

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace prostorového uspořádání pracoviště

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David ELIŠÁK**
Osobní číslo: **E16N0004P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Optimalizace prostorového uspořádání pracoviště**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište metody a nástroje pro optimalizaci výrobního pracoviště
2. Analyzujte a popište současný stav v elektrotechnické firmě
3. Stanovte kritické body a navrhněte opatření pro jejich zlepšení
4. Zhodnoťte očekávaný přínos navržených opatření

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran


Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

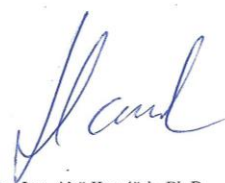
1. HIROYUKI, H.: 5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště. Brno: SC&C Partner, 2009. ISBN 978-80-904099-1-0
2. MASAACKI, I.: Gemba Kaizen-Řízení a zlepšování kvality na pracovišti. Praha: Computer Press, 2005. ISBN 80-251-0850-3
3. KOŠTURIÁK, J., FROLÍK, Z.: Štíhlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, 2006. ISBN 80-86851-38-9
4. KEŘKOVSKÝ, M., MAŠÍN, I.: Moderní přístupy k řízení výroby: programy a metody pro eliminaci plýtvání. Praha: C.H. Beck, 2009. ISBN 978-80-7400-119-2
5. Internetové zdroje

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 10. října 2017
Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2018


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na optimalizaci prostorového uspořádání pracoviště. Cílem práce je analyzovat vybrané pracoviště a na základě zjištěných kritických bodů navrhnout opatření pro jejich zlepšení. V teoretické části práce je popsána obecná problematika výroby, typologie prostorových uspořádání pracovišť a metody pro jejich tvorbu a optimalizaci. V praktické části práce je zpočátku představen podnik BRUSH SEM s.r.o., následně je popsán současný stav vybraného pracoviště, pro který jsou stanoveny kritické body. Poslední část práce je věnována podrobnému popisu návrhů pro optimalizaci prostorového uspořádání pracovišť včetně uvedení použitých metod, postupů a zhodnocení přínosů navržených zlepšení.

Klíčová slova

optimalizace, prostorové uspořádání, pracoviště, štihlá výroba, plýtvání

Abstract

This diploma thesis is focused on optimization of facility layout. Its objective is analysis of chosen workplace and proposing measures for their improvement based on detected critical locations. General manufacturing problematics, types of facility layouts and methods for their optimization are described in the theoretical part. Company BRUSH SEM s.r.o. is initially introduced in the practical part. In the next part is described current state of the chosen workplace in which are determined specific critical locations. Last part of thesis is dedicated to detailed description of suggestions for workplace layout optimization. Used methods, approaches and final evaluation of suggested optimizations are also included.

Key words

optimization, layout design, workplace layout, lean manufacturing, waste

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 21.5.2018

David Elišák

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Řeřichovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, vstřícnost a odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval manažerovi Zdeňkovi Benešovi ze společnosti BRUSH SEM s.r.o. za příležitost ke zpracování praktické části této práce, poskytnuté informace a předané zkušenosti.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 VÝROBA PŘI PROSTOROVÉ OPTIMALIZACI PRACOVIŠTĚ	12
1.1 VÝROBA.....	12
1.1.1 <i>Efektivnost výroby</i>	12
1.1.2 <i>Řízení výroby</i>	13
1.1.3 <i>Regulovanost výroby</i>	13
1.2 TOK HODNOT.....	14
1.3 MANIPULACE S MATERIÁLEM.....	15
1.3.1 <i>Náklady na manipulaci s materiálem</i>	15
1.3.2 <i>Zásady manipulace s materiálem</i>	16
1.4 STRUKTURA VÝROBNÍHO PROCESU.....	18
1.4.1 <i>Míra plynulosti výrobního procesu</i>	18
1.4.2 <i>Množství a počet druhů výrobků</i>	18
1.4.3 <i>Struktura výrobního procesu z hlediska řízení</i>	19
2 PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ PRACOVIŠTĚ	21
2.1 ZÁSADY TVORBY PROSTOROVÉHO USPOŘÁDÁNÍ	21
2.2 TECHNOLOGICKÉ USPOŘÁDÁNÍ	22
2.3 PŘEDMĚTNÉ USPOŘÁDÁNÍ	23
2.4 USPOŘÁDÁNÍ S PEVNOU POZICÍ VÝROBKŮ	26
2.5 KOMBINOVANÉ USPOŘÁDÁNÍ	27
2.6 BUŇKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ.....	28
2.7 ROZHODOVÁNÍ O USPOŘÁDÁNÍ PRACOVIŠTĚ	30
2.8 FÁZE PLÁNOVÁNÍ USPOŘÁDÁNÍ PRACOVIŠTĚ.....	32
3 METODY OPTIMALIZACE PROSTOROVÉHO USPOŘÁDÁNÍ	33
3.1 METODA ŠACHOVNICOVÉ TABULKY	33
3.2 TROJÚHELNÍKOVÁ METODA.....	33
3.3 KRUHOVÁ METODA	34
3.4 METODA TĚŽIŠTĚ	34
3.5 METODA SOUŘADNIC	35
3.6 SANKEYŮV DIAGRAM	36
3.7 METODA CRAFT	37
3.8 METODA ALDEP	37
3.9 METODA SLP	37
3.10 PŘÍZPŮSOBENÍ NAVRŽENÉHO USPOŘÁDÁNÍ	40
3.11 DALŠÍ METODY	40
4 CHARAKTERISTIKA SPOLEČNOSTI	42
4.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI.....	42
4.2 CHARAKTERISTIKA ČINNOSTÍ A VÝROBY	43

4.3	VÝROBNÍ PROCES ELEKTRICKÝCH GENERÁTORŮ.....	43
5	CHARAKTERISTIKA VYBRANÉHO PROCESU A PRACOVIŠŤ.....	45
5.1	ORGANIZACE PRÁCE.....	45
5.2	ANALÝZA PROCESU.....	46
5.2.1	Vstupy.....	46
5.2.2	Průběh procesu.....	46
5.2.3	Výstupy.....	49
5.3	STANOVENÍ KRITICKÝCH MÍST.....	49
6	OPTIMALIZACE KRITICKÝCH MÍST.....	51
6.1	POUŽITÉ METODY.....	52
6.2	OPTIMALIZACE METODAMI ŠTÍHLÉ VÝROBY.....	52
6.3	1. FÁZE OPTIMALIZACE.....	57
6.4	2. FÁZE OPTIMALIZACE.....	63
7	ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ NAVRŽENÝCH ZLEPŠENÍ.....	66
	ZÁVĚR.....	68
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	70
	PŘÍLOHY.....	1

Úvod

Optimalizace prostorového uspořádání pracoviště se zabývá organizací výrobních zdrojů jako jsou lidé, materiál, vybavení či energie a jejich efektivním využíváním. V optimalizaci prostorového uspořádání lze organizovat celé komplexy budov, jednotlivá pracoviště a zařízení, ale také systémy, kterými je manipulováno s materiálem. Aspekt prostorového uspořádání ovlivňuje velkou mírou výslednou produktivitu celé společnosti. Návrh na zlepšení či vytvoření nového prostorového uspořádání bývá jedním z nejnáročnějších, ale také nejvíce užitečných projektů. Hlavním cílem optimalizace je odstranění plýtvání z procesů, které se vyskytuje hned v několika podobách a ve všech odvětvích od výroby, logistiky, vývoje až po administrativu. Eliminace plýtvání se projeví především zkrácením doby trvání jednotlivých procesů, lepším uspokojením potřeb zákazníka, vyšší pružností výroby a rychlým tokem peněz.

Tato práce se zabývá optimalizací prostorového uspořádání pracovišť ve společnosti BRUSH SEM s.r.o. Cílem práce je analyzovat vybrané pracoviště a na základě zjištěných kritických bodů navrhnout opatření pro jejich zlepšení. Tyto optimalizace mají za úkol snížit či zcela eliminovat plýtvání, ke kterému na pracovišti dochází, a zvýšit tak celkovou efektivitu při výrobě.

V teoretické části předložené práce jsou nejprve popsány obecné poznatky z oblasti výroby. Definovány jsou zde i zásady tvorby uspořádání pracovišť, jejich základní členění, rozhodování o jejich volbě a fáze při plánování. Následuje představení a popis nejčastěji používaných metod pro optimalizaci prostorového uspořádání. V praktické části práce je zpočátku charakterizována společnost BRUSH SEM s.r.o., její základní vlastnosti, činnosti a výroba. Dále je analyzován současný stav aktivit a rozložení uspořádání pracovišť. Pozorováním a měřením jsou stanoveny kritické body, pro které jsou navrženy vhodná opatření se zhodnocením jejich přínosů.

Seznam symbolů a zkratk

CICMHE	College Industry Council on Material Handling Education
G_i	Váhový objem přepravovaného materiálu
L_i	Vzdálenost mezi odesílatelem a příjemcem
X_h, Y_h	Hledané souřadnice hlavního objektu
q_i	Hodnota vztahu mezi hlavním a ostatními objekty
CRAFT	Computer Relative Allocation of Facilities Technique
c_{ij}	Náklad na manipulaci mezi pracovišti i a j na jednu jednotkovou vzdálenost
l_{ij}	Vzdálenost mezi pracovišti i a j v jednotkách, pro které je stanoven náklad na manipulaci
ALDEP	Automated Layout Design Program
SLP	Systematic Layout Planning

1 Výroba při prostorové optimalizaci pracoviště

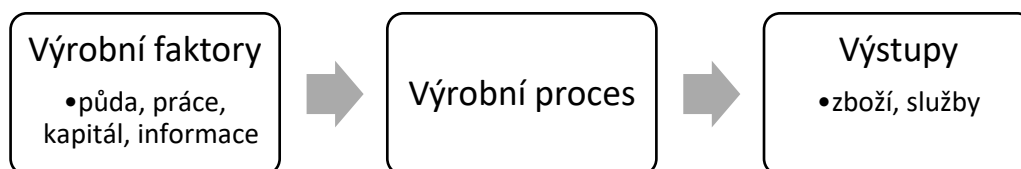
Před tím, než bude rozebrána samotná problematika prostorového uspořádání pracoviště, je potřeba uvést několik pojmů, které se budou vyskytovat v dalších částech této práce, a také čeho se týká snaha o optimalizaci pracoviště a co je motivací ke zlepšování. Výrobní proces je hlavním faktorem zájmu, který určuje, jak efektivně podnik zachází se statky. A právě vhodné prostorové uspořádání pracoviště je jednou z nejdůležitějších proměnných ve výrobním procesu, které vedou podnik k co nejvyšší efektivitě.

1.1 Výroba

Výroba je definována jako transformace výrobních faktorů do ekonomických statků a služeb, které následně procházejí spotřebou. Ekonomickými statky jsou označovány fyzické komodity, které přispívají k uspokojování potřeb. Služby jsou někdy označovány jako nehmotné statky a jsou to úkony, pro které existuje poptávka. Tato práce se bude týkat především hmotných statků, avšak většina informací je aplikovatelná i na služby. [1]

Zdroje, které se používají v procesu výroby, se nazývají výrobní faktory. Ty se rozlišují na čtyři hlavní skupiny: [1]

- Přírodní zdroje
- Práce
- Kapitál
- Informace



Obr.1.1 Schéma procesu výroby (vlastní zpracování, dle [1])

1.1.1 Efektivnost výroby

Ideálním stavem je využívat všechny zdroje (materiál, informace, zákazníci, zařízení, personál) efektivně. Toto se ale netýká jen zdrojů neboli výrobních faktorů, ale i celého výrobního procesu a všech výstupů. Efektivnost je určena mírou zamezení plýtvání se všemi

proměnnými v celém procesu výroby. Tržní ekonomika a především konkurence si žádá, aby výrobci využívali výrobních faktorů co nejefektivněji, a tím docílili vysoké konkurenční schopnosti. Firmy se tedy snaží vyrábět určitý počet statků s co nejmenším množstvím výrobních faktorů. V praxi se k hodnocení efektivity používá ukazatel produktivity, který je vyjádřen jako podíl výstupů ku spotřebovaným výrobním faktorům. Čím vyšší je hodnota tohoto ukazatele produktivity, tím vyšší je výnosnost spotřebovaných výrobních faktorů. Dosazením hodnot dle skupiny výrobních faktorů, které se spotřebovávají, lze takto určit produktivitu práce, kapitálu, informací atd. [1]

1.1.2 Řízení výroby

Pro dosažení co nejlepšího fungování výrobních systémů je použito řízení výroby. V pojmu výrobní systém je zahrnuto vše, co se týká celého procesu výroby: zařízení, suroviny, pracovníci, energie, informace atd. Hlavním výrobním systémem, kterého se týká tato práce, jsou výrobní prostory. Řízení výroby má tedy za úkol optimalizovat všechny výrobní systémy, aby dohromady fungovaly co nejefektivněji. [1]

1.1.3 Regulovanost výroby

Regulovanost výroby se ve výrobním podniku rozděluje na:

- Tlačenou (push) výrobu
- Taženou (pull) výrobu

Při tlačené výrobě proces produkuje tolik jednotek, kolik je schopný posílat do dalšího procesu bez ohledu na to, zda následující proces tyto jednotky potřebuje nebo ne. V takovémto případě putuje mnoho jednotek do skladu a následně zpět na montážní linku. Na finální montážní lince se taktéž kompletuje co nejvyšší počet jednotek bez ohledu na poptávku trhu, a tím pádem jsou hotové výrobky opět uskladněny a jedná se tak o neregulovanou výrobu. Tímto vzniká tzv. muda neboli plýtvání v podobě dopravy a zásob. [1] [3]

Naopak plánovací a řídicí princip tažené výroby, který je doménou štíhlé výroby, znamená, že vyrobené jednotky se neprotlačují výrobním procesem, ale procházejí procesem dle požadavků následující operace. Tak je každá operace a každý pracovník zodpovědný za zajišťování požadavků následujícího kroku. Tímto se nadcházející operace nebo stupeň

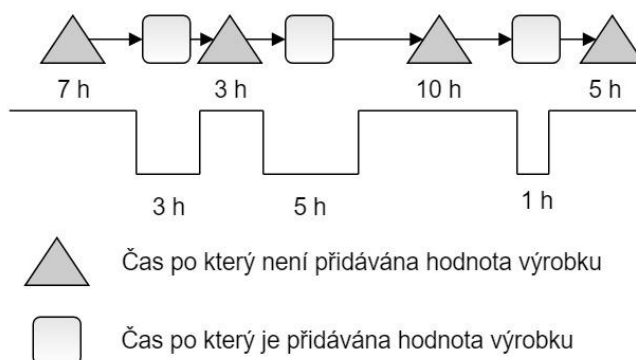
výroby stává zákazníkem toho předešlého a je potřeba uspokojit jeho požadavky. Jedná se tedy o regulovanou výrobu. Hlavní předností taženého systému výroby je snížení plýtvání v podobě nadbytečných zásob a dopravy, a z toho plynoucí zkrácení průběžných dob výroby. [1] [3]

V regulované výrobě (tažené) je ideálním stavem, aby vyráběný kus procházel jednotlivými fázemi celým výrobním procesem v tom pořadí, v jakém na sebe jednotlivé fáze optimálně navazují. Některé výrobní stroje není možné přesunout, buďto z důvodu jejich rozměrů, váhy, anebo protože se využívají k více různým účelům. I přes to by tyto stroje měly být co nejvíce začleněny do celého výrobního procesu. [1] [3] [14]

1.2 Tok hodnot

Tok hodnot mapuje všechny procesy, které probíhají při výrobě produktu od začátku až po hotový výrobek. Každá výroba se skládá z procesů zvyšujících hodnotu a z těch, které hodnotu nepřidávají. Management toku hodnot má za úkol analyzovat plýtvání v procesech při samotné výrobě, logistice, vývoji výrobku, administrativě až po výslednou expedici. [3] [5] [15]

Management toku hodnot nabízí zobrazení současného toku hodnot v grafu (viz Obr. 1.2), jehož výsledkem je poměr časů, kdy se přidává a nepřidává hodnota výrobku. Tento poměr udává míru plýtvání a odhaluje možnosti k celkovému zlepšení při výrobě. Při správném vytvoření mapy toku hodnot je tedy vidět, kolik času je materiál uskladněn, kde se hromadí, míra rozpracovanosti výrobků a celková efektivita využívání zdrojů. [3] [5] [15]



Obr.1.2 Tok hodnot (vlastní zpracování)

Pro vylepšení současného stavu se budou změny procesů pro nový a efektivnější tok hodnot při výrobě týkat zejména těchto parametrů:

- Přímý tok materiálů skrz montážní linku.
- Minimalizování manipulace s výrobkem během výroby a zkrácení vzdáleností.
- Minimalizace ploch meziskladů.
- Sklady ideálně v místě spotřeby s co nejjednodušší možností kontroly počtu dílů.
- Odstranění vícenásobných manipulací.
- Zavedení či vylepšení tahového systému. [3] [5]

1.3 Manipulace s materiálem

Manipulace s materiálem zahrnuje základní operace spojené s pohybem sypkých, balených či jednotlivých produktů v polotuhém nebo tuhém stavu, a to buď manuálně nebo za použití přístrojů pro manipulaci. Jedná se tedy o fyzické přemísťování materiálu, do kterého je však např. zahrnuto i skladování, balení, vážení, měření nebo třídění. Manipulace materiálu zpravidla nepřidává žádnou hodnotu produktu, avšak značně zvyšuje celkové náklady výrobku. Z toho plyne, že manipulace by měla být omezena na minimum a být co nejefektivnější. Špatná manipulace s materiálem může lehce zavinit zpoždění, které se projeví jako plýtvání v podobě velice nízkého a neefektivního využití výrobních faktorů. [6] [7]

Manipulace s materiálem je velice blízce spojena s optimalizací prostorového uspořádání v podniku, jelikož se jedná o jednu z hlavních částí, kterou se optimalizace prostorového uspořádání zabývá. Metody pro optimalizaci manipulace s materiálem ovlivňují rozložení pracovišť a stejně tak je tomu i obráceně. Jen správně optimalizované prostorové uspořádání minimalizuje plýtvání vlivem neefektivní manipulace s materiálem.

1.3.1 Náklady na manipulaci s materiálem

Náklady vynaložené pro manipulaci s materiálem jsou často velkou položkou v celkové sumě nákladů podniku. Některé náklady pro manipulaci s materiálem jsou jasné, viditelné a jednoduše vyčíslitelné, ale některé nemusí být na první pohled vidět, nebo se mohou obtížně počítat. [4] [6]

Náklady na manipulaci s materiálem můžeme rozdělit na variabilní a fixní. Do nákladů variabilních jsou zahrnuty např. mzdy, náklady za energie, pohonné hmoty, nákup materiálu atd. Za náklady fixní považujeme např. servis strojů, pronájmy prostorů, odpisy atd. [6]

Hlavní položky pro kalkulaci nákladů se nejčastěji rozdělují na:

- Mzdové náklady: základní a případně bonusové mzdy pro pracovníky, kterých se manipulace s materiálem týká. Do bonusových mezd mohou být zahrnuty i např. příspěvky na jídlo, dojíždění, důchodové pojištění atd.
- Náklady na pohonné hmoty: druh pohonných hmot závisí na typu používaných přístrojů a vozidel. Nejčastěji se vyskytují konkrétně náklady na elektřinu a pohonné hmoty z fosilních paliv.
- Náklady na opravy a servis: náklady spojené s údržbou či opravou zařízení a nemovitostí.
- Náklady na odpisy: týkají se nejčastěji staveb, budov, zařízení a přístrojů.
- Ostatní náklady: náklady spojené nejčastěji s administrativou či energiemi pro teplo, světlo a provoz.
- Ztrátové náklady: týkající se výroby vadných součástí či jiných ztrát při výrobě. [6]

1.3.2 Zásady manipulace s materiálem

College Industry Council on Material Handling Education (CICMHE) patřící pod Material Handling Institute, Inc. navrhl následujících 10 principů pro manipulaci s materiálem. Tento institut, s hlavním sídlem v Severní Karolíně, USA, se zabývá manipulací s materiálem, logistikou a dodavatelským řetězcem. Misí této instituce je zvýšení povědomí, pochopení a rozvoje v této oblasti.

- 1) Princip plánování. Jakákoliv manipulace s materiálem by měla být výsledkem rozvážného plánování, kde jsou předem jasně definovány potřeby, výkonnostní ukazatele a funkční specifikace navrhovaných metod. Takovýto plán má být předem konzultovaný se všemi osobami, které jsou zainteresované. Odráží se od hlavních cílů společnosti, a především současně podporuje technologii výrobku a návrh s uspořádáním procesu.

- 2) Princip standardizace. Metody manipulace s materiálem, přístroje, ovládání a software je zapotřebí standardizovat, aby bylo možné dosáhnout co nejvyšší výkonnosti bez ztráty flexibility a vyhovění budoucím požadavkům. Toho lze docílit vybíráním takových metod a prostorových uspořádání, ve kterých je možné provádět různé úkony za různých provozních podmínek.
- 3) Princip redukce práce. Manipulace s materiálem by měla být minimalizována, aniž by byla narušena míra produktivity. Toho je dosaženo zjednodušením procesů formou sloučení podprocesů, zkrácení nebo úplné vynechání zbytečného pohybu. Nejčastější chybou je plýtvání při manipulaci v podobě nadbytečného zvedání, pokládání či skladování produktu. Správně navržené prostorové uspořádání maximálně využívá gravitace k posouvání nebo napomáhání s manipulací výrobku. Přesun materiálu většinou nepřidává produktu žádnou hodnotu, takže manipulace s materiálem by měla být minimální, avšak často není možné ji zcela eliminovat.
- 4) Princip ergonomie. Při návrhu a optimalizaci prostorového uspořádání a manipulace s materiálem je zapotřebí respektovat lidské schopnosti, fyziologii a anatomii, a zároveň docílit co nejvyšší bezpečnosti. Vybavení a přístroje je zapotřebí vybírat tak, aby byly např. eliminovány často se opakující a namáhavé manuální činnosti. Produktivita každého zaměstnance se bude snižovat, pokud je nucen v rámci jeho zadané práce cestovat dlouhé vzdálenosti k získání potřebných materiálů, nástrojů atd. Dobré prostorové uspořádání tedy poskytuje minimální vzdálenosti, které jsou nutné k získání potřebných výrobních faktorů.
- 5) Princip velikosti nákladu. Velikost nákladu skládajícího se z materiálů, polotovarů, či hotových výrobků musí být správně dimenzována s ohledem na prostorové uspořádání. Jen takto je možné dosáhnout efektivního toku výrobních faktorů v podniku.
- 6) Princip systému. Všechny činnosti týkající se pohybu a skladování materiálu (příjem, kontrola, výroba, montáž balení atd.) musejí být plně integrovány. Jen tak je možné vytvořit koordinovaný a fungující systém. Ten by měl zahrnovat všechny skupiny, které se účastní dodavatelského řetězce: dodavatelé, výrobu, distribuci a zákazníky.
- 7) Princip automatizace. Všechny operace s materiálem by měly být automatizovány či mechanizovány tak, aby došlo ke zlepšení provozní účinnosti, předvídatelnosti a následné zvýšení schopnosti reakce na požadavky.

- 8) Princip životního prostředí. Při návrhu systému pro manipulaci s materiálem je v každém moderním podniku žádoucí, aby jedním z kritérií byl minimální dopad na životní prostředí a co nejmenší možná spotřeba energie.
- 9) Princip nákladů celého životního cyklu. Pro veškeré nové zařízení a nově navržený systém je potřeba provést důkladnou ekonomickou analýzu, která bude mapovat celý životní cyklus těchto výrobních faktorů, jenž počíná investicí kapitálu, přes montáž a aplikaci, školení zaměstnanců, údržbu až po vyřazení z provozu.
- 10) Princip využití prostoru. Aby byl prostor efektivně využit, je potřeba brát v potaz všechny tři jeho dimenze. Detailněji je tento princip probrán v kapitole 2.1. [7]

1.4 Struktura výrobního procesu

Uspořádání a struktura výrobního procesu je závislá na vlastnostech výrobku, trhu, objemu výroby, charakteru poptávky, použitých technologií a dalších faktorech. Při optimalizaci výrobního pracoviště je potřeba znát všechny tyto faktory. Výrobní procesy jsou nejčastěji rozlišeny dle míry plynulosti výrobního procesu, množství a variety výrobků. [1]

1.4.1 Míra plynulosti výrobního procesu

Plynulost výrobního procesu se rozlišuje na plynulou a přerušovanou výrobu. Plynulá výroba nebo také nepřetržitá výroba probíhá dle svého názvu nepřetržitě. To znamená 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, a to po celý rok. Jediné přerušení je jen kvůli nutným opravám výrobního zařízení. Příkladem pro plynulou výrobu je např. zpracování ropy. [1]

Přerušovaná výroba je charakterizována tím, že je přerušována po určitých operacích výrobního procesu a pokračuje se jindy. Pokračovat se může následně na jiném pracovišti, ale i na stejném a to např. jen pět dní v týdnu, nebo v určitém časovém rozmezí během dne. Strojírenství je charakteristickým odvětvím, kde se používá přerušovaná výroba. [1]

1.4.2 Množství a počet druhů výrobků

Výroba se dle množství výrobků rozděluje na kusovou, sériovou nebo hromadnou. Hlavním rozdílem mezi jednotlivými typy je velikost zpracovávaných množství výrobků. Dle toho se následně uzpůsobuje uspořádání či využívání strojního vybavení, míra

specializace pracovníků atd. Při hromadné a sériové výrobě se nejvíce používají automatizované stroje, pro které není potřeba vysoká míra školení pracovníků, a výroba je členěná tak, aby každý proces navazoval co nejefektivněji na další a výroba je zejména uspořádaná do linek. Většina podniků nemá celý výrobní proces ve formě jen kusové, sériové, nebo hromadné výroby, ale většinou se využívá jejich kombinace. [1]

Kusová výroba se provádí nejčastěji v malých množstvích a za pomoci univerzálních strojů, což dovoluje vysokou rozmanitost druhů výrobků. Optimalizace pracoviště pro kusovou výrobu je tak náročnější, jelikož každý výrobek bude mít odlišné vlastnosti, rozměry, a především práce na výrobku bude často prováděna na různých strojích, místech či v odlišném pořadí. [1]

Sériová výroba je charakterizována tím, že se vyrobí jeden druh výrobku ve velkém množství a následně se přechází na výrobu jiného druhu výrobku opět ve velkém množství. K tomu bývá často zapotřebí částečná přestavba výrobního stroje či linky. Optimalizace pracoviště v tomto případě už bývá snazší, jelikož jednotlivé druhy výrobku mají často podobné vlastnosti a velice podobné kroky operací v celém výrobním procesu. [1]

V případě hromadné výroby se vyrábí jeden druh výrobku ve velkém množství a všechny operace se stále opakují dokola. Tato výroba je nejjednodušší pro optimalizaci, jelikož se celý výrobní proces stále opakuje a není zapotřebí brát v potaz faktor výroby jiných druhů výrobků či změna jednotlivých operací během výrobního procesu. [1]

1.4.3 Struktura výrobního procesu z hlediska řízení

Na procesy lze nahlížet z několika pohledů dle toho, co konkrétně je požadováno optimalizovat, řídit, nebo zkoumat. Hlavní struktury zájmů lze rozlišit na věcnou, časovou, nebo prostorovou. [1]

- ***Věcná struktura***

Zabývá se tím, jaký výrobek je podnik schopen vyrobit a portfoliem výrobků dané firmy na základě průzkumu trhu a požadavků zákazníků. Věcná struktura rozlišuje dva druhy přetváření vstupních surovin na technologické a netechnologické. Technologické jsou ty procesy, které přímo souvisí s prací na výrobku (obrábění, frézování atd.). Netechnologické

procesy se zabývají pomocnými operacemi jako např. doprava rozpracovaných výrobků či kontrola kvality. [1]

- **Časová struktura**

Týká se toho, aby výrobek byl dodán včas pomocí správného stanovení posloupnosti operací, velikostí výrobních dávek, doby trvání jednotlivých operací během procesu, využití výrobních kapacit, prostojů na pracovištích a také minimalizací nedokončených výrobků. [1]

- **Prostorová struktura a uspořádání výrobního procesu**

Prostorové uspořádání výrobního procesu se v angličtině nazývá layout. Zabývá se uspořádáním pracovních oddělení, center a vybavení s ohledem na pohyb práce během výroby celým systémem. Navrhování a rozhodování o prostorovém uspořádání pracoviště je důležité zejména ze tří důvodů:

- 1) Potřebují značnou část financí a úsilí.
- 2) Zahrnují dlouhodobé závazky a chybování by bylo obtížné napravit.
- 3) Mají veliký dopad na cenu a efektivnost celého procesu. [1] [2]

2 Prostorové uspořádání pracoviště

Jak je uvedeno v předešlé kapitole, tak prostorové uspořádání pracovišť je jednou ze struktur výrobního procesu, kterou je možné zkoumat nebo řídit. Návrh layoutu pracoviště se týká jak výstavby nových prostor, tak i rekonstrukce stávajících, a napomáhá k dosažení určitého standardu kvality nebo kvantity. Nejčastějším důvodem rekonstrukce stávajících prostorů je neefektivnost operací a plýtvání, bezpečnost práce, změna vyráběných produktů, uvedení nových produktů do výroby, změny v objemu výroby, změny metod nebo vybavení, ale také např. legislativní změny. [2]

Základní typy uspořádání pracovišť je možné rozdělit na předmětné, technologické a s pevnou pozicí výrobku. Existují ale také hybridní uspořádání, které využívají kombinací výše zmíněných, a nazývají se buňkové a kombinované

2.1 Zásady tvorby prostorového uspořádání

Při tvorbě nového prostorového uspořádání je potřeba se zabývat několika hlavními body bez ohledu na typ vyráběného produktu nebo množství, ve kterém se vyrábí. Prvním faktorem je integrace. Správně navržený layout je takový, který sjednocuje lidi, materiály, stroje, podpůrné a vedlejší služby tak, aby bylo dosaženo optimálního využití zdrojů a maximální účinnosti. Tu z velké části ovlivňuje vzdálenost pro přesouvání materiálů nebo pohyb lidí. Vybavení by mělo být uspořádáno tak, aby celková vzdálenost pohybu pracovníků a materiálů byla co nejmenší a ideálně v rovné linii, jelikož nejkratší cesta mezi dvěma body je přímka. Ve výrobním procesu dochází ke značnému plýtvání, pokud není využíván celý prostor. Prostorové uspořádání musí využívat jak horizontální, tak i vertikální část prostoru. Nestací, aby bylo optimálně využito pouze podlahové plochy, ale také třetí dimenze, tzn. že prostor má být efektivně využit i do výšky, avšak za předpokladu, že se materiály plynule posouvají dopředu směrem k dokončení fáze a nemělo by v průběhu procesu dojít k žádnému zastavení ani vracení zpět. Důležitým faktorem je také to, aby navržené uspořádání bylo maximálně flexibilní. Pracoviště by se mělo dát měnit bez nutnosti vynaložení vysokých nákladů nebo potřeby mnoha času. Při návrhu nového uspořádání je potřeba hledět na budoucí požadavky. Poslední a neméně důležitou částí při tvorbě či rekonstrukci prostorového uspořádání je bezpečnost, jistota a spokojenost zaměstnanců. Jen v takovémto prostředí, kde se pracovníci cítí bezpečně a jsou spokojeni, budou vykonávat

své činnosti efektivně. Současně layout musí být navržen tak, aby byla zajištěna ochrana zařízení a strojů proti požáru, krádeži atd. [2] [4]

2.2 Technologické uspořádání

V angličtině nazýván jako Nonrepetitive processing, Process Layout či Job-Shop. Technologické uspořádání pracoviště je vhodné zejména pro kusovou nebo sériovou výrobu. Všechny stroje provádějící podobný typ operace jsou vždy seskupeny na jednom místě tak, aby to vyhovovalo danému procesu, např. všechny soustruhy a frézy jsou seskupeny dohromady a tvoří jednu skupinu strojů. V případě více kusů strojů jednoho typu nebo jedné funkce mohou tak být uspořádány do oddělení pro frézování, vrtání, broušení atd. Uspořádání v technologickém layoutu seskupuje tedy všechny zařízení dle jejich funkce. [1] [2] [4]

Toto uspořádání se používá zejména pokud objem výroby není natolik velký, aby se vyplatil předemtný layout. Dále se tento layout používá také kvůli různorodosti vyráběných produktů a jejich nízkému objemu, který se vyrábí. Technologický layout se nemusí týkat jen výrobních podniků ale i subjektů poskytujících například služby. Typickým příkladem technologického layoutu jsou nemocnice, autoservisy nebo vysoké školy. [1] [2] [4]

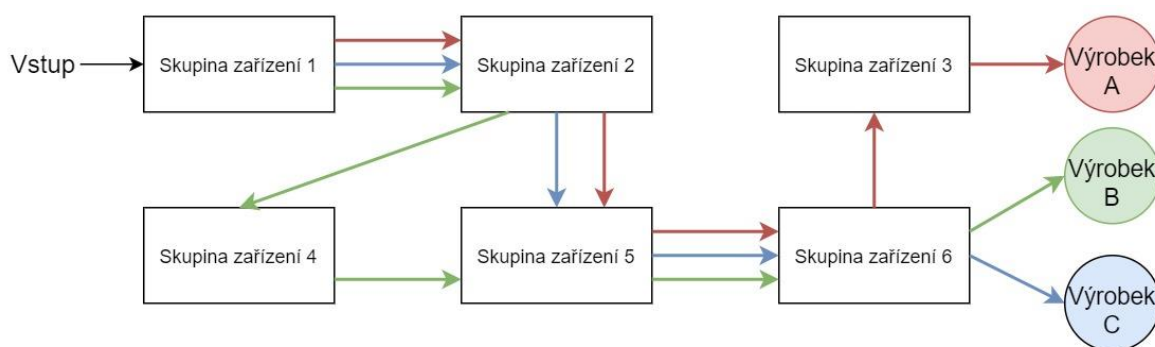
Jelikož všechna zařízení v technologickém layoutu jsou uspořádána podle jejich typu, a ne podle pořadí ve kterém se používají, tak technologické upořádání je méně náchylné k zastavení produkce způsobenému mechanickou poruchou nebo absencí obsluhy daného stroje. Ve většině podnicích, které využívají technologického uspořádání je k dispozici více zařízení, které dokáží provádět stejnou funkci. Navíc jelikož výrobky jsou vyráběny kusově nebo sériově, tak technologické uspořádání nabízí menší vzájemnou závislost mezi po sobě jdoucími operacemi, než je tomu u předemtného layoutu. Toto rozložení má ale i svá negativa. Tím největším je plánování tras jednotlivých výrobků. Je potřeba přizpůsobit trasy všech výrobků, aby nedocházelo ke kolizím či frontám při výrobě. Manipulace s materiálem je méně účinná a náklady na manipulaci s výrobky jsou obecně mnohem vyšší, než je tomu u předemtného uspořádání. [1] [2] [4]

Výhody:

- Je zapotřebí menší množství strojů či zařízení.
- Vysoká flexibilita výroby.
- Lepší možnost údržby zařízení.
- Široké portfolio produktů.

Nevýhody:

- Nutnost neustálého plánování výroby.
- Manipulace s výrobky a materiálem je složitější a častější, což zvyšuje náklady.
- Delší výrobní doba jednoho produktu.
- Vysoká variabilita výrobků vyžaduje vyšší míru dozoru. [1] [2] [4]



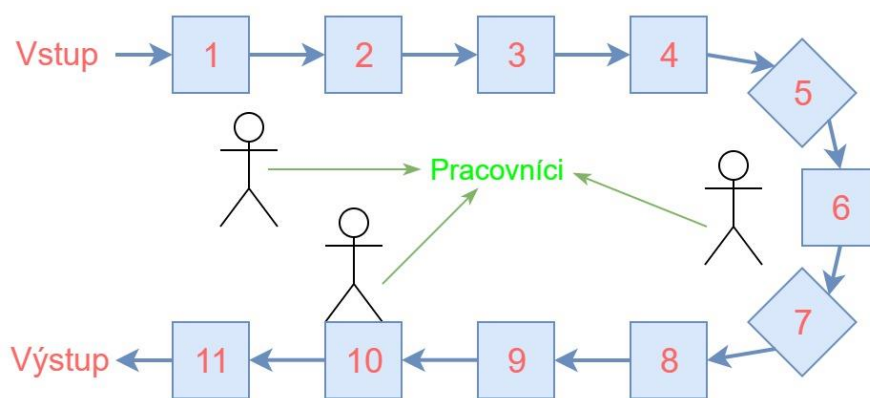
Obr.2.1 Technologické uspořádání (vlastní zpracování)

2.3 Předmětné uspořádání

V angličtině nazýván jako Repetitive processing, Product layout nebo Flow-shop. Předmětné uspořádání se používá zejména pro velký objem výroby, a tedy hromadnou výrobu. Předmětné uspořádání nabízí dosažení rychlého a hladkého toku produktů skrz celý systém, čehož je dosaženo vysokou standardizací a opakovatelností zpracovávání výrobků. V tomto layoutu jsou stroje nebo služby uspořádány podle pořadí opracovávání výrobku. Pracoviště jsou zde uspořádána tak, aby co nejvíce vyhovovala technologickému postupu a bylo dosaženo co nejmenší mezioperační přepravy a co nejvyšší plynulosti výroby. Při výrobě v předmětném layoutu prochází každý výrobek stejnou sekvencí operací, a proto se zde využívají zařízení pro manipulaci s položkami po pevně daných dráhách jako jsou např.

pásové dopravníky. Výsledné uspořádání tvoří tzv. výrobní linku nebo montážní linku dle typu činnosti. [1] [2] [4]

Důležitým faktorem je také tvar výrobní nebo montážní linky. Linka nemusí být vždy pouze rovná, kdy např. začíná na jedné straně haly a končí na druhé. Toto uskupení má své výhody i nevýhody. Hlavní nevýhodou dlouhé linky je nemožnost křížení pracovníků, materiálů a vozidel skrz tuto linku a ta vytváří blok v pracovním prostoru. Tento problém částečně řeší implementace uskupení linky do tvaru písmene U. Hlavní výhodou této formace je kompaktnost celé linky. Ta potřebuje přibližně polovinu délky standardní rovné výrobní linky. Dále poskytuje mnohem lepší komunikaci mezi pracovníky, což může zvyšovat efektivitu týmové práce. Nabízí také zvýšenou míru flexibility, jelikož pracovníci mohou zastupovat jak sousedící úkoly, tak i úkoly na opačné straně linky. V některých případech tento tvar výrobní linky může minimalizovat manipulaci s materiálem, jelikož materiál vstupuje i vystupuje z linky na stejném místě. Samozřejmě ale i klasický rovný tvar výrobní linky má své opodstatnění. Nejčastěji pokud jedna linka navazuje na další, nebo je např. potřeba oddělit část procesu z důvodu nadměrného hluku. [2]



Obr. 2.2 Uskupení linky do tvaru písmene U (vlastní zpracování)

Předmětné uspořádání dosahuje vysokého stupně využití pracovníků a vybavení, což kompenzuje vysoké náklady nutné k vytvoření tohoto layoutu. Jelikož výrobky se pohybují velice rychle skrz celý výrobní systém, tak je zde přirozeně limitováno plýtvání v podobě vysokého počtu rozpracovaných a nedokončených výrobků. Avšak tím, že každá operace úzce navazuje na následující, je zde vysoké riziko zastavení celé výroby vlivem poruchy pouze u jedné činnosti. Proto je potřeba vysoké úrovně údržby strojů v podobě pravidelné inspekce a výměny opotřebovaných částí strojů nebo částí, které jsou náchylné k poruše. I přes časté inspekce a kontroly přístrojů není možné zabránit poruchám, a proto je nutné

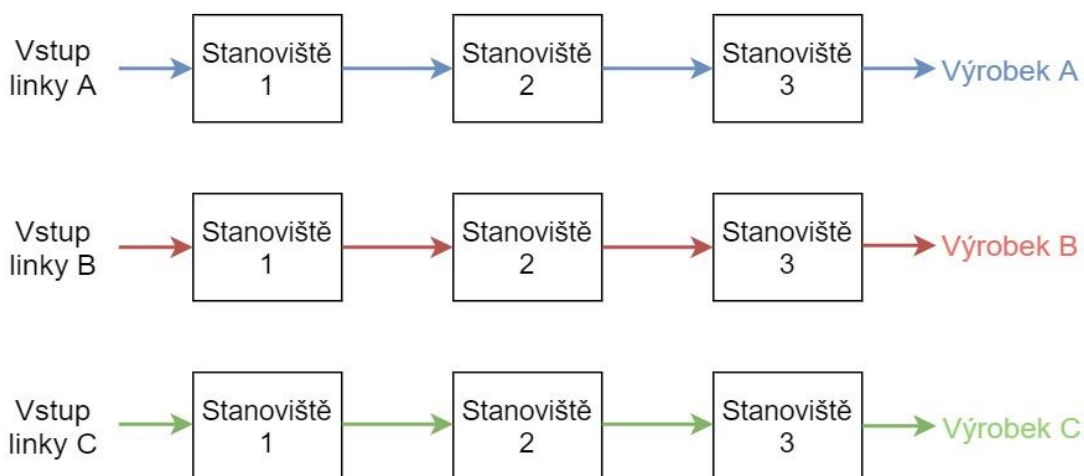
zabezpečit co nejrychlejší opravu v případě selhání přístroje. To obnáší mít stále dostupné náhradní součástky a vyškolený personál, který dokáže přístroje opravit v co nejkratším čase. Předmětné uspořádání lze využívat jak ve výrobním sektoru např. při montáži automobilů, tak i např. v restauracích. Typickým příkladem předmětného uspořádání jsou výrobní linky automobilů nebo fastfoodová restaurace McDonald's. [1] [2] [4]

Výhody

- Velice rychlá a plynulá výroba.
- Nízká cena jednoho výrobku, jelikož se vyrábí ve vysokém množství.
- Levnější a lehčí manipulace s materiálem a zjednodušené plánování výroby, protože je stále stejné a často automatizované.
- Vysoké využití pracovníků a přístrojů. [2] [4]

Nevýhody

- Stále opakující se styl práce, což vytváří bezpečnostní a morální problémy pro pracovníky.
- Neflexibilní systém výroby – úzké portfolio výrobků.
- Vysoká náchylnost k zastavení celé výroby vlivem chyby pouze u jedné operace – vysoká závislost jednotlivých operací na sobě.
- Nutnost stále dostupných náhradních dílů v případě poruchy. [2] [4]



Obr.2.3 Předmětné uspořádání (vlastní zpracování)

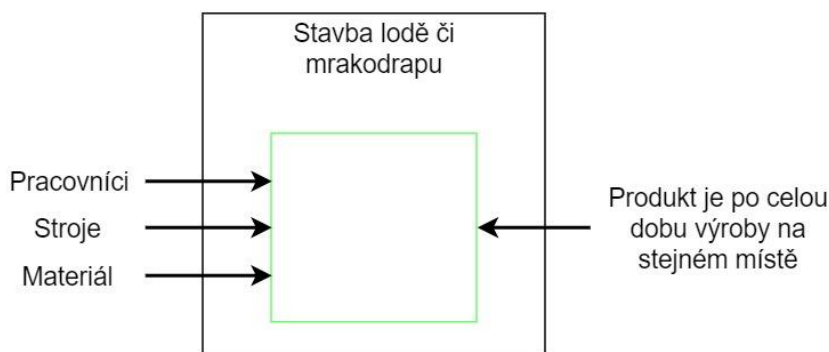
2.4 Uspořádání s pevnou pozicí výrobků

Z anglického Fixed position layout, nebo též nazýván Project type layout. Jak z názvu vyplývá, jedná se o uspořádání, kde pracovníci, materiál, stroje a vybavení jsou přesouvány do místa výroby daného produktu a ten nemění svou pozici. [1] [2] [4]

Toto uspořádání se používá zejména z důvodu obtížné a nákladné manipulace s výrobkem nebo s jednotlivými částmi výrobku, a to nejčastěji kvůli vysoké hmotnosti či rozměrům. Tento layout se typicky používá při vytváření velkých konstrukcí, jako jsou například stavby domů, elektráren, přehrad, nebo konstruování lodí či letadel. [2] [4]

Největší prostor z hlediska optimalizace tohoto uspořádání nabízí co nejefektivnější načasování dodání výrobních faktorů (pracovníci, materiál stroje atd.) do místa výroby tak, aby nedocházelo k jejich zbytečnému přesouvání či brždění následující procesů. Velkým problémem a také prostorem pro optimalizaci je nedostatek úložného místa pro materiál a stroje zejména v hustě zalidněných oblastech například při stavbě mrakodrapu. [2] [4]

Kvůli mnoha různorodým aktivitám a široké škále dovedností potřebných při práci na takovémto procesu se stává uspořádání s pevnou pozicí výrobků nejobtížnějším layoutem z pohledu organizace a koordinace. Běžné je použití nákladních automobilů, jeřábů a jiných strojů, které přímo nepřidávají hodnotu výslednému výrobku, ale jsou stěžejní pro jeho finalizaci kvůli manipulaci s výrobními faktory. [2] [4]

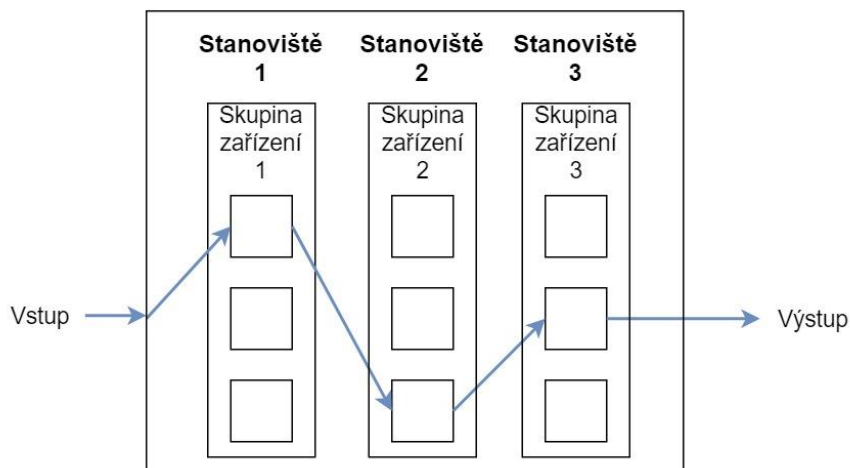


Obr. 2.4 Uspořádání s pevnou pozicí výrobku (vlastní zpracování)

2.5 Kombinované uspořádání

V angličtině nazýván jako Combination Layout je uspořádání, které spojuje všechny tři předešlé (technologické, předmětné a s pevnou pozicí výrobku). Využívá se zejména při výrobě produktu v různých velikostech či s možností přizpůsobení požadavkům zákazníka. Technologické uspořádání je vhodné pro výrobu produktů širokého portfolia, avšak na úkor efektivity produkce. Na druhé straně předmětné uspořádání je nejčastěji využíváno pro výrobu jednoho produktu ale s co nejvyšší efektivitou. Tím pádem technologické a předmětné uspořádání reprezentují dva velice odlišné přístupy k výrobě. V dnešní době, kdy by výroba měla být orientována z velké části na zákazníka, je žádoucí, aby bylo možné při výrobě vyhovět různým požadavkům zákazníků, a i přes to vyrábět s co nejvyšší efektivitou. Proto se dnes často využívá kombinovaného uspořádání, které nabízí výhody předešle uvedených uspořádání pracovišť. [2] [4] [5]

Kombinované uspořádání je realizováno tak, že všechny stroje provádějící podobný nebo stejný typ operace jsou vždy seskupeny na jednom místě. Následně jednotlivé skupiny strojů jsou uspořádány jako v předmětném uspořádání dle pořadí opracovávání daného výrobku. Tímto vyráběný produkt prochází vždy stejnou posloupností výroby, ale je zde možnost využívání jiných strojů stejného typu pro dosažení vyšší variability. [2] [4] [5]



Obr. 2.5 Kombinované uspořádání (vlastní zpracování)

2.6 Buňkové uspořádání

Překladem do angličtiny nazýván též jako Cell Layout, Cellular Layout nebo Group Layout. V buňkovém uspořádání jsou jednotlivá pracoviště nebo stroje seskupeny do tzv. buněk. Tyto buňky se vytvářejí dle prováděných operací na výrobcích, které jsou si podobné nebo mají stejné či podobné výrobní postupy, a tak jednotlivé buňky představují zmenšený model předmětného uspořádání. Obrazně je možné si představit buňky jako malé továrny v jedné velké továrně. Tyto buňky mohou být následně vybaveny i pásovými dopravníky pro přepravu výrobků od jednoho procesu k následujícímu. Všechny výrobky tak procházejí stejnou dráhou, avšak drobné modifikace, jako je např. vynechání některého z procesů, jsou možné. Seskupení do buněk vytváří hybridní uspořádání mezi předmětným a procesním. [2] [4] [5]

Nejdůležitější částí pro vznik buňkového uspořádání je analýza a porovnání vyráběných produktů, aby je následně bylo možné roztřídit a přizpůsobit jim jednotlivé buňky. Vznik buňkového uspořádání je možné tedy rozdělit do dvou hlavních částí. Tou první je určení a následné seskupení produktů dle jejich charakteristik, vlastností, funkcí a výrobních postupů. Tento krok je nejdůležitější a bude z velké části určovat výslednou efektivitu při výrobě. Druhým krokem je uspořádání pracovišť, strojů a vybavení do výsledných buněk tak, aby splňovali potřeby pro výrobu určených skupin produktů. [2] [4] [5]

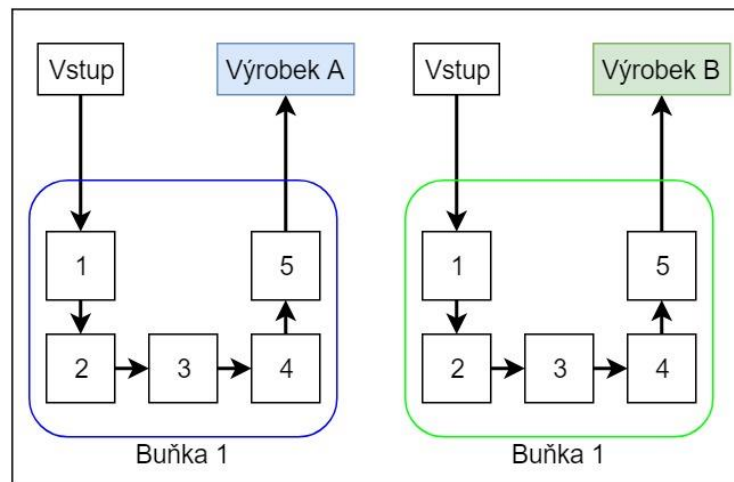
Hlavní předností buňkového uspořádání je výroba širšího portfolia výrobků, než je tomu u klasického předmětného uspořádání a souběžně za co nejmenšího plýtvání. Dominantami buňkového uspořádání je minimum rozpracovaných výrobků, minimální dráhy přesuvu výrobků při výrobě, snížení požadavků na prostor pro výrobu, zlepšení produktivity, kvality a především flexibility při výrobě. Toto uspořádání je vhodné zejména pro společnosti, které vyrábějí více druhů produktů v sériích, jelikož jim nabízí využití výrobních a ekonomických výhod předmětného uspořádání. [2] [4] [5]

Výhody

- Zvýšení využití zařízení.
- Velice dobře analyzované portfolio výrobků.
- Zvýšení pestrosti práce pro zaměstnance.
- Snížení papírování a rozpracovaných výrobků.
- Snížení celkových nákladů vlivem zmenšení plýtvání. [2] [4]

Nevýhody

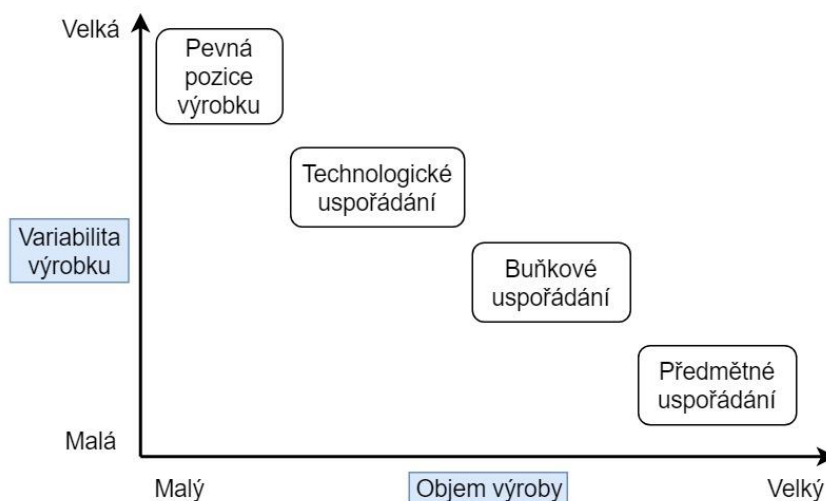
- Potřeba předefinování prací a školení zaměstnanců, aby byli schopni vykonávat ideálně všechny úkoly v dané buňce.
- Může být nákladné přeskupení výrobních faktorů.
- Toto uspořádání není vhodné pro výrobu velice odlišných produktů. [2] [4]



Obr. 2.6 Buňkové uspořádání (vlastní zpracování)

2.7 Rozhodování o uspořádání pracovišť

Při tvorbě uspořádání pracovišť ve výrobě je jedním z nejdůležitějších faktorů charakteristika výrobku z hlediska objemu výroby a možnosti jeho customizace například dle požadavků zákazníka. Na následujícím Obr. 2.7 je zobrazena vhodnost jednotlivých uspořádání v závislosti objemu výroby a možnosti customizace výrobku. [5] [7]



Obr. 2.7 Vhodnost uspořádání pracoviště v závislosti variability a objemu (vlastní zpracování, dle [1])

Poté, co je definován produkt (nebo materiál či služba) a jeho objem v jakém bude vyráběn, jakožto dva hlavní činitele, je potřeba se zaměřit na další faktory při hledání vhodného uspořádání. Těmi jsou posloupnost procesu, podpůrné procesy a čas. Posloupností procesu je myšleno, jak proces funguje, jak probíhá, z jakých operací je složen a jaké je použito vybavení. Pod pojmem podpůrné procesy se rozumějí všechny služby a funkce, které pomáhají nebo souvisejí s hlavní činností a které musí být poskytnuty, aby vše fungovalo správně a účinně. Posledním důležitým faktorem je čas, neboli jak rychle bude produkt vyroben, či kdy se bude dané pracoviště využívat s ohledem na počet směn provozu nebo roční období. Často se zde pracuje s ukazatelem nazývaným doba taktu nebo čas taktu. Jedná se o jeden ze základních ukazatelů štíhlé výroby, kde čas taktu udává tempo, jakým se musí vyrábět produkty, aby došlo ke splnění objednávky a naplnění potřeb zákazníka. Doba taktu se počítá jako podíl dostupného času pro výrobu a počet kusů, které požaduje zákazník. Doba taktu společně se způsobem zpracování určují, kolik je zapotřebí daného počtu kusů strojů pro výrobu, což následně vymezuje potřebný prostor, personální obsazení a vyvážení jednotlivých operací procesu. [7] [8] [14]

Všechny výše představené způsoby uspořádání pracovišť mají své dominantní výhody a nevýhody, které budou ovlivněny zejména způsoby jejich konkrétního používání v praxi. V následující tabulce jsou uvedeny nejdůležitější silné a slabé stránky různých možností prostorového uspořádání pracovišť.

	Uspořádání			
	Předmětné	Buňkové	Technologické	Pevna pozice
Silné stránky	Nízké náklady na vyobenu jednotku	Rychlá a plynulá výroba	Vysoká flexibilita výroby	Nízká manipulace s výrobkem
	Vysoká produktivita	Zvýšení pestrosti práce	Snadná údržba zařízení	Snadná kontrola výroby
Slabé stránky	Nízká odolnost proti poruchám	Může být nákladné zřízení	Složité plánování výroby	Specifické využití
	Nepružnost a nevariabilita výroby	Pouze pro podobné výrobky v porftoliu	Nižší produktivita a efektivita	Obtížné plánování výroby

Obr. 2.8 Silné a slabé stránky uspořádání pracovišť [5]

2.8 Fáze plánování uspořádání pracoviště

Vytváření optimálního rozvržení pracoviště je možné rozdělit do těchto čtyř fází:

- 1) Fáze 1 – Umístění. Výběrem místa je určeno, zda se bude jednat o optimalizaci stávajícího rozvržení nebo vytváření zcela nového. Plánované uspořádání se může nacházet např. na stejném místě, kde je stávající, nebo ve skladovacím prostoru, který může být uvolněn pro tento účel či v úplně nově postavené budově nebo jiném potencionálně dostupném prostoru.
- 2) Fáze 2 – Obecné rozvržení. V této fázi je stanoveno obecné uspořádání pracoviště (technologické, předmětné atd.), které je vhodné pro hlavní tok hodnot. To následně určuje požadovanou rozlohu, vztahy a konfigurace hlavních oblastí.
- 3) Fáze 3 – Detailní návrh uspořádání. Zde je detailně plánováno umístění každého stroje, kusu vybavení a všech ostatních výrobních faktorů potřebných pro efektivní průběh celého procesu.
- 4) Fáze 4 – Realizace. Tento krok zahrnuje schválení plánu či projektu a plánování výsledné realizace. [8]

Tyto čtyři kroky následují za sebou, ale pro dosažení nejlepších výsledků je dobré, aby na sebe navazovaly, a dokonce se jejich průběh překrýval, jelikož každá aktuálně řešená fáze musí vyhovovat parametrům fáze následující.

3 Metody optimalizace prostorového uspořádání

Zde představené metody napomáhají k sestavení co nejoptimálnějšího prostorového uspořádání, avšak vždy jsou spojeny s metodami empirickými a logickými, jelikož každá výroba má svá specifika, která se nedají zcela zobecnit. Často též není použito pouze jedné z metod, ale kombinací vícero.

3.1 Metoda šachovnicové tabulky

Tato metoda zřetelně mapuje materiálové toky mezi jednotlivými pracovišti, budovami či mezi podnikem a jeho zákazníky ve zkoumaném časovém období. Materiálový tok je zapisován v konkrétních jednotkách do tabulky, ve které jsou na řádcích definována místa, která odebírají výrobní faktory, a ve sloupcích jsou definována místa, která dodávají či odesílají. Logicky lze následně posoudit, která místa mají mezi sebou největší materiálové toky, a tudíž by měla být co nejbližší u sebe z důvodu minimalizace manipulace s výrobními faktory. [9]

3.2 Trojúhelníková metoda

Trojúhelníková metoda je také založena na principu minimalizace manipulace s výrobními faktory mezi jednotlivými pracovišti. Základem této metody je sestavení šachovnicové tabulky, do které je zapsán tok materiálů. Následně je využito trojúhelníkové sítě, do které jsou umístěna pracoviště s nejvyšším materiálovým tokem na vrcholy sousedních trojúhelníků, a dále jsou postupně přidávána ostatní pracoviště s ohledem na vazby už přidaných pracovišť. Takto vyplněnou trojúhelníkovou síť je nakonec potřeba upravit tak, aby uspořádání fyzicky vyhovovalo optimalizovanému prostoru. [9]

3.3 Kruhová metoda

Kruhová metoda je také založena na potřebě co nejkratšího toku materiálů. Hlavním měřítkem je minimální součet součinů přepravovaných hmotností materiálů a vzdáleností vyjádřen jako:

$$\sum_{i=1}^n G_i \cdot L_i = \min \quad (3.3.1)$$

Kde G_i Váhový objem přepravovaného materiálu
 L_i Vzdálenost mezi odesílatelem a příjemcem

Pokud je známá velikost buďto G_i nebo L_i , poté je celkový součin minimální, pokud druhý činitel je nulový. Nebo druhá situace, kde součin je menší, čím menší je druhý činitel ze součinu. Hlavním nástrojem je definice přepravních vztahů, podle které je možné určit, která místa mohou být od sebe dále nebo blíže. Přepravní vzdálenost je nepřímo úměrná hmotnosti přepravovaného materiálu. Každý přepravovaný materiál má svou vzdálenost mezi dvěma místy. V případě, že je definováno jedno místo s pevnou polohou, tak druhé místo leží na kružnici se středem v místě prvním a poloměrem o vypočítané vzdálenosti. Takto se postupuje od nejmenších kružnic, které značí nejkratší přepravní vzdálenosti, až po kružnice s největším průměrem, které značí nejmenší váhové objemy přepravovaných materiálů. [10]

3.4 Metoda těžiště

Jedná se o metodu vhodnou zejména pro technologické uspořádání pracoviště. Základem této metody je tabulka, ve které jsou zmapovány počty jednotlivých operací a použítá zařízení či nástroje, na kterých jsou tyto operace prováděny. Do tabulky je následně vyplněn počet kusů či čas za sledované období v závislosti na druhu operace a použitým přístroji. Hodnoty hlavního vztahu jsou považovány za vertikálně orientované síly a počet sloupců představuje ramena těchto sil. Z tohoto je pro každé zařízení vypočítán moment pro obsazené sloupce a za optimální rozmístění je považováno takové, při kterém jsou hodnoty momentů nejmenší. [10]

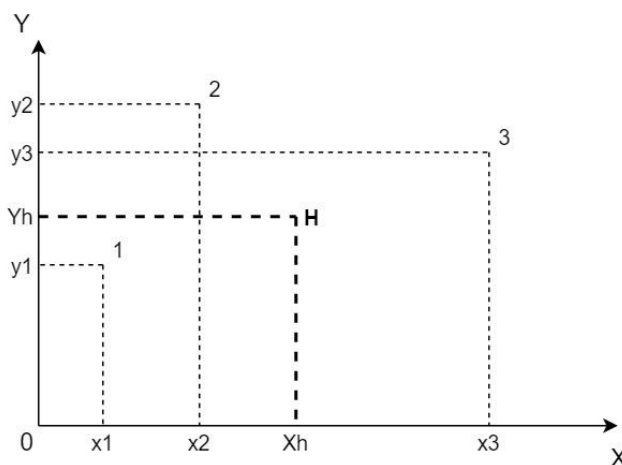
3.5 Metoda souřadnic

Metoda souřadnic je univerzální matematicko-grafickou metodou, která se používá v případech, že je hledáno umístění jednoho hlavního objektu či pracoviště, které má vztah k ostatním. Může se jednat o hledání umístění pro centrální sklad, nářaďovnu, výdejnu atd. Základem je vyznačení jednotlivých objektů do dvourozměrného souřadnicového systému, kde každý znázorněný objekt má své souřadnice x_i, y_i . Vztah hlavního objektu k ostatním je vyjádřen hodnotou q_i (např. součinitel hmotnosti, četnost spojení). Optimálními souřadnicemi X_h, Y_h hlavního objektu jsou považovány takové, na kterých bude nejmenší hodnota $\sum x_i \cdot q_i$ a $\sum y_i \cdot q_i$. [5]

Souřadnice X_h, Y_h hlavního objektu jsou vypočteny z tohoto vztahu:

$$X_h = \frac{\sum_1^n x_i \cdot q_i}{\sum_1^n q_i} ; Y_h = \frac{\sum_1^n y_i \cdot q_i}{\sum_1^n q_i} \quad (3.4.1)$$

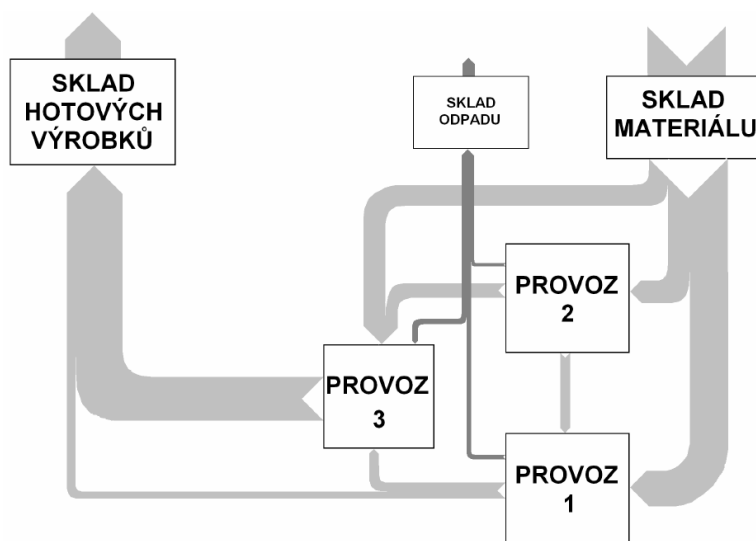
Kde: X_h, Y_h Hledané souřadnice hlavního objektu
 x_i, y_i Souřadnice jednotlivých objektů
 i 1, 2, 3, ..., n
 q_i Hodnota vztahu mezi hlavním a ostatními objekty



Obr. 3.1 Metoda souřadnic (vlastní zpracování, dle [5])

3.6 Sankeyův diagram

Sankeyův diagram je grafickým znázorněním materiálového toku mezi jednotlivými objekty. Různé vlastnosti čar v diagramu jako je délka, tloušťka, barva, šrafování atd. proporcionálně ukazují vlastnosti skutečného toku materiálů při výrobě. Jedná se o jednu z nejlepších vizualizací, pro kterou není potřeba vysoká znalost problematiky či kontextu. Sankeyův diagram nemusí znázorňovat pouze materiálový tok, ale je vhodný též pro zmapování např. energie, plýtvání, pohybu osob, dopravy atd. [9]



Obr. 3.2 Sankeyův diagram (převzato z [11])

3.7 Metoda CRAFT

Computer Relative Allocation of Facilities Technique, zkráceně CRAFT, je metodou pro stanovení vzájemné polohy pracovišť počítačem a je vhodná zejména pro technologické uspořádání podniku. Počítače je zde využito v případě vyššího počtu pracovišť, kde by manuální výpočet byl složitý a dlouhý. Tato technika funguje na principu zmapování aktuálního rozložení a následnému zaměňování jednotlivých pracovišť a zpětnému porovnávání s aktuálním uspořádáním až do té chvíle, ve které jsou náklady na manipulaci minimální a není možné je dále zmenšit. Výpočet je zde prováděn minimalizací funkce: [9] [11]

$$N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot l_{ij} \quad (1.7.3)$$

Kde:	n	Počet pracovišť i a j
	c_{ij}	Náklad na manipulaci mezi pracovišti i a j na jednu jednotkovou vzdálenost
	l_{ij}	Vzdálenost mezi pracovišti i a j v jednotkách, pro které je stanoven náklad na manipulaci

3.8 Metoda ALDEP

Automated Layout Design Program neboli ALDEP je počítačovou technikou pro optimalizaci uspořádání pracovišť. Jedná se o efektivnější metodu než CRAFT. Metoda ALDEP nevyužívá aktuálního uspořádání, ale vychází z dat, ve kterých jsou popsány vztahy mezi jednotlivými pracovišti. Nejčastěji se používá Activity Relationship Chart, který popisuje intenzitu toku mezi jednotlivými pracovišti a jejich důležitost. [12]

3.9 Metoda SLP

Systematic Layout Planning, překládána jako systematické plánování uspořádání, je metodou, kterou vyvinul Richard Muther. Jedná se o jednu z nejvíce obsáhlých a propracovaných metod, která využívá desítky nejrůznějších technik a zabývá se všemi fázemi optimalizace viz kapitola 1.6.8. Zahrnuje jednotlivé stupně plánování, šablony pro činnosti a nastavuje konvence pro správné vyhodnocení a grafické znázornění prvků a oblastí, kterých se optimalizace a plánování týká.

Tato metoda nevyžaduje využívání složité matematiky nebo počítačového softwaru k dosažení výsledků. Uspořádání technik SLP navádí k řešení použitím běžného rozumu. Z matematických disciplín je použita převážně jen aritmetika a počítačového softwaru se využívá k lepší vizualizaci sledovaných jevů. SLP není metodou, která jen zvyšuje know-how projektanta, ale spíše apeluje na zapojení všech, kterých se problematika týká. Tím vzniká řešení, které v sobě nese jak teoretické a technické vědomosti, tak i praktické detaily o konkrétních oblastech. Ve chvíli, kdy jsou zapojeni lidé napříč celou firemní hierarchií, je mnohem snazší výsledné řešení implementovat do praxe, kde bude všemi kladně přijato. [8]

Metoda systematického plánování je postavena na třech hlavních zásadách, nehledě na typ výrobku, jeho vlastnosti nebo způsob výroby:

- 1) Vztahy – relativní stupeň blízkosti, který je požadován mezi optimalizovanými prvky.
- 2) Prostor – množství, druh, tvar a uspořádání výrobních faktorů, kterých se optimalizace týká.
- 3) Sladění – co nejlepší uspořádání s ohledem na reálné podmínky místa, času a prostoru. [8]

Metoda začíná analýzou vstupů, ze které plynou přibližné požadavky na prostor a druh uspořádání pracoviště viz kapitola 1.6. Dalším krokem je definování a znázornění vztahů mezi výrobními faktory s ohledem na průběh celého procesu. Nejčastěji se jedná o podrobnou analýzu materiálového toku. Následuje začlenění podpůrných a řídicích procesů k hlavnímu, kde je následně možné provést výslednou výměru požadovaného prostoru. Ve finální fázi jsou ještě prodiskutovány případné úpravy či možná vylepšení. Posledním krokem je představení výsledného návrhu, žádost o schválení a vytvoření průběhu implementace.

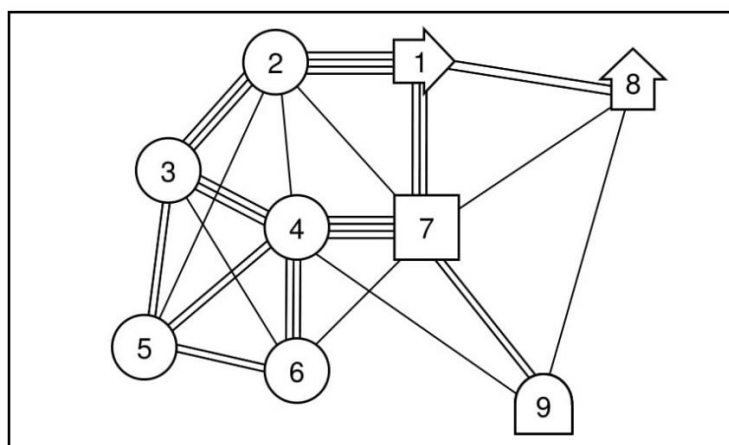
Hlavními technikami používanými metodou SLP jsou: vývojový diagram mapující tok materiálů, šachovnicová tabulka (viz kapitola 1.7.1), tabulka vztahů a diagram vztahů.

Vývojový diagram mapující tok materiálů, anglicky nazýván Operation Proces Chart nebo Flow Chart, je grafickým znázorněním, které se zaměřuje na přesné zmapování celého procesu. Tento diagram stanovuje šest různých stavů, které mohou v průběhu procesu nastat,

a každý tento stav má svůj symbol. Jsou jimi: práce na výrobku, přeprava, manipulace, kontrola, zdržení a uskladnění. Jednotlivé symboly jsou následně propojeny a tvoří tak kompletní diagram, který mapuje tok hodnot.

Většina metod klade důraz především na materiálový tok jako základní stavební kámen pro uspořádání pracovišť. Nejčastěji je použita jedna z technik pro definování hlavního materiálového toku a poté jsou k němu přidány ostatní služby a aktivity. Pro dosažení nejoptimálnějšího a nejefektivnějšího uspořádání pracovišť není tento postup zcela vhodný. Je potřeba brát v potaz i vztahy mezi řídicími a podpurnými procesy a co nejlépe je integrovat s procesy hlavními. K tomu je použito techniky zvané tabulka vztahů (viz Příloha A). Do tabulky vztahů lze zanést všechny poměry mezi jednotlivými aktivitami nebo pracovišti. Těmto poměrům se dále přiřazuje důvod a důležitost toho, jak mají být blízko sebe. Tabulka vztahů poskytuje velice systematické a snadno pochopitelné znázornění velkého množství dat mezi všemi procesy v podniku.

Diagram vztahů, anglicky nazýván Relationship Chart, je grafickým znázorněním tabulky vztahů za použití principů pro tvorbu vývojového diagramu mapující tok materiálů. Tato technika zahrnuje propojení aktivit různým počtem čar s ohledem na důležitost. Každý symbol znázorňuje jiný druh aktivity a uvnitř jednotlivých symbolů jsou čísla přiřazené určité operaci nebo pracovišti. Výsledkem tohoto diagramu je vizuální znázornění všech nasbíraných dat, která velkou mírou přispějí k navržení co nejoptimálnějšího uspořádání pracovišť.


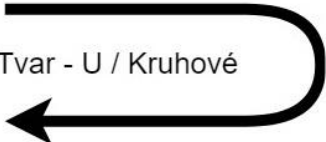
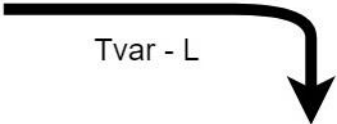



Obr. 3.3 Příklad diagramu vztahů (převzato z [8])

3.10 Přizpůsobení navrženého uspořádání

Při využití optimalizačních metod pro návrh nového uspořádání pracovišť je zapotřebí výsledek zanalyzovat i z empirického, logického a heuristického úhlu pohledu. Pouhou změnou tvaru pro tok hodnot během procesu lze dosáhnout efektivnějšího řešení za stejného rozmístění pracovišť. Nejčastěji se jedná o změnu umístění ulic, míst pro vstup a výstup nebo rozmístění různých zařízení. V tabulce 3.1 jsou uvedeny výhody nejčastěji používaných toků hodnot skrz proces.

Tab. 3.1 Tabulka tvarů pro tok hodnot [8]

<p>Přímé</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Snadné porozumění, dodržování, plánování a kontrola 2. Použití přímých a málo nákladných metod a zařízení pro manipulaci s materiálem 3. Snadný přístup na začátku a na konci 4. Zabraňuje přetížení v místě dodávky a odběru
<p>Tvar - U / Kruhové</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Automaticky je výrobek vrácen na začátek procesu 2. Dodací a odběratelské body jsou na stejném místě což umožňuje snadný přesun od jednoho procesu k dalšímu 3. Pracovníci mohou snadno asistovat u více operací 4. Jednodušší přiřazení více operací jednomu pracovníkovi
<p>Tvar - L</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Umožňuje použít velký počet operací jednoho procesu v omezeném prostoru 2. Umožňuje specifické napojení na následující proces 3. Poskytuje efektivní využití drahých a obtížně manipulovatelných zařízení při umístění do ohybu 4. Snadné oddělení vstupních a výstupních toků pro fyzicky odlišené materiály, zásoby a speciální služby
<p>Hřebenové</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Možnost obousměrného toku 2. Hodí se pro pracoviště s velkou variabilitou produktu 3. Umožňuje oddělit některé operace od procesu např. kvůli zvýšenému hluku 4. Zvyšuje pružnost výroby

3.11 Další metody

Experimentální a heuristické metody řeší problém pokusným způsobem, kdy změnou určitých parametrů je sledován vliv na výsledek. Tyto metody se převážně používají u rozložení pracovišť, které jsou nové, velice specifické, nebo v případě kdy není dostatek informací pro použití známých technik. Výsledek nemusí být vždy optimální, ale může být dostačující či vést k algoritmu, který směřuje k už optimálnímu výsledku.

Optimalizační ekonomické metody, pro které se používají např. techniky teorie front, teorie hromadné obsluhy nebo optimalizace zásob. Všechny tyto metody mají společné kritérium a tím je ekonomické hledisko. Vždy je hledáno takové řešení, které je optimalizováno vzhledem ke sledovanému ekonomickému faktoru, který vede především k minimalizaci celkových nákladů, které se vyskytují v řešené situaci. [9]

Simulační metody zkoumají hypotetický vývoj sledovaných jevů za určitých podmínek. Jedná se o napodobeninu reálného systému. Tyto techniky se používají především v případě, že by vyzkoušení nového systému bylo příliš nákladné, ztrátové nebo náročné. Nejčastěji se bude jednat o simulace, kde je změněn objem skladových zásob, priority zakázek, změny výrobních dávek atd. [9]

Existuje velké množství dalších metod, které zde nebyly představeny, a zabývají se optimalizací prostorového uspořádání. Většina těchto metod ovšem vychází z podobných principů a kombinují techniky, které byly představeny v předešlých kapitolách. Nejčastěji je optimalizováno prostorové uspořádání z důvodu změny trasy toku hodnot, lepšího využití výrobních faktorů a zlepšení vztahů mezi procesy a pracovišti za použití matematických výpočtů, logických úvah a grafického znázornění nebo jejich kombinací.

4 Charakteristika společnosti

Společnost BRUSH SEM s.r.o. patří do skupiny BRUSH Generators, která je vlastněna Melrose PLC. Skupině BRUSH Generators náleží status největšího světového nezávislého výrobce turbogenerátorů. Další výrobní závody této skupiny se nachází ve Velké Británii, Nizozemsku a Číně. Výroba společnosti BRUSH SEM s.r.o. v Plzni navazuje na tradiční výrobu generátorů Škoda, která zde probíhala od roku 1924. Tohoto roku byl zde sestrojen první generátor o výkonu 14 MW. Až do roku 1997 spadala společnost pod koncern Škoda Elektrické stroje s.r.o. a následně do roku 2001 fungovala jako závod Elektrické stroje společnosti Škoda Energo s.r.o. Samotná společnost BRUSH SEM s.r.o. vznikla dne 13. 4. 2001 akvizicí společnosti FKI PLC. Roku 2008 je BRUSH SEM s.r.o. součástí Melrose PLC. [16]

4.1 Základní vlastnosti

Název:	BRUSH SEM s.r.o.
Adresa:	Edvarda Beneše 564/39, 301 00 Plzeň
Právní forma:	Společnost s ručením omezeným
IČO:	25745735
Základní kapitál:	14,1 milionů Kč



Obr. 4.1 BRUSH SEM s.r.o. v Plzni (převzato z [16])

4.2 Charakteristika činností a výroby

Hlavními činnostmi společnosti BRUSH SEM s.r.o. jsou vývoj, výroba, údržba, opravy a testování turbogenerátorů. Výroba generátorů probíhá od začátku za použití surových materiálů.

Prvními vyrobenými generátory společností BRUSH SEM s.r.o. byly konstrukčně jednodušší vzduchem chlazené turbogenerátory. V současné době jsou i nadále vyráběny vzduchem chlazené turbogenerátory, a to s označením DAX o výkonovém rozmezí 30 až 300 MVA, které jsou vhodné zejména pro rafinérie, průmysl, spalovny a plynové, tepelné, geotermální a termální solární elektrárny. Dále jsou též vyráběny turbogenerátory chlazené vodíkem, nebo vodíkem a vodou, a to do výkonu až 1300 MVA, které jsou vhodné zejména pro tepelné a jaderné elektrárny. Společnost BRUSH SEM s.r.o. má ve svém portfoliu i další výrobky v podobě budících soustav a potřebného příslušenství pro generátory, jak vlastní, tak i cizí výroby. [16]

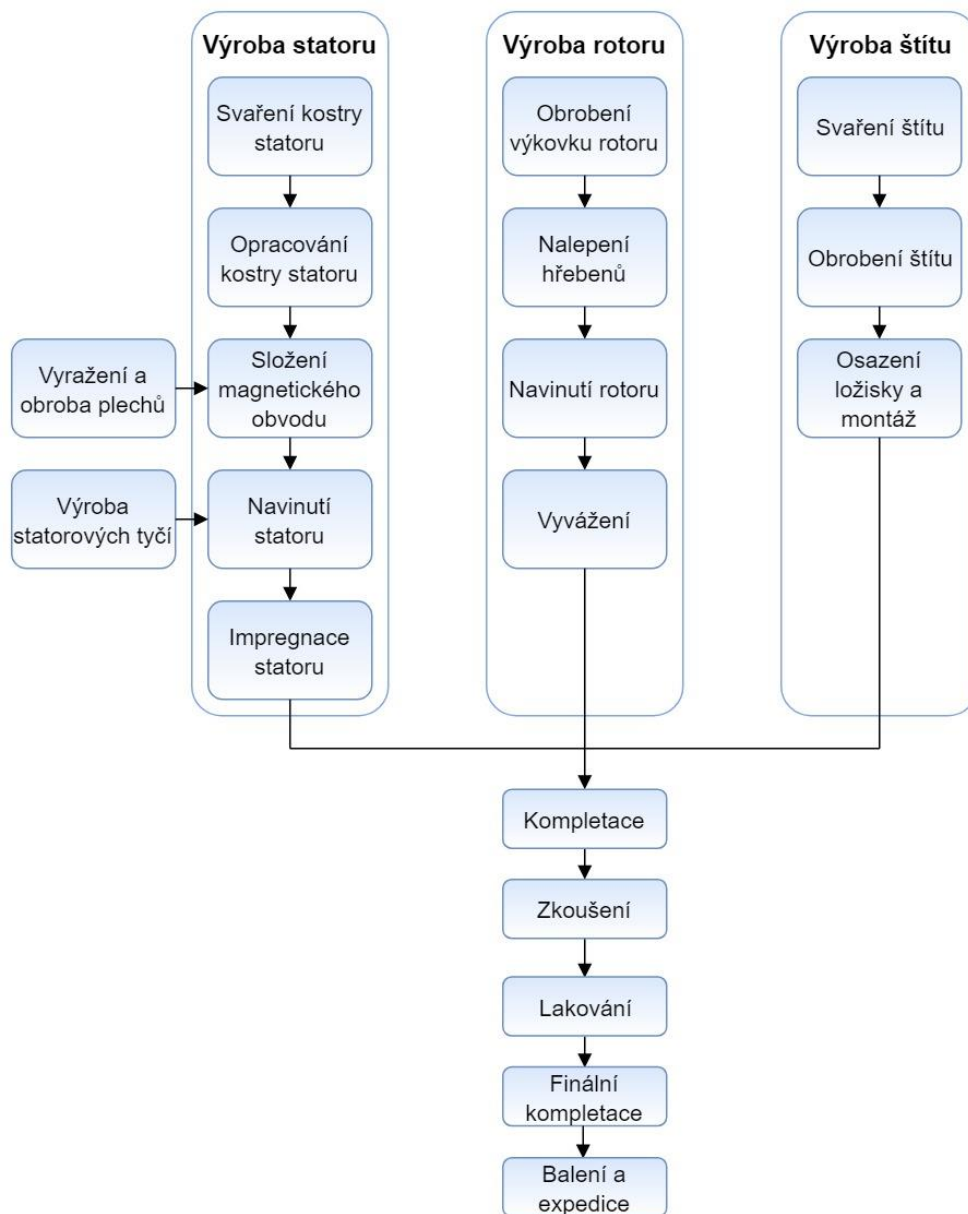
Areál společnosti se rozkládá na ploše téměř 95 000 m² z čehož přibližně dvě třetiny tvoří zastavěná plocha. Areál se skládá z několika budov, přičemž dvěma dominantními jsou největší hala nazývaná Gigant o rozloze 200 x 200 m a menší nová hala o rozloze 36 x 78 m. Pracoviště, zabírající největší plochu v těchto halách, jsou svařovna, cívkárna, lisovna, obrobna, navijárna a montáž. Velká hala Gigant je pro snazší orientaci na pracovišti dělena do 6 polí dle vykonávaných činností v každém z nich. Detailní mapa areálu je v příloze B. [17]

4.3 Výrobní proces elektrických generátorů

Výroba generátoru je velice složitý proces, který využívá různé členění, uspořádání a způsoby dle fáze, ve které se výroba právě nachází. Výroba generátoru ve společnosti BRUSH SEM s.r.o. trvá zhruba půl roku podle typu produktu.

Samotnou výrobu generátoru lze rozdělit do tří souběžně probíhajících hlavních operací. Těmi jsou výroba statoru, rotoru a štítu. Základním a velice důležitým krokem je přesné obrobení a příprava kostry statoru a výkovku rotoru. Magnetický obvod statoru je skládán z jednotlivých plechů, které jsou zpracovávány v lisovně. Následuje vkládání statorových tyčí, které jsou vyráběny v cívkárně z měděných drátů. Po obrobení výkovku rotoru

následuje vkládání rotorových cívek. Štíty pro generátor jsou vyráběny svařením plechových výpalků a následně jsou do nich namontovány ložiska. Po výrobě statoru, rotoru a štítu už je možné přistoupit k výsledné kompletaci jejíž součástí je testování, lakování a příprava na expedici.



Obr. 4.2 Výrobní proces generátoru v BRUSH SEM s.r.o. (vlastní zpracování, dle [21])

5 Charakteristika vybraného procesu a pracovišť

Pro tuto práci byl vybrán proces při výrobě statoru ve společnosti BRUSH SEM s.r.o., který zahrnuje příjem materiálů, vyražení a obrobení statorových plechů na pracovišti lisovna a převoz z lisovny do 1. pole obrobny, kde jsou segmenty plechů následně skládány za účelem vytvoření magnetického obvodu statoru.

5.1 Organizace práce

Největší část vybraného procesu se odehrává na pracovišti lisovna a na pracovišti obrobna nacházející se v prvním poli haly Gigant. Na obou pracovištích se pracuje dle objemu zakázek až ve třisměnném provozu rozděleném na ranní, odpolední a noční.

Na pracovišti lisovna pracuje vždy 8 až 10 lidí dle objemu zakázek. Pro manipulaci s materiálem v lisovně se používá mostový jeřáb, který je ovládán dálkově pracovníkem ze země. Pro převoz statorových plechů z lisovny do 1. pole je potřeba až 6 lidí (obsluha vysokozdvizného vozíku, vazači plechů, jeřábníci). Samotné skládání statorových plechů do kostry statoru provádí dva pracovníci kvůli omezenému prostoru uvnitř kostry statoru. Manipulace se statorovými plechy na pracovišti skládání je prováděna jeřábníkem sedícím v kabině umístěné ve výšce na úrovni kolejnic mostového jeřábu tak, aby viděl z vrchu do kostry statoru.

Dle typu operace během vybraného procesu je potřeba různé kvalifikovanosti pracovníků. Ta je zanesena v kvalifikační tabulce, kde je vidět míra způsobilosti pracovníků pro jednotlivé operace. Tvorba směn následně probíhá s ohledem na kvalifikační tabulku, aby na pracovišti byli lidé s potřebnými vědomostmi a schopnostmi.

5.2 Analýza procesu

Doba trvání vybraného procesu je závislá na typu generátoru, který je vyráběn. V případě nejčastěji vyráběného typu turbogenerátoru DAX7 je doba trvání, od zadání požadavku na výrobu segmentů statorových plechů až po složení magnetického obvodu, přibližně 18 dní.

5.2.1 Vstupy

Hlavní vstupní surovinou pro výrobu jádra statoru jsou role z elektrolechů ve formě svitku o různé šíři. Tloušťka plechů je závislá na typu vyráběného stroje a pohybuje se od 0,35 mm až po 0,65 mm. Maximální váha svitku je 4400 kg s ohledem na maximální nosnost jeřábu a hmotnost závěsného zařízení pro manipulaci s rolemi. Maximální průměr jednoho svitku je 1150 mm. Plechy pro jednotlivé stroje se mohou lišit druhem materiálu, tloušťkou plechů, šířkou, průměrem svitku a z toho i výslednou hmotností.

Vstupní materiál je vždy nakupován pro konkrétní stroj dle objednávky, kterou vydá oddělení konstrukce. Pro nákup plechů se započítává přibližně 2 % materiálu navíc z důvodu kompenzace nerovnoměrné tloušťky materiálu od výrobce.

5.2.2 Průběh procesu

Průběh vybraného procesu lze rozdělit na tři hlavní operace:

- *Lisování a obrábění statorových plechů*
- *Převoz statorových plechů z lisovny do obrobny v 1. poli*
- *Skládání statorových plechů v 1. poli*

První operací ve sledovaném procesu je **lisování a obrábění statorových plechů**, která se odehrává na pracovišti lisovna a jedná se o sériovou výrobu v předemném uspořádání pracoviště. Počet segmentů pro celý stroj je stanoven na základě kusovníku z konstrukce a z důvodu tolerance šířky vstupního materiálu je orientační, při skládání je vždy nutno dodržet výšku statorového jádra dle výkresu. Přibližný počet kusů plechů pro jednotlivé stroje se liší dle jeho druhu. Např. pro stroj DAX7 je celkem dle kusovníku 27959 kusů (42330 kg), pro DAX8 je to 41634 kusů (83500 kg) a DAX9 78210 kusů (98700 kg).

Celý proces začíná objednávkou a následným přijetím elektroplechů ve formě svitků, u kterých je vždy při vstupu na pracoviště kontrolována kvalita. Nejčastější vady, které jsou nepřijatelné pro použití takového materiálu, jsou trvalé deformace (zvlnění, ohnutý plech, vruby, důlky), díry v plechu, zkorodovaná místa, poškození izolační vrstvy a znečištění povrchu plechu. Po kontrole svitků následuje jejich uskladnění ve vertikální poloze na paletách, jelikož jsou takto dodávány výrobcem z důvodu zamezení možnosti jejich pohybu při transportu. V další fázi jsou svitky elektroplechů nastříhány, vylisovány a zabroušeny. Nejprve je svitek pomocí přístroje převrácen do horizontální polohy a poté je zpracován buďto automatickou lisovací linkou (pro svitky o maximální šíři 770 mm), nebo stříhací linkou ATKIN a následně manuálním lisem (svitky o maximální šíři 900 mm). Výstupem této operace jsou na sebe naskládané jednotlivé segmenty plechů pro sestavení jádra statoru, které jsou umístěné na malých paletách. Tyto palety jsou následně po jedné přemísťovány mostovým jeřábem buďto z automatického nebo manuálního lisu na přepravní stoly, kde se musí zafixovat pro bezpečnou manipulaci.



Obr. 5.1 Uskladnění svitků vertikálně (vlastní zpracování)



Obr. 5.2 Převrácení svitků horizontálně (vlastní zpracování)

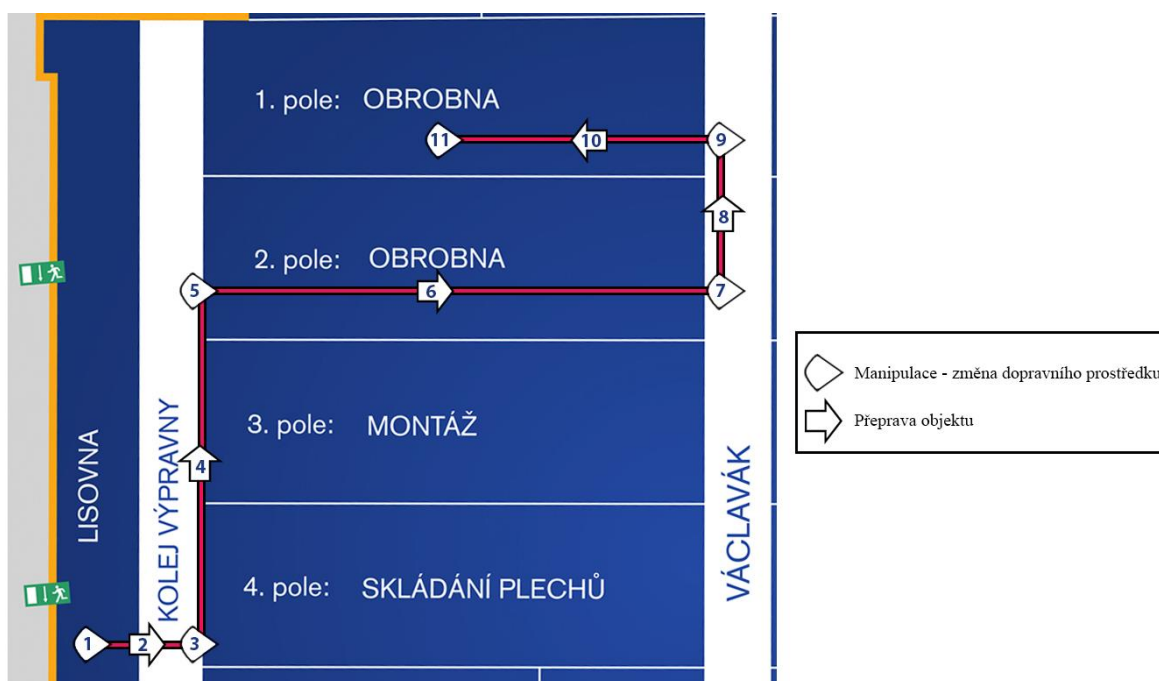


Obr. 5.3 Výroba statorových plechů (vlastní zpracování)



Obr. 5.4 Segmenty plechů na přepravních stolech (vlastní zpracování)

Druhou operací ve vybraném procesu je **převoz satorových plechů z lisovny do obrobny v 1. poli**. Připravené přepravní stoly se čtyřmi paletami segmentů plechů jsou pomocí vysokozdvíhného vozíku přesunuty z prostoru lisovny do hlavní haly na kolejový vůz. Tím jsou přepravní stoly s plechy převezeny ze 4. do 2. pole, kde jsou pomocí mostového jeřábu přesunuty přes celou šířku druhého pole až do hlavní ulice nazývané Václavák, kde jsou opět uloženy na kolejový vůz a převezeny z 2. do 1. pole. Z hlavní ulice Václavák jsou přepravní stoly přesunuty znovu mostovým jeřábem už na pracoviště skládání, nacházející se v polovině 1. pole. Před započítím skládání jsou takto zavezeny všechny přepravní stoly s plechy potřebné pro daný stator a uskladněny v blízkosti kostry statoru.



Obr. 5.5 Mapa materiálového toku při zavážení plechů (vlastní zpracování)

Poslední operací tohoto procesu je **skládání satorových plechů v 1. poli**. Skládání probíhá na pracovišti, jehož část se nachází pod úrovní podlahy, kde je vertikálně umístěna kostra statoru. Do té je vždy vrchem pomocí mostového jeřábu přesunuta jedna paleta segmentů satorových plechů z přepravního stolu. Uvnitř kostry statoru jsou plechy skládány pouze dvěma pracovníky z důvodu omezeného prostoru, dodržení bezpečnosti a komfortu při práci. Při použití všech segmentů plechů z jedné palety je nutné znovu pomocí mostového jeřábu prázdnou paletu vytáhnout a přesunout dovnitř kostry statoru novou paletu se segmenty plechů.



Obr. 5.6 Pracoviště skládání statorových plechů (vlastní zpracování)



Obr. 5.7 Skládání plechů uvnitř kostry statoru (vlastní zpracování)

5.2.3 Výstupy

Výstupem vybraného procesu je magnetický obvod složený ze segmentů elektrolechů uvnitř kostry statoru. Tato část statoru je následně převrácena do horizontální polohy a za pomoci mostového jeřábu přesunuta na druhou stranu hlavní ulice Václavák, kde se nachází pracoviště, na kterém je prováděno navíjení statoru.

5.3 Stanovení kritických míst

Pro stanovení kritických míst na jednotlivých pracovištích během procesu výroby a skládání statorových plechů bylo zapotřebí věnovat značnou část času co nejvíce detailnímu poznání procesu a prostoru ve kterém probíhá. Toho bylo docíleno zejména rozčleněním procesu na menší části vždy podle pracoviště, ve kterém probíhají a následnému pozorování jednotlivých operací, měření jejich doby trvání a vzdáleností potřebných pro pohyb výrobních faktorů. Návrhy na zlepšení byly konzultovány s pracovníky, kteří jsou nejvíce v daném procesu zapojeni a také především s pracovníky oddělení trvalého zlepšování. Oddělení trvalého zlepšování ve společnosti BRUSH SEM s.r.o. se řídí filozofií, že vždycky je co zlepšovat, a tudíž během mého působení ve společnosti bylo diskutováno velké množství menších ale i větších návrhů ze kterých bylo potřeba vybrat ty, které jsou aktuálně potřeba vyřešit a které největší mírou přispějí k optimalizaci, a to i s ohledem na projekty naplánované v budoucnosti.

Jelikož oddělení trvalého zlepšování už v celé společnosti zavedlo mnoho optimalizací, tak bylo potřeba na ně plynule navázat a využít už dříve dokončených vylepšení, zavedených metodik a zvyklostí, což ve výsledku přispělo k úspoře času především lepším pochopením navržených optimalizací v tomto vybraném procesu jednotlivými pracovníky.

Jako stěžejní kritická místa v uspořádání pracovišť byly vybrány tyto problémy, u kterých jsou definovány vhodná opatření pro optimalizaci.

1. Nevhodné uskladnění svitků s elektroplechy před jejich použitím ve výrobě.
 - Vytvoření layoutů na pracovišti s využitím již zavedených zásad tvorby vizuálního pracoviště.
 - Uspořádání svitků elektroplechů a dodržování optimalizovaného stavu za pomoci metody 5S.
2. Příliš složitý a neefektivní způsob přepravy segmentů statorových plechů z lisovny na pracoviště skládání nacházející se v 1. poli.
 - Změna způsobu, trasy a přepravního prostředku pro zavážení segmentů statorových plechů.
 - Navržení nových uspořádání pracovišť v lisovně a v 1. poli v místě skládání plechů, které bude vhodné s ohledem na nový způsob zavážení statorových plechů.
 - Zavedení metody Kanban pro zavážení segmentů statorových plechů.
3. Plýtvání ve formě nadbytečné manipulace při přepravě jednotlivých palet se segmenty elektroplechů po jejich obrobení a následném nakládání na přepravní prostředek pomocí mostového jeřábu.
 - Vynechání operace přepravy palet pomocí mostového jeřábu.
 - Zavedení automatizovaného nakládání palet se segmenty plechů přímo na přepravní prostředek.

6 Optimalizace kritických míst

Proces výroby, zavážení a skládání statorových plechů je velice komplexním, jelikož jednotlivé operace procházejí různými druhy výroby, různými uspořádáními pracovišť a nachází se v jiných halách z důvodu vysokého hluku při lisování a obrábění plechů. Proces začíná sériovou výrobou v předemném uspořádání a při skládání plechů se jedná už o výrobu s pevnou pozicí výrobku. Celkově tedy lze na tento proces nahlížet jako na kombinovanou výrobu přizpůsobenou specifickým požadavkům vyráběného produktu. Z tohoto důvodu je obtížné vycházet pouze z jedné optimalizační metody, a proto je potřeba jejich kombinace. Při navrhování nových uspořádání pracovišť jsem vycházel z metod uvedených v teoretické části práce.

Jelikož výroba statoru je značně složitým procesem a samotný stator je velice objemným výrobkem, se kterým se obtížně manipuluje, tak je komplikované a příliš nákladné měnit konkrétní operaci skládání plechů. Z tohoto důvodu je potřeba optimalizovat ostatní menší procesy a uspořádání pracovišť. Především se jedná o procesy a jejich pracoviště, při kterých se vyrábějí méně objemné a snadněji manipulovatelné součástky statoru. Skládání statorových plechů musí být prováděno na specificky přizpůsobeném pracovišti, které je z důvodu výšky vertikálně postaveného statoru a možností provozu mostového jeřábu, umístěno pod úroveň podlahy (viz *Obr. 5.6*). Proto není možné přesunout pracoviště skládání statorových plechů například blíže k lisovně, což by vedlo k ušetření prostředků za manipulaci s plechy, ale byla by zapotřebí příliš nákladná přestavba, která ze samotného konceptu haly Gigant není možná.

6.1 Použité metody

Nejvíce jsem vycházel z metody SLP, která zahrnuje mnoho dílčích technik, dále také z metody šachovnicové tabulky, mapování toku hodnot a z metod štihlé výroby jako je Kaizen, PDCA, Kanban a 5S. Z velké části jsem využíval též empirických a logických metod, kde bylo zapotřebí detailně poznat zadaný proces a pracoviště, ve kterém proces probíhá, což prvně spočívalo v pozorování, kde jsem definoval a zaměřil se na problematické jevy, které jsem následně změřil z hlediska doby trvání a vzdálenosti (viz *Příloha C*). Při návrhu optimalizace jsem následně využíval a kombinoval výše zmíněné metody a logicky jsem z nich vybíral části, které byly vhodné pro tento proces. V neposlední řadě jsem pro získání potřebných informací využíval interních zdrojů a konzultací s pracovníky na daném pracovišti.

6.2 Optimalizace metodami štihlé výroby

Při zlepšování a eliminaci neefektivností jsou ve společnosti BRUSH SEM s.r.o. základem ucelené koncepty řízení výroby, které jsou známé pod pojmy Štihlá výroba, Lean manufacturing nebo Lean thinking. Jedná se o koncept výroby, kde všechny činnosti, lidé a přístroje pracují v souladu za účelem omezení plýtvání. [18] [19]

Pojem a význam slova plýtvání vznikl v Japonsku ze slova Muda. Plýtvání označuje takové aktivity, které nepřidávají žádnou hodnotu. Avšak při analýze procesu lze zjistit, že existují procesy, které sice nepřidávají hodnotu, ale jsou nezbytné pro vykonávání procesů přidávajících hodnotu. Tyto činnosti jsou označovány jako skryté plýtvání a typickým představitelem je manipulace. Ve filozofii štihlé výroby je žádoucí odstranit všechny aktivity plýtvání a minimalizovat skryté plýtvání. Plýtvání je rozdělováno do těchto 7 kategorií: nadprodukce, zásoby, opravy a zmetky, pohyb, zpracování, čekání, doprava. [3] [18]

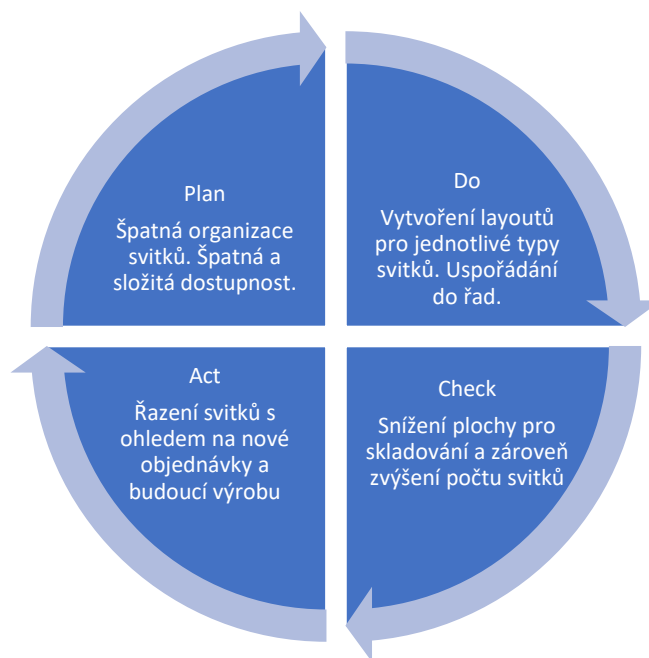
Pro odstranění a eliminaci plýtvání existuje mnoho technik, které se mohou zabývat různými druhy plýtvání. Klíčem k úspěchu v implementaci těchto metod je potřeba podpory jak zaměstnanců, tak managementu firmy a následné udržování, a dokonce rozvíjení nového stavu. Zde budou představeny nejčastěji používané techniky ve společnosti BRUSH SEM s.r.o.

- **Kaizen**

Slovo Kaizen je japonského původu a v překladu znamená změna k lepšímu. Jedná se především o podnikovou filozofii než samostatnou techniku, jejíž hlavním principem je snaha o neustálé zlepšování. Do zlepšování se může zapojit každý zaměstnanec bez ohledu na jeho pozici. Základem této filozofie je předpoklad, že kontinuální drobné zlepšení dají ve výsledku více než jednorázové velké zlepšení. [3] [19]

S filozofií Kaizen je úzce spojena metodika nazývaná PDCA Cyklus, Demingovo kolo nebo také Shewhartův Cyklus. Název PDCA cyklus je odvozen z počátečních písmen slov, kterých se tato metoda týká. Jedná se o Plan – Do – Check – Act do češtiny přeložené jako Plánuj – Proveď – Ověř – Jednej. V první fázi Plan je vytvořena definice problému, dokumentace stávající situace, vizualizace budoucího stavu, definice měřítek. V druhé fázi Do je změna realizována. Ve třetí fázi Check je provedeno měření, kontrola a porovnání nového stavu s předchozím. Ve čtvrté fázi Act je provedena dokumentace výsledků a navržení nových doporučení pro zlepšení do dalšího cyklu. Následně může celý tento proces zlepšování začít s novými poznatky z předchozího cyklu. [22]

Pomocí metody Kaizen a PDCA cyklu je v podniku BRUSH SEM s.r.o. zavedeno ročně přes 100 různých vylepšení. Jelikož jsou již tyto metody ve společnosti zavedeny a oddělení trvalého zlepšování je otevřené každému nápadu pro optimalizaci, tak bylo možné pomocí těchto dvou metod navrhnout a následně snadno prezentovat řešení kritického bodu označeného číslem 1, jak je uvedeno na *Obr. 6.1*. Problém spočíval v nevhodném uskladnění svítek s elektroplechy před tím, než došlo k jejich využití pro výrobu jednotlivých segmentů plechů. Různé typy rolí elektroplechů byly často při vstupu do lisovny mezi sebou zamíchány. Pro přístup ke správným svítkům bylo zapotřebí neustálého přemísťování pomocí jeřábu, též bylo obtížné se orientovat mezi různými druhy a byl neefektivně využit skladovací prostor.

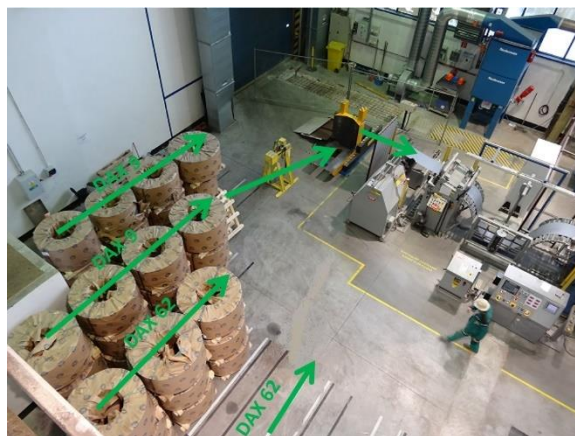


Obr. 6.1 Návrh pomocí PDCA cyklu (vlastní zpracování)

Výsledkem tohoto vylepšení uspořádání na pracovišti bylo vytvoření layoutu pro uskladňování svitků elektroplechů za pomoci již zavedených zásad pro vizuální tvorbu podlahových layoutů metodou 5S. Díky této optimalizaci bylo docíleno snížení plochy potřebné pro skladování z 39,5 m² na 37 m² a zároveň byl zvýšen počet svitků, které lze uskladnit z 48 na 63 svitků. Manipulace se svitky je po optimalizaci mnohem rychlejší, jelikož se zkrátila dráha potřebná pro jejich převoz ke stroji a je snadné rozpoznat jednotlivé typy svitků.



Obr. 6.2 Původní uskladnění svitků (vlastní zpracování)



Obr. 6.3 Optimalizované uskladnění svitků (vlastní zpracování)

- 5S

5S je metodou skládající se z pěti pilířů, které strukturálně podporují systém zlepšování v podniku. Jména všech pěti pilířů začínají v angličtině a japonštině písmenem S a proto je metoda pojmenována jako 5S. Pět pilířů je rozděleno na: třídění, nastavení pořádku, lesk, standardizace a zachování. Výsledkem zavedení 5S je zvýšení produktivity, produkování méně defektů, snadnější plnění termínů a především zásadní zvýšení bezpečnosti práce. Tato metoda se zabývá prostředím od nejmenších částí jako jsou pracovní či kancelářské stoly až po největší celky jako jsou sklady a výrobní haly. [19] [20]

Třídění Sort, Seiri	Z pracoviště jsou odstraněny všechny předměty, které nejsou zapotřebí.
Nastavení pořádku Set in order, Seiton	Uspořádání potřebných předmětů tak, aby mohly být jednoduše používány, nalezeny a vráceny zpět.
Lesk Shine, Seiso	Třetí pilíř se stará o zajištění toho, že je vše čisté a je zabráněno hromadění se nečistot, což podporuje produkci kvalitních výrobků a šetří práci.
Standardizace Standardize, Seiketsu	Standardizace nastavuje činnosti tak, aby byl zachováván a udržován stav nastavený prvními třemi pilíři.
Zachování Sustain, Shitsuke	Zachování se stará o zautomatizování činností, které podporují předešlé pilíře v používání na denní bázi.

Ve BRUSH SEM s.r.o. jsou výsledky zavedení 5S možné vidět ve všech oblastech napříč celým podnikem. Nejvýraznějším zlepšením, které podporuje tuto metodu je zavedení a implementace zásad tvorby podlahových layoutů, které vizuálně znázorňují účely různých míst na pracovišti. Prostředí na pracovišti je rozděleno do pěti hlavních kategorií dle jejich účelu. Toto zlepšení výrazně zvyšuje bezpečnost, jelikož je na první pohled zřejmé, do kterých oblastí se smí chodit, kde je potřeba dbát zvýšené pozornosti a kam se chodit nesmí. Taktéž jsou vyznačeny plochy pro skladování materiálů, výrobků a přístrojů, a tudíž nedochází k uskladňování těchto předmětů na plochách určených pro jiné účely, především

v uličkách pro pohyb personálu. Žlutou páskou jsou vyznačeny okraje uliček, kde šířka pásky určuje, zda se jedná o hlavní nebo vedlejší uličku. Zelená páska se používá pro mobilní manipulační prostředky včetně materiálů uložených například v klecích na kolečkách. Černá páska naopak definuje skladovací plochu pro materiály a přístroje se kterými se manipuluje minimálně nebo vůbec. Velice důležitá je funkce červené pásky, která značí, že prostor musí zůstat volný a týká se to především míst v blízkosti hydrantů, hasicích přístrojů a rozvaděčů s jističi a pojistkami.

- ***Just in Time (JIT)***

Výroba nazývaná Just in Time lze přeložit jako výroba právě včas, což vystihuje její podstatu. Při této výrobě je kladen důraz na redukci toku hodnot už od dodavatelů až po zákazníky. V praxi to znamená především snížení skladových zásob a z toho plynoucí častější doplňování v momentě potřeby. Stejně tak jsou sníženy i zásoby hotových výrobků a je vyráběno podle požadavků zákazníků. Tato metoda pomáhá podniku vyrábět výrobky v určeném množství a čase dle přesných požadavků zákazníka. [3] [19]

- ***Kanban***

Kanban je metodou vytvořenou v roce 1940 pro automobilovou společnost Toyota. Jedná se o systém plánování, který je zaměřen na kontrolu a optimalizaci práce a zásob v podniku. Kanban je zaměřen na řízení materiálových toků skrz výrobu a graficky znázorňuje průběh procesu, který rozlišuje na úkoly, které ještě nezačaly, úkoly, které právě probíhají a úkoly které jsou už dokončeny. Grafická vizualizace toku je prováděna pomocí kanbanových karet. Principem metody Kanban je tok těchto karet skrz celý proces ideálně bez dlouhého čekání a různých zpoždění. V praxi se jedná o výrobu na objednávku, kde výroba či dovoz požadovaného produktu začíná až ve chvíli zadání požadavku ve formě kanbanové karty. Tímto lze docílit redukce zásob a snazšího plnění termínu při výrobě. Kanban tedy podporuje výrobu Just in Time a jedná se o tahový systém výroby. [3] [23]

6.3 1. fáze optimalizace

Jako hlavní problém ve vybraném procesu byl stanoven kritický bod označený číslem 2 v kapitole 5.3, jehož průběh je popsán v kapitole 5.2.2. Vyřešení tohoto problému bylo nejvyšší prioritou, protože při přepravě segmentů statorových plechů z lisovny na pracoviště skládání nacházející se v 1. poli dochází k vysokému plýtvání v podobě nadbytečného pohybu, čekání a dopravy. Návrh a zavedení tohoto vylepšení se ve firmě, a i dále v této práci nazývá jako 1. fáze optimalizace.

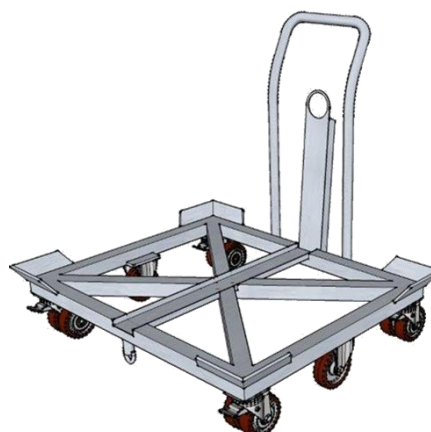
Z důvodu současného rozmístění pracovišť a celkovému konceptu haly Gigant není možné pouze změnit uspořádání, tok materiálu či trasu zavážení, a to především kvůli možnostem manipulace s mostovým jeřábem, kde je limitující jeho dosah a který byl hlavním prvkem při převozu přepravních stolů naložených paletami se segmenty plechů. Proto je navržen zcela nový způsob přepravy statorových plechů včetně změny dopravního prostředku a následné naplánování nové trasy pro převoz. Jako nový převozní prostředek je navrhnout vozík s kolečky, na který lze umístit jednu paletu se segmenty plechů. Tento vozík bude tažen pomocí elektrického tahače, kterým disponuje oddělení logistiky, a který se již používá pro přepravu výrobních faktorů během jiných procesů v podniku. Tento elektrický tahač bude převážet vždy tři za sebou zapřažené vozíky s paletami z důvodu výkonu tahače, a především bezproblémového průjezdu navrženou trasou. Cena jednoho vozíku je stanovena na 10 000 Kč.

Tab. 6.1 Porovnání původního a optimalizovaného stavu

	Původní stav	Navržená optimalizace
Uložení segmentů plechů	Velký stůl (kapacita 2 palety)	Vozík (kapacita 1 paleta)
Převoz	Dva stoly (celkem 4 palety)	Tři vozíky (celkem 3 palety)
Použité dopravní prostředky	Mostový jeřáb, vysokozdvíhací vozík, kolejový vůz	Elektrický tahač

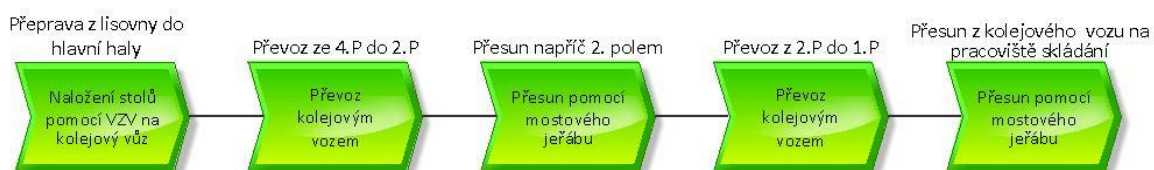


Obr. 6.4 Elektrický tahač (vlastní zpracování)



Obr. 6.5 Vozík pro přepravu palet (převzato z [21])

V původním uspořádání musel být 5× změněn dopravní prostředek, aby se segmenty statorových plechů dostaly na pracoviště skládání v 1. poli. V nově navrženém uspořádání budou palety se segmenty plechů naloženy mostovým jeřábem na vozík a následně odtaženy z lisovny rovnou na pracoviště skládání. Jak lze vidět na *obrázcích 6.6 a 6.7* s procesními modely, optimalizací je zásadně redukován počet jednotlivých kroků nutných k přemístění palet.



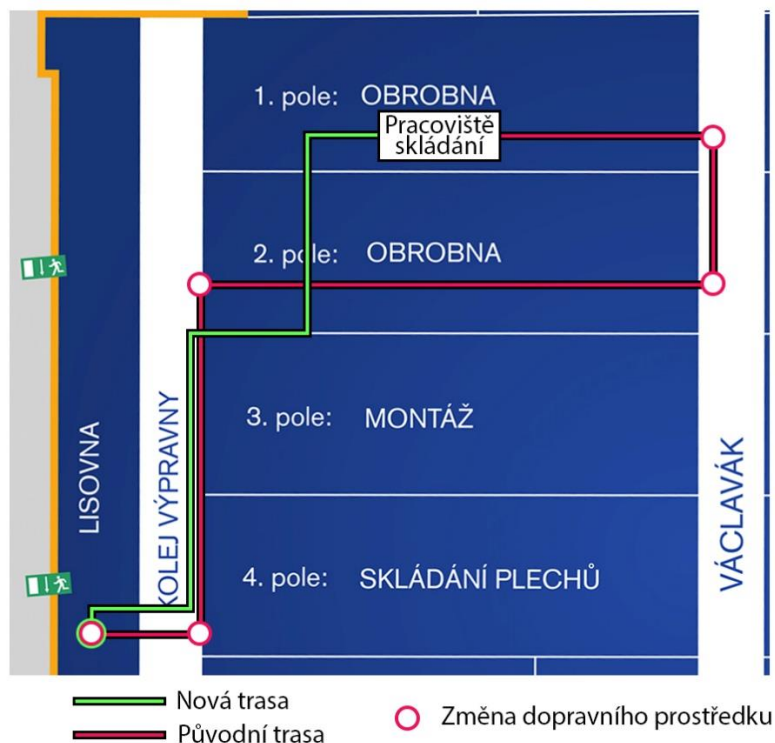
Obr. 6.6 Procesní model před optimalizací (vlastní zpracování)



Obr. 6.7 Procesní model po optimalizaci (vlastní zpracování)

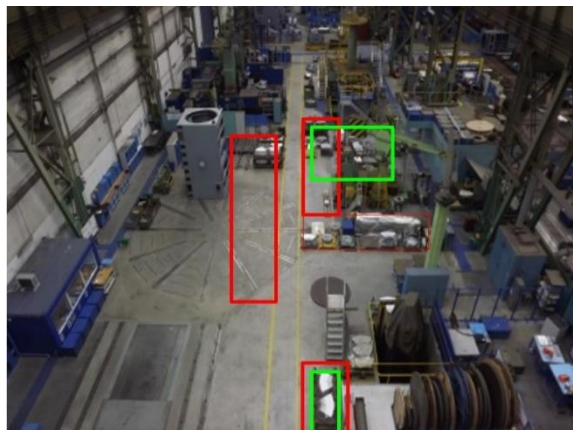
Pro navržení nové trasy závozu palet se segmenty plechů a pro optimální uspořádání pracovišť ve vybraném procesu je použita kombinace metody šachovnicové tabulky a tabulky vztahů. Sledováním a měřením procesu (viz *Příloha C*) byly zmapovány poměry mezi jednotlivými pracovišti. Z těchto dat je určeno, u kterých pracovišť je důležité a vhodné, aby se nacházely u sebe, a u kterých je to nepodstatné či dokonce nežádoucí (viz *Příloha D*).

Pro závoz palet se segmenty satorových plechů je navržena nová trasa (viz Obr. 6.8), která až do úrovně 2. pole kopíruje trasu původní. Následně jsou vybrány ulice mezi jednotlivými pracovišti o minimálně šířce 110 cm, po kterých je možné projíždět elektrickým tahačem bez narušení plynulosti ostatních procesů či zhoršení bezpečnosti.



Obr. 6.8 Trasa pro závoz segmentů satorových plechů (vlastní zpracování)

Pro zcela nový způsob zavážení palet se segmenty plechů je také navrženo nové uspořádání pracovišť v lisovně a v 1. poli v místě skládání. Na obou pracovištích musí být plocha pro skladování vozíků s paletami dobře přístupná, aby bylo možné vozíky snadno zapřáhnout za elektrický tahač a následně s nimi manipulovat. Proto jsou plochy pro skladování rozděleny na menší uličky, do kterých je možné do řad za sebou umístit vozíky s paletami, jak je možné vidět na Obr. 6.10. Vznikne tak skladovací plocha, na kterou se vejdou jak naložené, tak i prázdné vozíky a bude možné s nimi manipulovat pomocí elektrického tahače bez nutnosti přesouvání vozíků, se kterými není potřeba v dané chvíli pohybovat. Na obrázku 6.9 je vyfocené pracoviště skládání nacházející se v 1. poli. Červeně jsou zde označena místa, na kterých byly skladovány přepravní stoly s paletami. Zeleně jsou označena místa, kde vznikne nový skladovací prostor pro vozíky.

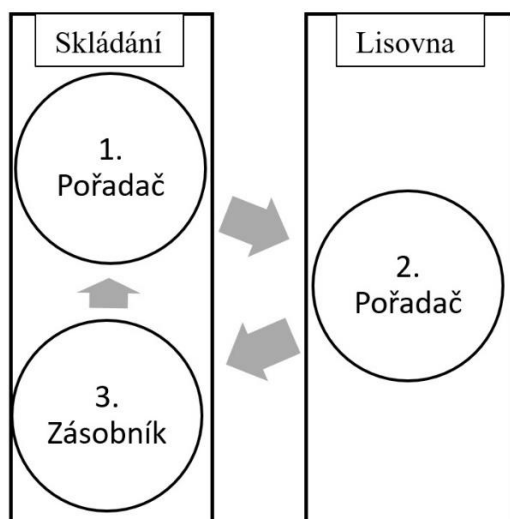


Obr. 6.9 Rozmístění skladovacích ploch (vlastní zpracování)



Obr. 6.10 Optimalizované uspořádání pracoviště skládání v 1. poli (vlastní zpracování)

V původním stavu byly vždy před začátkem skládáním zavezeny všechny dopravní stoly se segmenty plechů potřebných pro sestavení daného stroje, což vyžadovalo vyhrazení velké plochy pro skladování jak v lisovně, tak i na pracovišti skládání. Nový způsob přepravy segmentů plechů nabízí možnost pružnějšího zásobování, jelikož na převoz segmentů plechů stačí pouze jeden pracovník a elektrický tahač. Pro zásobování segmenty plechů je navrženo použití metody Kanban, která je již používaná během jiných procesů v podniku. Tok kanbanových karet bude probíhat skrz tři hlavní stanoviště. Prvním stanovištěm je pořadač na pracovišti skládání v 1. poli, do kterého se vloží kanbanové karty s vyplněným číslem zakázky a požadovaným typem statorových plechů. Tento pořadač je kontrolován pracovníkem interní logistiky. V případě, že se v něm nachází požadavek od zákazníka v podobě vyplněné kanbanové karty, je tato karta převezena na druhé stanoviště nacházející se v lisovně a vložena do příslušného pořadače. Z toho je vyjmuta pracovníky lisovny, kteří zpracují požadavek zákazníka a připraví vozíky se segmenty plechů pro expedici. Na vozíky je umístěna kanbanová karta, která je společně s vozíky znovu odvezena na pracoviště skládání v 1. poli. Zde je kanbanová karta, po spotřebování segmentů plechů, přesunuta do třetího stanoviště v podobě zásobníku, ze kterého je možné kartu znovu vzít a zadat nový požadavek v případě potřeby dalších zásob.



Obr. 6.11 Tok kanbanových karet (vlastní zpracování)

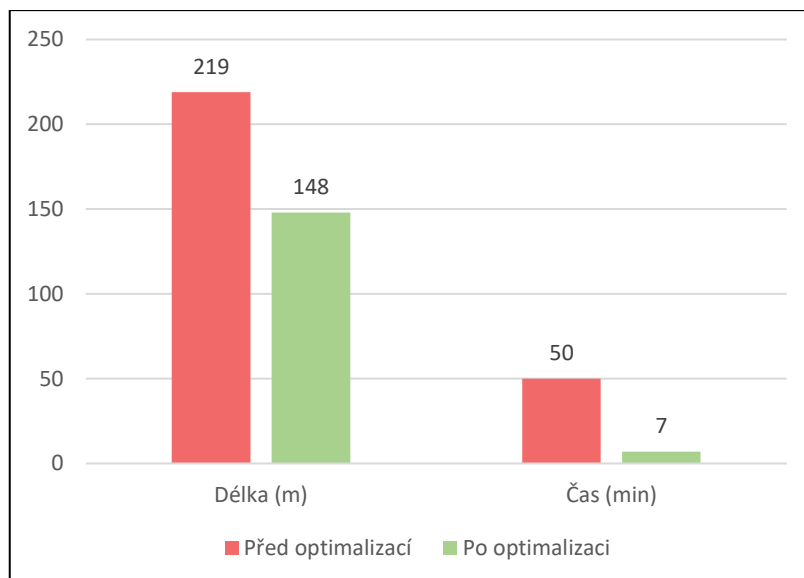


Obr. 6.12 Kanbanová karta (převzato z [21])

Výsledkem této optimalizace je především zkrácení dráhy a času potřebného pro závoz segmentů statorových plechů. Podstatně je také snížena plocha pro skladování segmentů plechů jak v lisovně, tak i na pracovišti skládání, jelikož je možné vyrábět v menších sériích a ty snáze přepravit na místo spotřeby. V tabulce 6.2 je porovnán stav před a po optimalizaci, jehož část je následně graficky zobrazena v grafu na Obr. 6.13.

Tab. 6.2 Porovnání stavu před a po optimalizaci

	Před optimalizací	Po optimalizaci	Úspora
Délka	219 m	148 m	32 %
Čas	50 min	7 min	86 %
Počet skladovaných palet v 1. poli	46 ks	9 ks	80 %
Plocha skladovacího prostoru v 1. poli	66 m ²	34 m ²	48 %



Obr. 6.13 Porovnání stavu před a po optimalizaci (vlastní zpracování)

V původním stavu byly převáženy 4 palety na dráze 219 m. Na nejčastěji vyráběný stroj DAX7 je potřeba přibližně 41 palet, které byly převáženy průměrně na 11 převozů. Při výrobě 50 strojů ročně byla dráha převozu 120,5 km. Doba jednoho převozu trvala průměrně 50 minut. Pro vyrobení 50 strojů ročně byl čas potřebný pro převoz 458,3 hodin. V nově navrženém uspořádání je dráha jednoho převozu 148 m a čas 7 minut. Tímto nově navrženým způsobem je převáženo 41 palet na jeden stroj přibližně 15 krát. Při výrobě 50 strojů ročně je dráha převozu 111 km a celkový čas pro převoz 87,5 hodin. Roční úspora dráhy je 9,5 km a času převozu 370,8 hodin. Při vynásobení uspořené času hodinovou sazbou na jednoho pracovníka, stanovenou na 500 Kč, dojde k ušetření 185 400 Kč ročně. Při pořízení devíti vozíků pro zásobování, dojde k navrácení investice už přibližně za půl roku. [21]

6.4 2. Fáze optimalizace

V této fázi optimalizace je řešen kritický bod označený číslem 3 v kapitole 5.3. Důvodem nutnosti optimalizace je plýtvání ve formě nadbytečné manipulace. Po vylisování a obrobení statorových plechů, ať už manuálním nebo automatickým lisem, jsou jednotlivé segmenty naskládány na přepravní paletu, kterou je potřeba mostovým jeřábem přemístit z lisu na místo určené ke skladování či na přepravní prostředek, pomocí kterého se budou všechny palety se segmenty plechů převážet na pracoviště skládání. Paleta s plechy je vždy přemísťována po jedné pomocí mostového jeřábu ze země dálkovým ovládním. Toto provádí pracovník, který má v dané směně na starost samotnou výrobu plechů lisovacím zařízením. Ve chvíli, kdy pracovník přemísťuje paletu, tak je pozastavena výroba plechů včetně většiny blízkých činností v lisovně, jelikož pracovníci musí dbát zvýšené pozornosti. Palety s plechy jsou navíc přemísťovány na skladovací plochu přes velkou část pracoviště, z důvodu neefektivně rozvrženého uspořádání na pracovišti.

Toto vylepšení se řídí především principem redukce práce popsáném v kapitole 1.3.2. Manipulace s materiálem obecně nepřidává žádnou hodnotu produktu, avšak je dosti nákladnou položkou. V tomto případě je možné docílit sloučením podprocesů úplné eliminace plýtvání nadbytečnou manipulací.

Základem návrhu pro optimalizaci tohoto kritického bodu je uzpůsobení pracoviště ve formě změny umístění skladovací plochy pro palety se segmenty plechů tak, aby se tato skladovací plocha nacházela v těsné blízkosti manuálního i automatického lisu. Jednotlivě vyražené a obrobené segmenty plechů se budou stejným způsobem pokládat na palety, ale palety budou přímo nakládány pomocí dopravníku na přepravní vozíky zavedené v první fázi optimalizace. Docílí se tím úplného odstranění operace přemísťování palet pomocí mostového jeřábu.

Skladovací prostor v blízkosti lisů bude uzpůsoben tak, aby bylo možné naložit několik vozíků po sobě paletami a následně tyto vozíky odtáhnout tahačem přímo na pracoviště skládání plechů. Je také nutné vytvořit skladovací plochu pro vozíky, které by musely být uskladněny například z důvodu zpoždění odtahu elektrickým tahačem. Zamezí se tak situaci, kdy by bylo nutné pozastavit výrobu segmentů plechů z důvodu vzniku úzkého místa v průběhu celého procesu. Skladovací plocha bude vytvořena za pomoci již zavedených

zásad pro tvorbu podlahových layoutů, kde bude použita především zelená páska, jelikož se jedná o skladování mobilních zařízení. Tvorba layoutů skladovací plochy pro vozíky musí být podřízena stávajícímu umístění lisů, jelikož se jedná o objemná a těžká zařízení, která nelze bez nutnosti vynaložení vysokých nákladů přemístit. Skladovací plocha též nesmí narušit průchodnost lisovnou.

Výsledkem této optimalizace bude především zkrácení času potřebného k vyrobení segmentů plechů a jejich následnému připravení k odvozu na pracoviště skládání po zadání požadavku v tahovém systému Kanban. Dojde tak ke zvýšení pružnosti výroby a bude podpořen systém Just in Time, jelikož bude možné lépe načasovat výrobu a následné zavezení plechů na pracoviště skládání.

Ve stavu před optimalizací trvá převoz jedné palety průměrně 5 minut. První je potřeba přesunout mostový jeřáb, který je používán v celém prostoru lisovny, na konkrétní místo, kde se nachází palety s plechy, k těmto paletám připevnit popruhy mostového jeřábu a následně palety přemístit do skladovacího prostoru. Při přemísťování palet mostovým jeřábem vznikají další ztráty, jelikož pracovníci vykonávající jiné činnosti v lisovně musí často zanechat své práce a dbát zvýšené pozornosti. Tyto ztráty je obtížné vyčíslit, jelikož v lisovně se vykonává mnoho jiných činností, které se liší např. dle denní doby nebo fáze výroby a nejsou přímo závislé na výrobě a přemísťování segmentů plechů. Avšak zavedením této optimalizace se tyto ztráty zcela eliminují, a navíc dojde ke zvýšení bezpečnosti na pracovišti.

Nejvíce vyráběným typem turbogenerátoru je DAX7, na jehož magnetický obvod statoru je potřeba přibližně 28 800 segmentů elektroplechů. Na jednu paletu se se nakládá průměrně 700 segmentů. Na složení magnetického obvodu statoru je potřeba převézt zhruba 41 palet. Zavedením této optimalizace dojde k ušetření 205 minut při výrobě jednoho produktu. V případě vyrobení 50 turbogenerátorů ročně bude ušetřeno 171 hodin. Při vynásobení ušetřeného času 500 Kč, což je stanovená hodinová sazba na jednoho pracovníka lisovny, dojde tak k ušetření 85 500 Kč ročně. Ušetřením 171 hodin ročně bude uspořeno 30 pracovních dní jednoho zaměstnance, jehož roční časový fond je 2080 pracovních hodin.

[21]

Cena nového dopravníku pro jeden lis včetně montáže a uzpůsobení potřebám navrženého zlepšení byla po konzultacích s pracovníky oddělení trvalého zlepšování stanovena na částku 70 000 Kč. Návržnost investice této optimalizace je přibližně 299 dní. Automatická lisovací linka už ale v současnosti válečkovým dopravníkem disponuje, a tudíž by se jednalo pouze o modifikaci stávajícího dopravníku tak, aby bylo možné nakládat palety se segmenty plechů přímo na vozíky. Počáteční investice této optimalizace v případě automatické lisovací linky by tak byla nižší. Přibližná cena modifikace je 30 000 Kč a k návratu investic by došlo už během 128 dní. [21]



Obr. 6.14 Válečkový dopravník automatické lisovací linky (vlastní zpracování)

7 Zhodnocení přínosů navržených zlepšení

Prvním návrhem na optimalizaci, popsaným v kapitole 6.2, je zefektivnění využívání plochy pro skladování rolí ve formě svitků s elektroplechy před tím, než jsou použity ve výrobě. Navrženým zlepšením je docíleno snížení plochy potřebné pro skladování o 6,3 % a zároveň je zvýšen počet svitků které lze na této ploše uskladnit o 15 z původních 48 na 63 kusů, což je zvýšení o 24 %.

Druhým návrhem na zlepšení nazývaným jako 1. fáze optimalizace je optimalizován způsob, jakým jsou segmenty elektroplechů umístěných na paletách zaváženy z lisovny na pracoviště skládání nacházející se v 1. poli haly Gigant. Obsahem návrhu je změna způsobu zavážení v podobě nového přepravního prostředku, optimalizace prostorových uspořádání v lisovně a na pracovišti skládání a zavedení systému Kanban. Po zavedení těchto optimalizací je možné vyrábět s vyšší pružností v menších sériích čímž je možné snížit plochy pro skladování palet se segmenty plechů na obou pracovištích. Sníženy jsou také čas a dráha potřebné pro převoz z lisovny na pracoviště skládání. Navržením nové trasy a způsobu zavážení je docíleno úspory vzdálenosti o 32 % a času o 86 % (viz Tabulka 6.2).

Třetí návrh na zlepšení je nazýván jako 2. fáze optimalizace, a to z důvodu, že je navrženo další zlepšení procesu z 1. fáze. Podrobně je toto vylepšení popsáno v kapitole 6.4. V tomto kroku optimalizace je navrženo řešení problému, kdy dochází k plýtvání vlivem nadbytečné manipulace, která bude zcela eliminována sloučením dvou operací do jedné. Návrh optimalizovaného stavu spočívá v nakládání palet se segmenty plechů po obrobení manuálním či automatickým lisem přímo na vozíky zavedenými v 1. fázi optimalizace pomocí válečkového dopravníku. Dojde tak k úplnému vynechání kroku, kdy musely být palety se segmenty plechů přemisťovány po jedné na přepravní prostředek. Zároveň je navrženo nové uspořádání pracoviště, ve kterém se skladovací plocha pro vozíky s paletami nachází v těsné blízkosti obráběcích zařízení. Zavedením tohoto vylepšení dojde k úspoře 205 minut u výroby segmentů plechů potřebných na složení jednoho nejčastěji vyráběného stroje. V případě výroby 50 turbogenerátorů ročně je přibližná úspora 171 hodin.

Pro další optimalizaci v budoucnu lze použít způsob převážení segmentů statorových plechů pomocí vozíků zavedených v 1. fázi optimalizace a aplikovat jej na zavážení ventilačních vložek, které jsou také vyráběny v lisovně. Ventilační vložky jsou speciálním

druhem statorového plechu, který je vkládán mezi obyčejné segmenty statorových plechů při skládání magnetického obvodu statoru za účelem snížení provozních teplot vzduchem chlazených turbogenerátorů. Druhým návrhem pro budoucí optimalizaci pracoviště je nahrazení malého kolejového vozíku, který se nachází mezi 1. a 2. polem haly Gigant a v současnosti je využíván jen zřídka. Problémem je, že koleje pro jeho pohyb jsou umístěny v jedné z hlavních uliček mezi pracovišti. Tyto koleje komplikují pohyb jak pracovníkům, tak i jiným přepravním prostředkům po této uličce. Často také dochází k situaci, kdy je potřeba malý kolejový vozík přesouvat naprázdno, aby nepřekážel při převozu materiálů mezi pracovišti pomocí jiných přepravních prostředků.

Závěr

Cílem práce bylo popsat metody pro optimalizaci prostorového uspořádání pracoviště, analyzovat jeho současný stav a na základě zjištěných kritických bodů navrhnout opatření pro jejich zlepšení v podniku BRUSH SEM s.r.o. Pro analýzu byl vybrán proces při výrobě statoru, který zahrnuje příjem materiálu, vyražení a obrobení statorových plechů a následný převoz na pracoviště, kde jsou segmenty plechů skládány za účelem vytvoření magnetického obvodu statoru. Tento proces se odehrává zejména na dvou pracovištích, kterými jsou lisovna a pracoviště pro skládání statorových plechů nacházející se v 1. poli výrobní haly. V předložené práci je ukázáno, že pro navržení efektivní optimalizace prostorového uspořádání pracoviště je nutné nahlížet na problém v širších souvislostech, jako je celkové uspořádání výroby, tok hodnot či způsob manipulace s materiálem.

V teoretické části práce byly nejprve popsány obecné poznatky z oblasti výroby, které jsou potřebné pro pochopení problematiky uvedené v dalších částech práce. Dále byla charakterizována specifika různých druhů prostorových uspořádání, které je možné použít s ohledem na objem a varietu vyráběného produktu. Taktéž byly představeny zásady pro tvorbu prostorového uspořádání a fáze plánování. Poslední kapitola v teoretické části byla věnována metodám zabývajícím se optimalizací prostorového uspořádání. Byly zde uvedeny techniky používající různé přístupy k optimalizaci a skládající se pouze z několika kroků až po ty, které jsou velice komplexní.

Praktická část práce začíná představením společnosti BRUSH SEM s.r.o., kde byl stručně popsán její vývoj, historie, portfolio, výrobní základna a výrobní proces. Dále zde byl analyzován současný stav vybraného procesu a pracoviště. Zahrnut je zde popis vstupních výrobních faktorů na pracovišti, průběhu procesu a výstupů. Závěrem této části práce byly stanoveny tři kritické body se stručným návrhem na optimalizaci. Poslední část práce byla věnována podrobnému popisu návrhů pro optimalizaci prostorového uspořádání pracovišť včetně uvedení použitých metod, postupů a zhodnocení přínosů navržených zlepšení.

V první optimalizaci jsem navrhl zefektivnění využívání plochy pro skladování rolí ve formě svitků s elektroplechy. Tímto návrhem bylo docíleno snížení plochy potřebné pro skladování o 6,3 % za současného zvýšení počtu rolí, které lze na této ploše uskladnit o 24 %. Manipulace s rolemi elektroplechů je po optimalizaci také rychlejší, jelikož došlo ke zkrácení dráhy potřebné pro převoz rolí ke stroji. V druhém návrhu na zlepšení jsem se zaměřil na optimalizování způsobu, jakým jsou obrobené segmenty elektroplechů převáženy z lisovny na pracoviště skládání statorových plechů. Navržením nové trasy, uspořádáním pracoviště pro skladování a způsobem zavážení bylo docíleno úspory vzdálenosti nutné k převozu mezi pracovišti o 32 % a času o 86 %. V třetím návrhu jsem se věnoval další optimalizaci prostorového uspořádání v lisovně. Obsahem návrhu je sloučení dvou operací do jedné, čímž dojde k úplné eliminaci plýtvání v podobě nadbytečné manipulace. Optimalizace spočívá v navržení prostorového uspořádání za použití posuvných dopravníků pro ukládání obrobených segmentů plechů přímo na vozíky zavedené v druhém návrhu na optimalizaci. Zavedením tohoto zlepšení dojde k úspoře 205 minut u výroby segmentů plechů pro jeden stroj. Roční úspora tak činí přibližně 171 hodin. Za účelem dalších optimalizací byly všechny měření, návrhy a podklady této práce zaznamenány a připraveny pro další použití.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. C.H. Beck pro praxi. ISBN 9788071793199.
- [2] STEVENSON, William J. *Operations management*. 11th ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, c2012. ISBN 978-0-07-352525-9.
- [3] IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen*. Brno: Computer Press, 2005. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0850-3.
- [4] S. ANIL KUMAR a N. SURESH. *Production and operations management with skill development, caselets and cases*. 2nd ed. New Delhi: New Age International, 2006. ISBN 9788122424256.
- [5] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 8086851389.
- [6] HLAVENKA, Bohumil. *Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 9788021436077.
- [7] STEPHENS, Matthew P. a Fred E. MEYERS. *Manufacturing facilities design and material handling*. 4th ed. Boston: Pearson Prentice Hall, c2010. ISBN 978-0135001059.
- [8] MUTHER, Richard. *Systematic layout planning*. 2d ed. [rev. and enl.]. Boston: Cahnners Books, 1973. ISBN 0843608145.
- [9] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Řízení výroby*. Praha, 1999. ISBN 80-7169-578-5.
- [10] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty I*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2871-6.
- [11] CIE GROUP. *Lexikon Metod*. [online]. Poslední změna 2018. [Cit. 29.3.2018]. Dostupné z: <http://www.cie-group.cz/lexikon-metod-pi/>
- [12] Deshapnde, Vivek A. *Plant Layout Optimization using CRAFT and ALDEP Methodology*. Productivity Journal by National Productivity Council, Volume 57. 2016. ISSN 0032-9924

- [13] MHI. *College Industry Council*. [online]. Poslední změna 2018. [Cit. 6.4.2018]. Dostupné z: <http://www.mhi.org/cicmhe>
- [14] LHOTSKÝ, Oldřich. *Organizace a normování práce v podniku*. Vyd. 1. Praha: ASPI, 2005, 104 s. Lidské zdroje. ISBN 80-735-7095-5.
- [15] ŠTŮSEK, Jaromír. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. Vyd. 1. Praha: C. H. Beck, 2007, xi, 227 s. C. H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-534-6.
- [16] BRUSH SEM s.r.o. *O nás*. [online]. Poslední změna 2018. [Cit. 7.4.2018]. Dostupné z: <http://www.brush-sem.cz/o-nas>
- [17] BRUSH SEM s.r.o. *Site Facilities Brochure*. [online]. Poslední změna 2018. [Cit. 7.4.2018]. Dostupné z: <http://www.brush-sem.cz/soubory/Facilities.pdf>
- [18] KOŠTURIÁK, Ján. *Kaizen: osvědčená praxe českých a slovenských podniků*. Brno: Computer Press, 2010. Praxe manažera (Computer Press). ISBN 9788025123492.
- [19] BAUER, Miroslav. *Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. Brno: BizBooks, 2012. ISBN 9788026500292.
- [20] HIROYUKI, H. *5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště*. Brno: SC&C Partner, c2009. Shopfloor series. ISBN 978-80-904099-1-0.
- [21] BRUSH SEM s.r.o. Poskytnuté interní informace a dokumenty.
- [22] MindTools. *Plan-Do-Check-Act (PDCA)*. [online]. Poslední změna 2018. [Cit. 10.4.2018]. Dostupné z: https://www.mindtools.com/pages/article/newPPM_89.htm
- [23] Digite. *What is Kanban*. [online]. Poslední změna 2018. [Cit. 10.4.2018]. Dostupné z: <https://www.digite.com/kanban/what-is-kanban/>

Přílohy

Příloha A – Tabulka vztahů. Převzato z [8]

RELATIONSHIP CHART

Plant (Company) _____ Project _____
 Source - Reference _____ Date _____ Charted by _____

This block shows relation between "1" and "3"

Importance of relationship (top)

Reasons in code (below)

"Closeness" Rating

Value	CLOSENESS	Color	No. of Ratings
A	Absolutely Necessary	RED	
E	Especially Important	OR-YEL	
I	Important	GREEN	
O	Ordinary Closeness OK	BLUE	
U	Unimportant	U	
X	Not desirable	BROWN	
Total = $\frac{N \times (N-1)}{2}$		=	

Code	REASON
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	

Dept. Date	Sign "OK"	Dept. Date	Sign "OK"

Notation References

a	_____
b	_____
c	_____
d	_____
e	_____
f	_____
g	_____

Příloha B – Mapa areálu BRUSH SEM s.r.o. Převzato z [21]



Mapa areálu



Příloha C – Měření v podniku pro návrh optimalizace prostorového uspořádání

		Převoz a manipulace se statorovýmí plechý				Původní stav		Optimalizovaný	
		Popis úkonů		Kam	Jak	metry	čas (min)	metry	čas (min)
Převoz z lisovny do 1. pole	Odkud (kde)	Co							
	Lisovna sklad. prostor	Stoly č. 1,2	Kolej Výpravny 4. pole	VZV	10	10			
	Kolej Výpravny 4. pole	Stoly č. 1,2	Kolej Výpravny 2. pole	Kolej. vůz	50	10			
	Kolej Výpravny 2. pole	Stoly č. 1,2	Václavák 2. pole	Jeřáb	90	15			
	Václavák 2. pole	Stoly č. 1,2	Václavák 1. pole	Kolej. vůz	20	5			
	Václavák 1. pole	Stoly č. 1,2	Sklad. prostor skládání 1.	Jeřáb	49	10			
	Sklad. prostor skládání 1.	Rozpáskování plata č. 4		1 človek		3			3
	Sklad. prostor skládání 1.	Zajištění plechů č. 4		1 človek		3			3
	Sklad. prostor skládání 1.	Plné plato č. 4	Pracoviště skládání	Jeřáb	5	5	5	5	5
	Pracoviště skládání	Prázdné plato č. 4	Sklad. prostor skládání 1.	Jeřáb	5	5	5	5	5
Manipulace s paletami na pracovišti skládání	Sklad. prostor skládání 1.	Rozpáskování plata č. 3		1 človek		3			3
	Sklad. prostor skládání 1.	Zajištění plechů č. 3		1 človek		3			3
	Sklad. prostor skládání 1.	Plné plato č. 3	Pracoviště skládání	Jeřáb	5	5	5	5	5
	Pracoviště skládání	Prázdné plato č. 3	Sklad. prostor skládání 1.	Jeřáb	5	5	5	5	5
	Pracoviště skládání	Sundání stolu č. 2 ze stolu č. 1	Pracoviště skládání	Jeřáb	2	2			
	Sklad. prostor skládání 1.	Rozpáskování plata č. 2		1 človek		3			3
	Sklad. prostor skládání 1.	Zajištění plechů č. 2		1 človek		3			3
	Sklad. prostor skládání 1.	Plné plato č. 2	Pracoviště skládání	Jeřáb	5	5	5	5	5
	Pracoviště skládání	Prázdné plato č. 2	Sklad. prostor skládání 1.	Jeřáb	5	5	5	5	5
	Sklad. prostor skládání 1.	Rozpáskování plata č. 1		1 človek		3			3
Převoz z 1. pole do lisovny	Sklad. prostor skládání 1.	Zajištění plechů č. 1		1 človek		3			3
	Sklad. prostor skládání 1.	Plné plato č. 1	Pracoviště skládání	Jeřáb	5	5	5	5	5
	Pracoviště skládání	Prázdné plato č. 1	Sklad. prostor skládání 1.	Jeřáb	5	5	5	5	5
	Pracoviště skládání	Stůl č. 2 na stůl č. 1	Prostor lisovny	Jeřáb	2	2			
	Sklad. prostor skládání 1.	Stoly č. 1,2	Václavák 1. pole	Jeřáb	49	10			
	Václavák 1. pole	Stoly č. 1,2	Václavák 2. pole	Kolej. vůz	20	5			
	Václavák 2. pole	Stoly č. 1,2	Kolej Výpravny 2. pole	Jeřáb	90	15			
	Kolej Výpravny 2. pole	Stoly č. 1,2	Kolej Výpravny 4. pole	Kolej. vůz	50	10			
	Kolej Výpravny 4. pole	Stoly č. 1,2	Lisovna sklad. prostor	VZV	10	10			
	Prostor lisovny	Vozík č. 1, 2, 3 s platy	Pracoviště skládání	El. tahací			148	7	7
Převoz vozíky	Pracoviště skládání	Vozík č. 1, 2, 3 s platy	Prostor lisovny	El. tahací			148	7	7

Příloha D – Kombinace metody šachovnicové tabulky a tabulky vztahů

	Lisovna - sklad. prostor svítky	Převracečka svítků	Manuální lis	Automatický lis	Lisovna - sklad. prostor segmenty	Lisovna - sklad. prostor prázdné vozíky	1. Pole - sklad. prostor segmenty	1. Pole - pracoviště skládání	1. Pole - sklad. prostor prázdné vozíky
Lisovna - sklad. prostor svítky									
Převracečka svítků	1								
Manuální lis	2	1							
Automatický lis	2	1	2						
Lisovna - sklad. prostor segmenty	4	4	1	1					
Lisovna - sklad. prostor prázdné vozíky	4	4	2	2	1				
1. Pole - sklad. prostor segmenty	4	4	3	3	1	4			
1. Pole - pracoviště skládání	4	4	3	3	4	4	1		
1. Pole - sklad. prostor prázdné vozíky	4	4	3	3	4	4	2	1	

Označení Barvou	Blížkost
	Důležité
	Vhodné
	Nedůležité
	Nežádoucí

Číslo	Důvod
1	Přímý tok výrobních faktorů
2	Přidružený proces
3	Komfort práce (např. vysoký hluk)
4	Jiné