA, M. KREBS, J., a kolektiv autorů. *Termoplasty v praxi*. Praha: Dashöfer Holding, Ltd. & Verlag Dashöfer, nakladatelství, s. r. o., 2001.
- [5] ROTREKL, B. a kolektiv *Povrchové úpravy*. Praha: nakladatelství technické literatury, 1971. 252s. Typové číslo L16-B2-IV/41/61695/V. Vydání 1.
- [6] NEUHÄUSL, E. *Vstřikování plastických hmot*. Praha: nakladatelství technické literatury, 1973. 208s. Typové číslo L16d-B1-IV-41/61728/V. Vydání 1.
- [7] TULKA, J. *Povrchové úpravy materiálů*. 1. vydání, Brno: VUT v Brně, 2005. 136s. ISBN 80-214-3062-1
- [8] MUZIKÁŘ, Z. a kolektiv *Materiály 2 pro UO Truhlář*, Nakladatel: Informatorium, 2008. ISBN 978-80-7333-061-3
- [9] ČUJAN, Z., MÁLEK, Z. *Výrobní a obchodní logistika*, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. ISBN 978-80-7318-730-9
- [10] HLAVENKA, B. *Manipulace s materiálem*. 4. vydání, VUT v Brně, 2000. 164s. ISBN 80-214-1698-X
- [11] JUROVÁ, M. *Obchodní logistika*, VUT v Brně, 2009. 175s. ISBN 978-80-214-3852-1
- [12] RUMÍŠEK, P. *Technologické projekty*. 1.vyd. Brno: VUT v Brně, 1991. 185s. ISBN 80-214-0385-3
- [13] VANĚČEK, D., BEDNÁŘOVÁ, D., ŠTÍPEK, V. *Organizace výroby a práce*, 1.vyd. JČU v Českých Budějovicích, 2001. ISBN 80-7040-480-9
- [14] RUMÍŠEK, P. *Technologické projekty a manipulace s materiálem* [online]. 2013 [cit. 2013-03-07]. Dostupné na WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologicke_projekty_a_manipulace__rumisek.pdf>

- [15] NOVÁK, J. a kolektiv, *Organizace a řízení* [online]. 2013 [cit. 2013-03-15]. Dostupné na WWW: <<http://projekty.fs.vsb.cz/414/organizace-a-rizeni.pdf>>
- [16] MÁLEK, Z. *Prostorové uspořádání pracovišť* [online prezentace]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati. [cit. 2013-03-16]. Dostupné na WWW: <http://web.flkr.utb.cz/cs/docs/VOL_pr_6.pdf>
- [17] ŠAJDLEROVÁ, I. *Organizace a řízení výroby* [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné na WWW: <http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Organizace_a_rizeni_vyroby.pdf>
- [18] JANČÁŘ, J.: *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Vysoké učení technické v Brně, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [19] LENFELD, P. *Katedra tváření kovů a plastů -skripta*, [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné na WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm>
- [20] LONSKÝ, J. *Statická elektřina a povrchové úpravy plastů* [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/staticka-elektrina-a-povrchove-upravy-plastu.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
HC1	[-]	Linka na jednokomponentní vstřikování
HC2	[-]	Linka na jednokomponentní vstřikování
HC3	[-]	Linka na dvoukomponentní vstřikování
IO	[-]	Dobře vyrobený dílec
NIO	[-]	Špatně vyrobený dílec
Takt	[s]	Vypočítaný takt linky
ČSH	[Kč]	Čistá současná hodnota
CF	[Kč]	Cash flow
DS	[%]	Diskontní sazba

Symbol	Jednotka	Popis
A	[-]	Teoretický počet lisovacích strojů
F_e	[hod]	Časový efektivní fond
h	[hod]	Délka jedné směny
M	[Kč]	Mzda jednomu zaměstnanci
$n_{m\acute{e}s.}$	[-]	Počet měsíců
n_{prac}	[-]	Počet pracovníků na směně
$n_{stroj\acute{u}}$	[ks]	Počet použitých strojů
$n_{t\acute{y}d}$	[-]	Počet pracovních týdnů za rok
$n_{v\acute{y}robn\acute{u}}$	[ks]	Počet najednou vyrobených výstřiků
N_Z	[Kč/rok]	Náklady na personál
P_i	[MPa]	Tlak v dutině lisovací formy
P_k	[Nh]	Pracnost výroby
p_k	[hod]	Pracnost výroby jednoho kusu
Q	[ks]	Počet vyráběných kusů
s	[-]	Počet směn
$S_{t\acute{y}d.}$	[-]	Počet směn za týden

t_{cyklu}	[s]	Čas cyklu stroje
t_z	[%]	Ztráty na údržbu a opravy strojů
N_i	[Kč]	Investiční náklady
N_{ji}	[EUR]	Jednotlivé investiční náklady
T	[Kč]	Tržby
P_v	[Kč]	Cena výrobku
N_E	[Kč/rok]	Náklady na el. energie
P_E	[Kč/kW]	Cena el. energie
W	[kWh]	Spotřeba el. energie lakovací linky
N_M	[Kč/rok]	Náklady na materiál
P_M	[Kč/kg]	Cena polykarbonátu
P_L	[Kč/ks]	Cena laku
N_{ODP}	[Kč/rok]	Odpisy

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Dispozice výsledné varianty

