

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T007 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh prostorového uspořádání při změně výrobního programu

Autor: **Bc. Robert PRIBOL**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2016/2017

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

Jméno a příjmení: Bc. Robert PRIBOL
Osobní číslo: S14N0019P
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Průmyslové inženýrství a management
Název tématu: Návrh prostorového uspořádání při změně výrobního programu
Zadávací katedra: Katedra průmyslového inženýrství a managementu

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

1. Prostorové uspořádání a možnosti jeho tvorby
2. Parametry a kritéria prostorového uspořádání
3. Analýza výrobního systému
4. Ověření výrobních kapacit a návrh prostorového uspořádání
5. Hodnocení efektů a porovnání variant prostorového uspořádání výrobního systému
6. Závěrečné zhodnocení

Rozsah grafických prací: 0 výkresů
Rozsah kvalifikační práce: 50 - 70 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. KOŠTURIAK, J. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. 397 s. ISBN 80-7100-553-3
2. HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty*, I. vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6
3. ROBESON, J. F., COPACINO, W. C. *The logistics Handbook*. New York: Free Press, 2011. 974 s. ISBN 978-1451665697
4. ŠIMON, M., TRNKOVÁ, L. *Logistika - teoretická část, e book*. Plzeň: SmartMotion, 2013. ISBN 978-80-87539-35-4
5. MILLER, A., BUREŠ, M., ŠRAJER, V., PEŠL, J. *Projektování výrobní základy - teoretická část, e book*. Plzeň: SmartMotion, 2013. ISBN 978-80-87539-30-9

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Konzultant diplomové práce: **Michal Zoubek**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Datum zadání diplomové práce: **19. září 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem lidem, kteří mi s prací pomáhali. Mé poděkování patří především Ing. Michalovi Zoubkovi za poskytnutá data a rady při konzultacích. Také bych rád poděkoval rodině, která mě při studiu neustále podporovala.

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení PRIBOL	Jméno Robert	
STUDIJNÍ OBOR	2301T007 Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Šimon, Ph.D.	Jméno Michal	
PRACOVISTĚ	ZČU – FST – KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh prostorového uspořádání při změně výrobního programu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODE- VZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	76	TEXTOVÁ ČÁST	67	GRAFICKÁ ČÁST	9
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce se zabývá návrhem prostorového uspořádání výrobního systému pro výrobu formulí. V teoretické části jsou popsány pravidla postupování při návrhu. V části praktické je pak návrh uskutečněn a je představeno optimální řešení.
KLÍČOVÁ SLOVA	Layout, návrh, prostorové uspořádání, optimální řešení, výrobní systém, materiálový tok, Formula SAE

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname PRIBOL	Name Robert	
FIELD OF STUDY	2301T007 Industrial Engineering and Management		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Šimon, Ph.D.	Name Michal	
INSTITUTION	ZČU – FST – KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Layout design due to production program changes		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	76	TEXT PART	67	GRAPHICAL PART	9
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	The diploma thesis deals with layout design of production system for racing cars. The theoretical part describes the rules of the design process. These rules are used in the practical part for the layout design. Finally, the optimal solution is presented.
KEY WORDS	Layout design, optimal solution, production system, material flow, Formula SAE

OBSAH

Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	11
Úvod.....	12
1 Prostorové uspořádání a možnosti jeho tvorby	13
1.1 Definice výrobního systému.....	13
1.2 Druhé členění výroby	15
1.2.1 Výrobní typy podle programu	15
1.2.2 Výrobní typy podle procesu	15
1.2.3 Výrobní typy podle použití vstupů.....	16
1.3 Dispoziční řešení výrobního systému.....	16
1.4 Systémové pojetí tvorby výrobní základny	17
1.5 Charakteristika layoutu.....	19
1.6 Typy prostorového uspořádání	20
1.6.1 Technologické uspořádání.....	21
1.6.2 Předmětné uspořádání.....	21
1.6.3 Buňkové uspořádání	22
1.7 Nástroje pro tvorbu layoutů.....	23
1.8 Možnosti a pravidla projektování.....	25
1.8.1 Obecný postup při návrhu výrobní základny.....	25
1.8.2 Pravidla tvorby výrobního systému.....	26
1.8.3 Rozdíly mezi navrhováním.....	27
2 Parametry a kritéria prostorového uspořádání.....	29
2.1 Parametry konkurenceschopnosti	29
2.1.1 Náklady.....	29
2.1.2 Kvalita výrobků	30
2.1.3 Dodací lhůty	30
2.1.4 Pružnost reagování a rozhodování.....	30
2.2 Základní parametry layoutu.....	30
2.3 Materiálový tok	31
2.3.1 Materiál.....	31
2.3.2 Trasy	32
2.3.3 Tok materiálu.....	32
3 Analýza výrobního systému	34
3.1 Soutěž Formula SAE	34
3.2 UWB Racing team Pilsen.....	35
3.3 Rozbor a analýza vstupních dat.....	36

4	Ověření výrobních kapacit	38
4.1	Roční časové fondy	38
4.1.1	Roční časový fond stroje	38
4.1.2	Roční časový fond dělníka	39
4.1.3	Roční časový fond pracoviště.....	39
4.2	Časové ohodnocení.....	40
4.2.1	Čas hlavní	40
4.2.2	Čas vedlejší.....	40
4.2.3	Čas přípravy a zakončení:	40
4.2.4	Čas operační	40
4.2.5	Čas kusový.....	40
4.2.6	Počet kusů.....	41
4.2.7	Velikost výrobní dávky	41
4.2.8	Počet výrobních dávek.....	41
4.2.9	Čas celkový	41
4.3	Kapacitní výpočty strojů a pracovníků.....	42
4.3.1	Počet strojů	42
4.3.2	Zaměstnanci.....	43
4.4	Prostorové propočty.....	44
4.4.1	Výrobní strojní plocha	44
4.4.2	Měrná plocha	44
4.4.3	Výrobní plochy	45
4.4.4	Pomocné plochy	45
4.4.5	Celková provozní plocha	45
4.4.6	Plocha správní	46
4.4.7	Plocha šaten	46
4.4.8	Plochy sprch a toalet.....	46
5	Návrh prostorového uspořádání	49
5.1	Varianty uspořádání.....	49
5.1.1	Koncept 1.....	51
5.1.2	Koncept 2.....	52
5.1.3	Vyhodnocení koncepčních variant	54
5.2	Postup při návrhu layoutu.....	54
5.3	Optimální řešení	64
5.4	Shrnutí	64
	Závěr.....	65
	Seznam použité literatury	66
	Seznam příloh.....	67

Seznam obrázků

Obrázek 1-1 Výrobní systém (zjednodušeně)	13
Obrázek 1-2 Výrobní systém – podsystémy.....	14
Obrázek 1-3 Layout ve 2D a 3D.....	17
Obrázek 1-4 Systémové pojetí.....	18
Obrázek 1-5 Pracoviště a jeho vazby k prvkům	18
Obrázek 1-6 Základní rozdělení strojů a zařízení.....	19
Obrázek 1-7 Rozdělení ploch haly	20
Obrázek 1-8 P-Q diagram.....	20
Obrázek 1-9 Technologické uspořádání pracovišť	21
Obrázek 1-10 Předmětné uspořádání pracovišť	22
Obrázek 1-11 Buňkové uspořádání pracovišť	23
Obrázek 1-12 Prostorové uspořádání ve 2D - visTABLE.....	24
Obrázek 1-13 Prostorové uspořádání ve 3D - visTABLE.....	24
Obrázek 1-14 Vzdálenost strojů od dopravní cesty a při vícestrojové obsluze.....	26
Obrázek 1-15 Vzdálenost mezi stroji	26
Obrázek 1-16 Vzdálenost strojů od stěn.....	26
Obrázek 1-17 Manipulační uličky a dopravní cesta	27
Obrázek 1-18 Druhy návrhu projektu layoutu.....	28
Obrázek 2-1 Působení kvality layoutu na parametry konkurenceschopnosti.....	29
Obrázek 2-2 Sankeyův diagram	32
Obrázek 2-3 I-D diagram.....	33
Obrázek 3-1 Hromadné foto na závodě.....	34
Obrázek 3-2 UWB Racing Team Pilsen v Maďarsku	35
Obrázek 3-3 Závodní monopost týmu UWB Racing	36
Obrázek 3-4 Rozdělení monopostu podle systémů	36
Obrázek 5-1 Uspořádání pracovišť	49
Obrázek 5-2 Koncepční návrh pro roční produkci 1000 kusů	50
Obrázek 5-3 Koncepční návrh 1	52
Obrázek 5-4 Koncepční návrh 2.....	53
Obrázek 5-5 Dělení materiálu.....	55
Obrázek 5-6 Laminovna	55
Obrázek 5-7 Obrobna	56
Obrázek 5-8 Svařovna	57
Obrázek 5-9 Lakovna	57

Obrázek 5-10 Montáž	58
Obrázek 5-11 Vstupní sklad a expedice	59
Obrázek 5-12 Layout výrobního systému s vyznačenými plochami pracovišť	60
Obrázek 5-13 Layout výrobního systému – materiálové toky	62
Obrázek 5-14 Přepavní výkon.....	63
Obrázek 5-15 I-D diagram.....	63

Seznam tabulek

Tabulka 1-1 Rozměry cesty pro pěší	27
Tabulka 4-1 Časový fond stroje.....	39
Tabulka 4-2 Časový fond dělníka.....	39
Tabulka 4-3 Časové ohodnocení výroby sedačky	41
Tabulka 4-4 Počet strojů - Obráběcí CNC centrum	42
Tabulka 4-5 Počty strojů	42
Tabulka 4-6 Kapacitní propočty výrobních dělníků.....	43
Tabulka 4-7 Dispoziční řešení.....	45
Tabulka 4-8 Rozdíl – Počet strojů	47
Tabulka 4-9 Rozdíly dělníci, úředníci, plocha	48
Tabulka 5-1 Materiálový tok – výfuk.....	61

Úvod

Jak už název práce *“Návrh prostorového uspořádání při změně výrobního programu“* napovídá, hlavním cílem bude navrhnout prostorové uspořádání pro fiktivní výrobní systém. Studenti Západočeské univerzity se každoročně účastní závodů Formula SAE, kde jednou z bodovaných disciplín je také prezentace výrobní haly pro monopost, s kterým tým studentů soutěží. Úkolem je představit výrobní systém pro zvolený výrobní objem. Po průzkumu trhu studenti zjistili, že výrobní objem 1000 kusů za rok, který prezentovali v minulosti na soutěžích, je nereálný. Vyšlo jim totiž, že by bylo možné ročně prodávat *“pouze“* 130 monopostů. Takové zjištění bylo impulsem k řešení této diplomové práce.

Změna výrobního programu je poměrně znatelná, a proto se dá předpokládat, že nově navrhnutá hala bude mít zcela jiné parametry. Podmínkou je však zanechat technologické postupy, stejné typy strojů pro výrobu jednotlivých komponent a know-how. Samotná práce pak bude rozdělena do dvou částí. V první části bude teoreticky popsán postup při navrhování prostorového uspořádání. Při návrhu je důležité postupovat podle ověřených pravidel krok za krokem, čehož budeme po teoretické části schopni. Pak můžeme tyto získané znalosti uplatnit v praktické části při hledání optimálního řešení.

1 Prostorové uspořádání a možnosti jeho tvorby

V této kapitole bude nejprve definován výrobní systém a nastíněno druhové členění výroby. Dále bude představeno dispoziční řešení výrobního systému a systémové pojetí tvorby výrobní základny. Poté bude charakterizován layout a představeny základní typy prostorového uspořádání. Nakonec bude představen nástroj pro tvorbu layoutů viz **TABLE**, ve kterém bude v praktické části práce návrh výrobního systému modelován a pravidla, která je vhodné při projektování respektovat.

1.1 Definice výrobního systému

Na úplný začátek je více než vhodné definovat výrobní systém. Jako vhodná definice výrobního systému byla zvolena definice z katedry Výrobních systémů na Technické univerzitě v Liberci:

„Soubor technických prostředků obsluhovaných lidmi, řízen na základě metod, postupů a principů s cílem přetvářet vstupy na výstupy a naplnit tak vize a strategie firmy.“ [1]

Pro každou firmu je velmi důležité udržet svůj výrobek na trhu a zároveň být konkurenceschopný. Znamená to uspokojovat potřeby zákazníka. Právě výroba slouží k splnění této úlohy, a to pomocí vytváření hmotných výstupů (výrobků) či nehmotných výstupů (služeb), které zákazník žádá. Výrobní systém lze obecně charakterizovat jako technologicky, časově, prostorově, věcně a organizačně jednotné seskupení hmotných zdrojů a pracovních sil určených pro výrobu vybraných produktů. Realizace výroby se uskutečňuje právě pomocí podnikového výrobního systému, který, jak už bylo řečeno, mění vstupy na výstupy transformačním procesem, viz obrázek 1-1.[2]



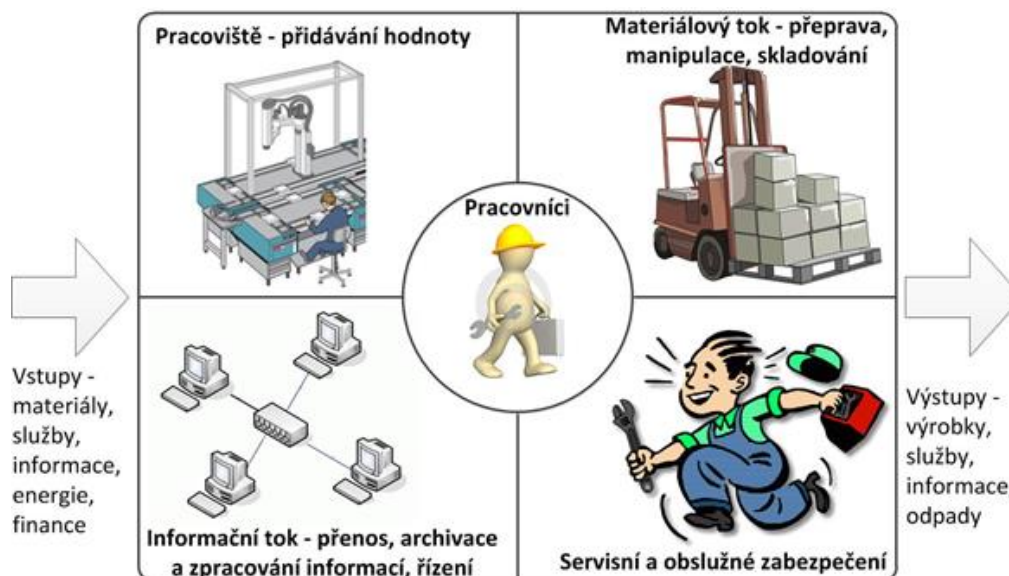
Obrázek 1-1 Výrobní systém (zjednodušeně) [2]

Výrobní systém se dá zjednodušeně popsat třemi elementy, které vidíme na obrázku výše.

- 1) **Vstupy** – vstupem se rozumí výrobní faktor, tvořící fyzickou podstatu výrobního systému. Jako příklady lze uvést pracovní sílu a výrobní prostředky, tvořící výkonový potenciál v procesu. Dále spotřební materiál (suroviny, polotovary atd.), režijní materiál, energie, finance atd.
- 2) **Transformační proces** – přeměňuje vstupy na požadované výstupy. Lze dělit do několika fází, a sice fáze předzhotovující (výroba základních dílů), zhotovující (výroba podsystémů) a fáze dokončující (finální výrobek). Transformační proces je ovlivněn několika faktory, jako např. množstvím výrobních úkonů, vztahy mezi produktivními jednotkami, časem, prostorem atd.
- 3) **Výstupy** – výstupem je samozřejmě produkt požadovaný zákazníkem. Nejčastěji jsou výstupy dvojí povahy, a to materiální a nemateriální (resp. hmotné a nehmotné). Vedle produktů vystupují také informace, odpad, finance atd. [2]

Výrobní systém se skládá ze základních podsystémů, které jsou nezbytné k přeměně vstupů na výstupy, resp. k vytvoření produktu. Na obrázku 1-2 můžeme tyto podsystémy vidět. Popíšme tedy stručně jednotlivé podsystémy:

- **Pracoviště** – Na pracovištích se přidává výrobku hodnota. Jedná se především o stroje či montážní pracoviště.
- **Materiálový tok** – Zabezpečuje přepravu materiálu a hotových výrobků mezi jednotlivými pracovišti, manipulaci na pracovišti a skladování.
- **Informační tok** – Zpracovává informace ze servisního a obslužného zabezpečení (údržba, zásobování, péče o zaměstnance, zpracování odpadů atd.)
- **Pracovníci** – Právě lidský faktor nejvíce ovlivňuje, jak efektivně bude celý systém pracovat. Proto je nutné, aby pracovníci (manažeři, mistři, dělníci atd.) dodržovali interní pravidla, ať už se jedná o bezpečnost práce, komunikaci mezi sebou či organizaci. [3]



Obrázek 1-2 Výrobní systém – podsystémy [2]

Výrobní systémy mají celou řadu vlastností. Pojďme si ale představit dvě základní vlastnosti, které jsou pro každý systém charakterizující. Jsou jimi kapacita výrobního systému a elasticita.

Kapacita

Kapacita je schopnost výkonu výrobní jednotky nebo výrobního systému v daném časovém úseku. Schopnost výkonu je možno popsat kvalitativními a kvantitativními komponenty. Druh a jakost kapacitní jednotky určují její kvalitativní schopnost výkonu. Kvantitativní schopnost výkonu je pak maximální rozsah výkonů, které může kapacitní jednotka za dané období podat.

Elasticita

Jak už název napovídá, jedná se o přizpůsobivost, přestavitelnost či pohyblivost výrobní jednotky, resp. výrobního systému při určité změně. Elasticita má v tomto případě dva aspekty, a to kvalitativní a kvantitativní. Kvalitativní vzniká z možnosti obsazení výrobního systému alternativními druhy použití. Kvantitativní elasticita je schopnost reagovat na změny v objemu výroby. Kvantitativní elasticita výrobního systému je nejčastěji určována tím, jak rychle je možné přestavit pracoviště a přizpůsobit se tak změně. Tato charakteristika je nazývána jako rychlost přizpůsobení. [4]

1.2 Druhé členění výroby

Výrobní systémy, resp. výrobu je možné klasifikovat podle řady kritérií. Kritéria jsou podle systému “vstup – proces – výstup“ děleny podle vztahu k programu, procesu a vstupům. Jednotlivé typy budou nyní stručně představeny.

1.2.1 Výrobní typy podle programu

Podle rozsahu výroby a opakovatelnosti výrobku rozeznáváme tři typy výroby – kusová, sériová a hromadná.

- **Kusová výroba** – Vyrábí se velký počet druhů v malém počtu kusů (max. 10ks). Pro tuto výrobu je nutné vysoké kvalifikace pracovníků, jelikož se vyrábí v nepravidelných časových intervalech na universálních strojích. Jako příklad kusové výroby uveďme závodní motorku.
- **Sériová** – Vyrábí se velké množství stejných výrobků s použitím standardizace (10 – 1mil. ks.). Výroba stejných typů výrobku se provádí v sériích. Na výrobě se podílejí moderní technologie, automaty, roboti atd. Velmi typická je pro sériovou výrobu montážní linka. Tento typ výroby vyžaduje velmi přesné řízení a plánování výroby, včetně logistických úloh. Podle velikosti série se pak sériová výroba dělí na malosériovou, středněsériovou a velkosériovou.
- **Hromadná** – Vyrábí se málo druhů výrobku v téměř “neomezeném“ množství. Dochází k vytváření výrobních linek. Výrobní zařízení je vysoce využito a zpracování výrobku je většinou jednoduché. Na výrobních linkách je zavedena vysoká úroveň automatizace.

Dále je možno dělit podle vlastnosti produktu (druh zboží, tvar a podoba zboží, pohyblivost zboží atd.) [2]

1.2.2 Výrobní typy podle procesu

Zde se jedná především o organizační uspořádání, které bude detailněji představeno v kapitole níže. Základní typy uspořádání jsou následující:

- technologické,
- předmětné,
- pevné,
- buňková výroba,
- pružné výrobní systémy.

Podle míry plynulosti výrobního procesu dělíme na plynulou a přerušovanou výrobu. U plynulé se logicky jedná a nepřetržitou výrobu. U přerušované lze výrobu přerušit a pokračovat jindy.

Podle způsobu odběru dělíme na dávkovou a procesní výrobu, výrobu na zakázku, výrobu na sklad, montáž na zakázku a konstrukci na zakázku.

Podle vazby “vstupní materiál – výstupní produkt“ dělíme na:

- analytický proces – počet nakupovaných materiálů je výrazně nižší než počet finálních výrobků,
- syntetický proces – počet výrobků je nižší než počet materiálů vyráběných komponent,
- analyticko-syntetický proces – výrobek se skládá z omezené množiny komponent,
- materiálově neutrální proces – při výrobě dochází ke změně materiálů, počet se však nemění. [2]

1.2.3 Výrobní typy podle použití vstupů

Dělíme na podíl vstupů a jakost vstupů. Podíl vstupů se vyjadřuje intenzitou druhu vstupu. Jako příklady druhů vstupu mohou být vstupy materiálové, pracovní nebo informační. Pod jakostí vstupu si můžeme představit konstantní či nepravidelnou úroveň vstupu. [2]

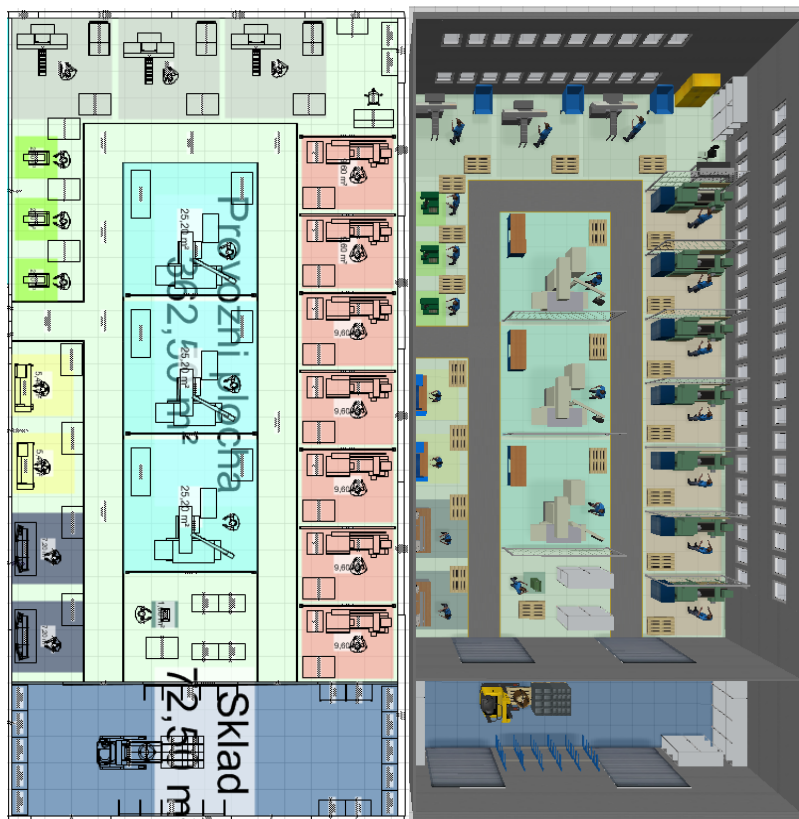
1.3 Dispoziční řešení výrobního systému

V dnešní době, kdy je trh plný konkurence, není jednoduché získat potřebnou klientelu. Podniky musí umět pružně reagovat na přání zákazníka a neustále zvyšovat svoji konkurenceschopnost. Podnik tak musí umět reagovat na impulsy z okolí, neustále snižovat náklady na výrobu a tím i prodejní cenu výrobku, ale na druhou stranu zvyšovat kvalitu produktů, které vyrábí a snižovat průběžnou dobu výroby. Reakce na podněty z okolí si tak často žádá změny ve výrobním programu. Proto je nutné vhodně navrhnout prostorové uspořádání výrobního podniku (layout), respektive dispoziční řešení výrobního systému a mít tak vhodné výrobní a skladovací prostory. Tvorba layoutu je úkolem projektanta. Ten má za úkol navrhnout a vybrat optimální prostorové uspořádání. Jeho úkolem není jen zvolit optimální řešení, ale prostorové uspořádání neustále vylepšovat a přizpůsobit změnám jednotlivých výrobních faktorů, ať už jsou změny malého charakteru anebo změny charakteru velkého, které zásadně ovlivňují celý výrobní systém. [2]

Prostorové uspořádání výrobního systému chápeme jako prostorové rozmístění jednotlivých zdrojů zajišťujících proces výroby. Těmito zdroji mohou být např. výrobní stroje, přepravní jednotky, materiál, polotovary, manipulační jednotky atd. Návrh prostorového uspořádání výrobního systému se musí řídit určitými pravidly, především normami, ergonomií daných pracovišť, velikostí přepravních uliček, délkou a intenzitou materiálových toků apod. Pro zobrazení prostorového uspořádání výrobního systému používáme "layout". Layout můžeme zobrazit ve 2D, čemuž odpovídá půdorys výrobního systému anebo v dnešní době pomocí softwarů určených pro tuto problematiku ve 3D. Jak může takový layout vypadat v obou verzích, je znázorněno na obrázku 1-3.

Projekty navrhování prostorového uspořádání výrobního systému jsou realizovány z několika důvodů. Nejčastěji se však jedná o optimalizaci a racionalizaci prostorového uspořádání nebo, návrh layoutu při změně výrobního programu či výstavba nové haly. Na tomto místě se hodí stručně vysvětlit pojmy racionalizace, optimalizace a layout.

- **racionalizace** – neustálé zdokonalování výrobního systému, které by mělo vést ke zvyšování konkurenceschopnosti. Toho je možno dosáhnout zvýšením produktivity práce, zlepšením ekonomických výsledků podniku nebo např. eliminovat plýtvání.
- **optimalizace** – jedná se o postup vedoucí k výběru nejlepší varianty při zachování vymezených podmínek.
- **layout** – představuje grafické rozvržení, které je v případě výrobního podniku prostorové uspořádání výrobního systému, hala, úsek atd. [2]



Obrázek 1-3 Layout ve 2D a 3D [2]

1.4 Systémové pojetí tvorby výrobní základny

Základem pro efektivní materiálový a informační tok je vhodné rozmístění zdrojů v jednotlivých výrobních a skladovacích halách. Zdroje, jako stroje, pracovníci, zařízení apod., jsou samozřejmě nezbytné pro každou výrobu. Každý výrobní systém se tak skládá z několika navzájem provázaných prvků, které je nutno správně rozmístit, aby systém fungoval efektivně. Prvky systému se dělí na prvky komplexní a nekomplexní. [2]

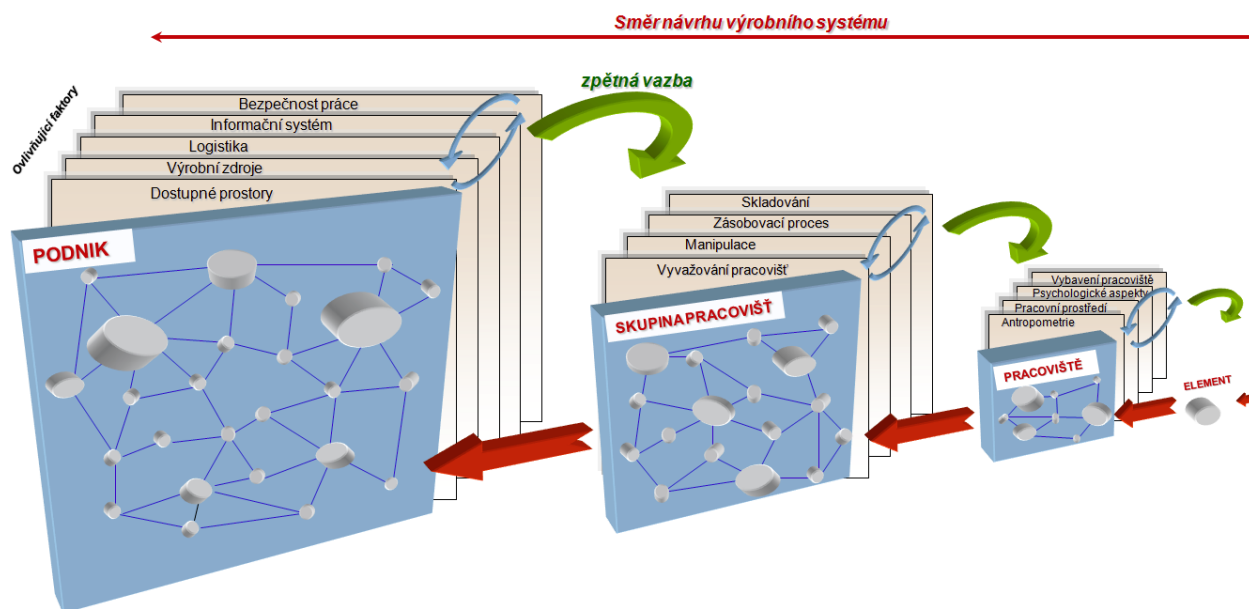
- **Nekomplexní prvky systému:**
 - pracovníci,
 - materiál,
 - polotovary,
 - hotové výrobky,
 - stroje,
 - zařízení.
- **Komplexní prvky systému:**
 - pracoviště,
 - provoz,
 - úsek,
 - dílna,
 - závod.

Mezi jednotlivými prvky výrobního systému pak existují vazby. Díky těmto vazbám je pak možno pochopit logiku výrobního systému a navrhnout tak prostorové uspořádání. Vazbou mezi prvky může být např.:

- technologický postup,
- pracovní postup,

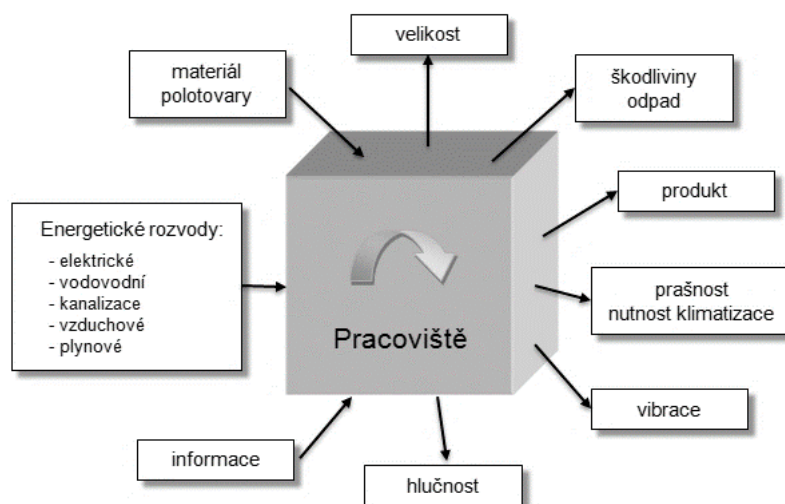
- prostorové vztahy,
- organizační vztahy.

U projektování prostorového uspořádání se vyžaduje systémový pohled zohledňující mnoho faktorů. Systémové pojetí spočívá v hledání řešení od elementárních prvků, jejichž seskupením se dojde k řešení dispozičního rozložení jednotlivých skupin pracovišť, úseků, a nakonec i celého podniku. Princip systémového pojetí je hezky znázorněn na obrázku 1-4.



Obrázek 1-4 Systémové pojetí [2]

Z obrázku je zřejmé, jak při návrhu layoutu postupovat. Nejprve je třeba se zabývat jednoduššími elementy. U těchto elementů se analyzuje jejich funkčnost a efektivita, a to nejen jako samotného prvku, ale i jako článku ovlivňující celou síť. Po vymezení prvků vůči celému systému je důležité určit jejich vazby na ostatní pracoviště (moduly) a infrastrukturu podniku. Spojováním těchto modulů pomocí vstupů a výstupů jednotlivých pracovišť se mohou sestavovat komplexnější celky a tvořit tak skupiny pracovišť, montážní linky, a nakonec i celkový layout. Tuto myšlenku snadněji pochopíme z obrázku 1-5, kde jsou znázorněny veškeré vazby potřebné pro sdružování jednotlivých pracovišť a tvorbu celkového layoutu.



Obrázek 1-5 Pracoviště a jeho vazby k prvkům [2]

Při navrhování výrobního systému je u systémového pojetí důležitá spolupráce logistiků, ergonomů a technologů. Stejně tak je důležité, aby jednotlivé fáze při návrhu výrobního systému byly vzájemně systémově provázány. Díky tomu je možné docílit optimálního uspořádání výrobního systému, které zohledňuje všechny důležité aspekty. Každý systémový přístup by měl obsahovat tři základní kroky viz níže. Jeho další členění je pak závislé na složitosti výrobního systému.

Tři základní kroky při systémovém pojetí:

- 1) Analýza pracoviště (časová racionalizace, uspořádání pracoviště jednotlivce, ergonomie pracoviště apod.)
- 2) Analýza skupiny pracovišť (analýza procesů, dispozice pracovišť, zásobování, meziperační manipulace apod.)
- 3) Analýza celkového layoutu podniku (analýza procesů, materiálové a personální toky apod.)

Optimálně navržený výrobní systém s sebou přináší řadu výhod, jako např. nižší náklady na manipulaci s materiálem a výrobky, efektivní využití prostor, redukci časů výrobního cyklu a doby obsluhy, lepší komunikace mezi pracovníky, lepší využití kapacit, přizpůsobivost měnícím se podmínkám apod. [2]

1.5 Charakteristika layoutu

Základní představu o pojmu layout máme již z předchozí podkapitoly. Nyní bude layout popsán detailněji. Layout se používá k zobrazení prostorového uspořádání výrobního systému. Znázorňuje návrh prostorového uspořádání pracovišť, definuje dopravní cesty a v kombinaci s výrobními postupy určuje materiálové toky, resp. jejich délku, intenzitu a po vynásobení těchto dvou atributů i přepravní výkon. Navrhováním optimálního layoutu se snažíme snížit přepravní výkon, čehož docílíme optimalizací rozmístění výrobních oddělení, pracovních středisek a konfigurací výrobního zařízení. Při navrhování layoutu vycházíme z výrobního programu a jeho druhu (sériová/kusová výroba atd.). Na základě výrobního programu počítáme kapacitní propočty pro určení počtu zaměstnanců, strojů, výrobních a nevýrobních ploch.

- Zaměstnance rozdělujeme především na dělníky, inženýrsko-technické pracovníky a administrativu. Dělníky ještě dále rozdělujeme na výrobní dělníky a pomocné.
- Stroje dělíme na výrobní (veškeré stroje a nástroje potřebné pro zajištění základní výroby v celém výrobním cyklu), pomocné (veškeré stroje a nástroje v pomocné výrobě) a obslužné (stroje a zařízení zajišťující manipulaci s materiálem, stroje a nástroje pro balení materiálu apod.), viz obrázek 1-6.



Obrázek 1-6 Základní rozdělení strojů a zařízení [2]

- Prostory layoutu dělíme podle účelu na několik částí. Nejvíce důležitá je plocha výrobní, kterou dále dělíme na výrobní plochy strojní (strojní pracoviště), ruční (ruční praco-

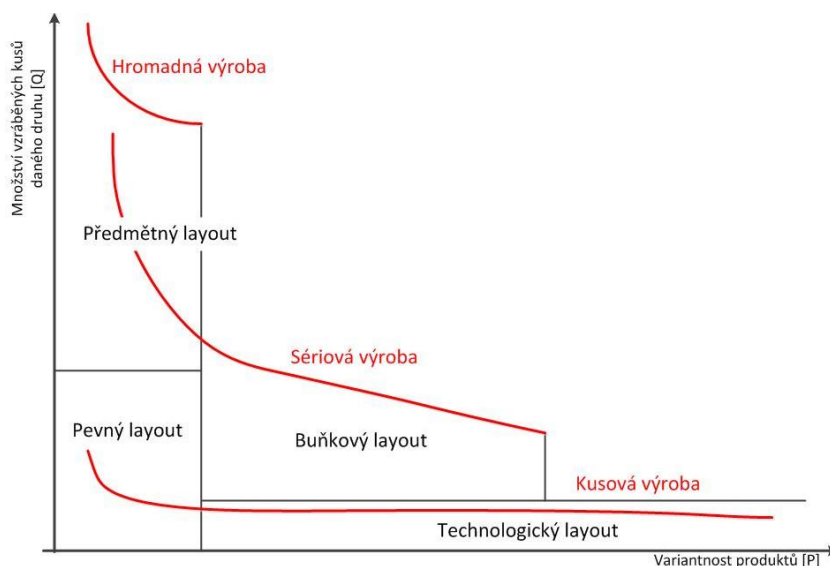
viště) a montážní (montážní pracoviště). Plochu pomocnou tvoří dopravní cesty, pomocné sklady a pomocné plochy. Ve většině výrobních systémech bývají kanceláře THP, vyšší management apod., které patří do plochy správní, a nakonec také plochy sociální, které slouží jako zázemí pro zaměstnance (záchody, šatna, jídelna apod.). Základní rozdělení ploch podniku je znázorněné na obrázku 1-7. [2]



Obrázek 1-7 Rozdělení ploch haly [2]

1.6 Typy prostorového uspořádání

Správné zvolení typu prostorového uspořádání není vždy jednoduchý úkol, avšak velice důležitý. Existují ale určité metody a postupy, resp. osvědčené formy uspořádání výroby, ze kterých je vhodné při návrhu vycházet. Layouty dělíme nejčastěji podle typu výroby. Jedním z častých způsobů určení typu layoutu na základě výroby je P-Q diagram, viz obrázek 1-8.

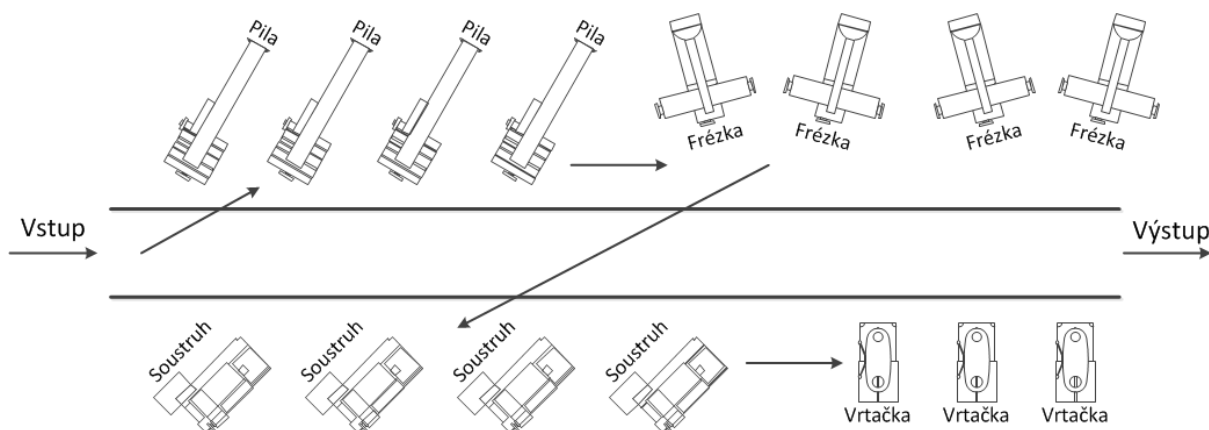


Obrázek 1-8 P-Q diagram [2]

Na obrázku 1-8 vidíme, jak vhodně zvolit jednotlivý typ uspořádání pro různé druhy výroby, a to na základě vyráběných kusů a variability produktů. Je nutné podotknout, že P-Q diagram slouží jen jako odrazový můstek. Návrh musí brát také ohled na rozdílné požadavky a potřeby výroby i zákazníků. Pojďme si nyní stručně představit základní typy uspořádání výroby a jejich výhody a nevýhody.

1.6.1 Technologické uspořádání

Technologické uspořádání pracovišť se vyznačuje tím, že do výrobních úseků jsou zařazována pracoviště se stejnou, nebo blízkou technologickou charakteristikou. Výsledkem pak jsou výrobní úseky, které již svým názvem prozrazují druh technologie, která je v nich realizována. Variabilita produktů je zde velká, a proto není možno určit jednotný směr materiálového toku. S technologickým uspořádáním se setkáváme hlavně u malosériové a kusové výroby. Jak takové uspořádání vypadá, můžeme vidět na obrázku 1-9. [5]



Obrázek 1-9 Technologické uspořádání pracovišť [2]

Technologické uspořádání pracovišť má tyto výhody a nevýhody.

Výhody:

- Malá citlivost na změny výrobního programu
- Možnost vícestrojové obsluhy
- Lepší využití kapacit výrobních strojů a zařízení
- Snadnější údržba
- Malá citlivost na poruchy strojů (stroj se může nahradit sousedním)
- Pružnější výrobní proces (čas, množství)

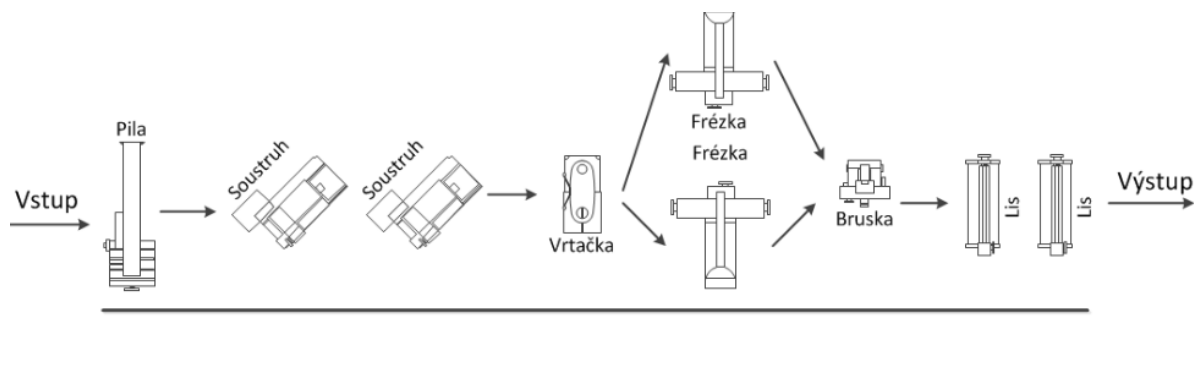
Nevýhody:

- Dlouhé dopravní cesty mezi pracovišti
- Relativně dlouhá průběžná doba výroby
- Ve většině případů potřeba meziskladů
- Velký objem rozpracované výroby (vázané oběžné prostředky)
- Prodloužení výrobního cyklu [5]

1.6.2 Předmětné uspořádání

Předmětné uspořádání pracovišť se vyznačuje tím, že do výrobních úseků jsou zařazována všechna technologická pracoviště, která jsou nutná k výrobě určité části výrobku (skupiny, hlavní skupiny, montážního celku atd.). Výsledkem jsou výrobní úseky (provozy), které již

svým názvem prozrazují předmět své výroby (např. Převodovky, ozubená kola). Při předmětném uspořádání je typické použití linek, které představují prostorově koncentrované uspořádání pracovišť. Předmětné uspořádání pracovišť je typické pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Tento typ uspořádání vidíme na obrázku 1-10.



Obrázek 1-10 Předmětné uspořádání pracovišť [2]

Předmětné uspořádání pracovišť lze charakterizovat těmito vlastnostmi:

Výhody:

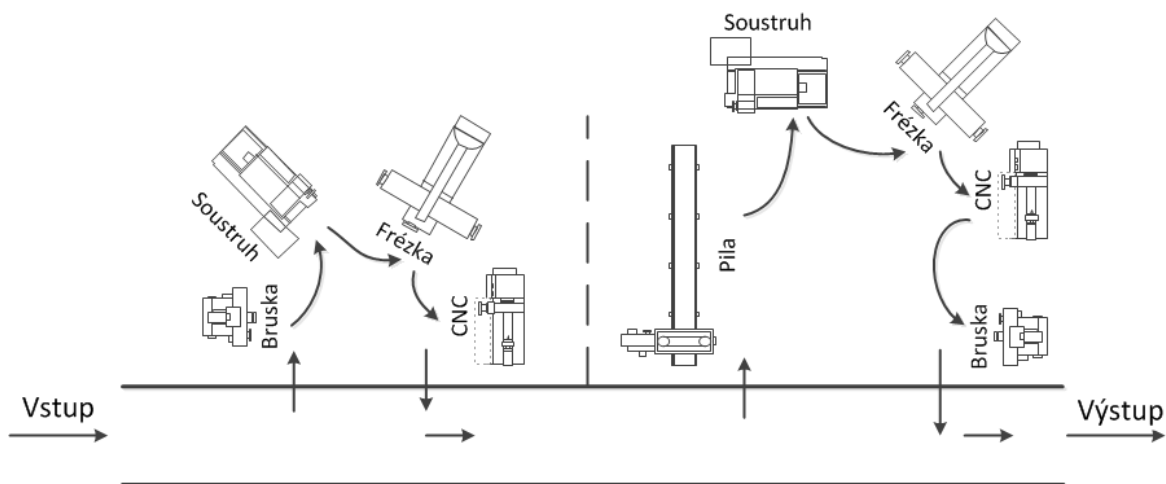
- Krátké dopravní cesty mezi pracovišti
- Krátké průběžné doby výroby
- Nižší objem rozpracované výroby
- Menší potřeba mezikladů
- Menší potřeba výrobní plochy
- Zlepšení operativního řízení výroby

Nevýhody:

- Velká citlivost na změny výrobního programu
- Obtížnost využití volné kapacity
- Náročnost údržby a oprav speciálních a jednoúčelových strojů
- Snížením objemu výroby klesne využití strojů [5]

1.6.3 Buňkové uspořádání

Buňkové uspořádání pracovišť se principem blíží předmětnému uspořádání. Jedná se o seskupení strojů, které vyrábí výrobky s podobnými vlastnostmi. Buňkové uspořádání v sobě kombinuje výhody předmětného a technologického uspořádání. Podobné výrobky v buňce cestují po stejné trase a výrobek vždy jen vynechá nepotřebnou operaci. Buňka je často tvořena vysoce produktivními stroji s automatizovaným okolím. Přípravné činnosti jsou prováděny na pomocných pracovištích paralelně s chodem strojů buňky. Tento typ je typický pro sériovou výrobu a většinou pro třisměnný provoz. Pro pochopení buňkového uspořádání se podívejme na obrázek 1-11. [2]



Obrázek 1-11 Buňkové uspořádání pracovišť [2]

Zde opět zmíníme výhody a nevýhody buňkového uspořádání.

Výhody:

- Minimální vzdálenosti
- Krátké průběžné časy
- Využitelnost strojů
- Dobrá komunikace a organizace
- Přehledné materiálové toky

Nevýhody:

- Poměrně drahé na realizaci (drahé stroje a zařízení)
- Vysoká kvalifikovanost pracovníků
- Vyšší nároky na technickou přípravu výroby

Tyto tři základní typy jsou pro problematiku diplomové práce dostačující a další varianty prostorového uspořádání již nebudou popisovány. Pro zajímavost však zmíníme další typy, jako např. modulární, volné, pevné či kombinované uspořádání.

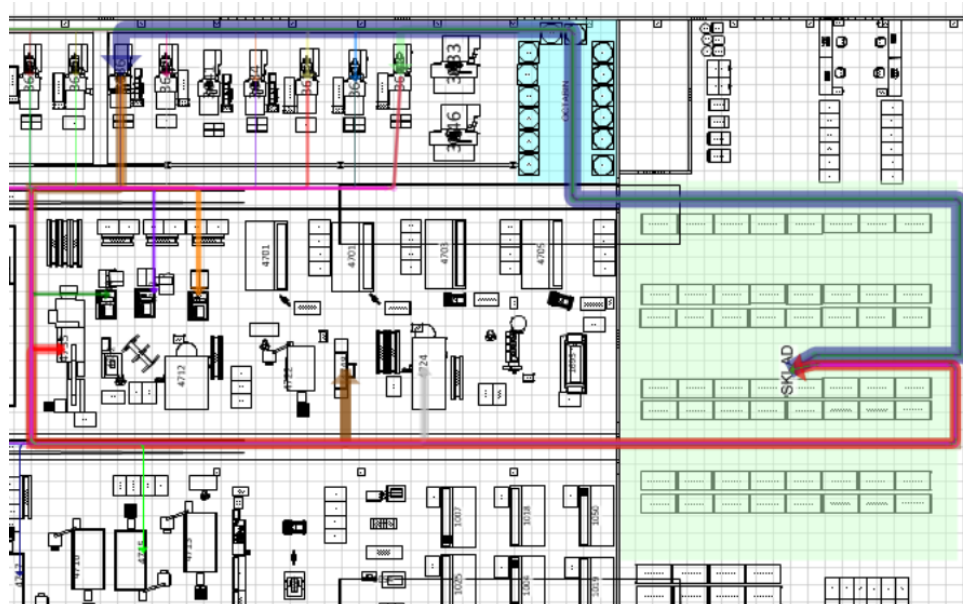
1.7 Nástroje pro tvorbu layoutů

V dnešní době se na trhu nabízí nespočetně softwarových produktů, které pomáhají při tvorbě výrobní základny. Často jsou tyto nástroje spojovány s pojmem “digitální podnik“. Nástroje, zabývající se prostorovým uspořádáním, můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin. V první skupině jsou programy používány primárně v jiných oborech (např. CAD softwary jako NX, Catia), ale obsahují také nástroje pro prostorové uspořádání, resp. jsou používány k tvorbě layoutů. V druhé skupině jsou pak nástroje specializované přímo na návrh prostorového uspořádání (visTable, CEIT TABLE, Visual Components aj.). Vzhledem k tomu, že praktická část diplomové práce je řešena v programu visTABLE, bude nyní nástroj visTABLE stručně představen. [2]

Software visTABLE®touch vyvinula německá společnost Plavis GmbH se sídlem v Chemnitzu. Software se vyznačuje intuitivním ovládáním, a tak je pro uživatele poměrně jednoduché, naučit se s nástrojem pracovat. Vše je založeno na vkládání objektů (modelů) do 2D sítě a vytvářet tak komplexní vzhled během několika minut. Velká výhodou visTABLU je, že 2D pohled

nám nástroj promítá okamžitě do pohledu 3D a představa reálného podniku je díky tomu mnohem jednodušší. VisTABLE dále nabízí vytvoření dopravních sítí a materiálových toků, na základě kterých umí vyhodnotit Sankeyův a I-D diagram. Pak můžeme pomocí softwaru ověřit každý návrh materiálového toku. Program totiž vypočítává přepravní výkon, na základě kterého se také hodnotí varianty prostorového uspořádání. Díky visTABLE jsme schopni objasnit mnoho praktických problémů, a zvolit tak optimální návrh prostorového uspořádání ještě před jeho implementací. Součástí programu je otevřená knihovna základních objektů (modelů) z oblasti stavebnictví, výroby, montáže, personálu, přepravy, skladování, robotů, jeřábů, ploch atd. Ne vždy jsou modely z knihovny postačující, a proto další výhodou visTABLE je, že do knihovny můžeme importovat modely vytvořené v běžných CAD systémech, jako např. SolidWorks, NX, CATIA atd. Díky tomu jsme schopni dát digitální továrně reálnou podobu. [6]

Na obrázcích níže můžeme vidět jak layout s materiálovými toky ve 2D, tak i pohled do digitální továrny ve 3D. Obě ukázky jsou samozřejmě z programu visTABLE.



Obrázek 1-12 Prostorové uspořádání ve 2D - visTABLE



Obrázek 1-13 Prostorové uspořádání ve 3D - visTABLE

1.8 Možnosti a pravidla projektování

V této podkapitole bude popsán postup při návrhu výrobní základny, pravidla, která je nutno při návrhu dodržovat, a nakonec bude nastíněno, jaký je rozdíl mezi navrhováním nového výrobního systému a optimalizací systému stávajícího.

1.8.1 Obecný postup při návrhu výrobní základny

Jak bylo zmíněno výše, v praxi se setkáváme nejčastěji se dvěma důvody, proč navrhovat prostorové uspořádání systému. Jedním z důvodů je racionalizace či optimalizace stávajícího systému a důvodem druhým je projektování systému nového. V obou případech je ale nutno držet se postupových pravidel, které se skládají z následujících kroků:

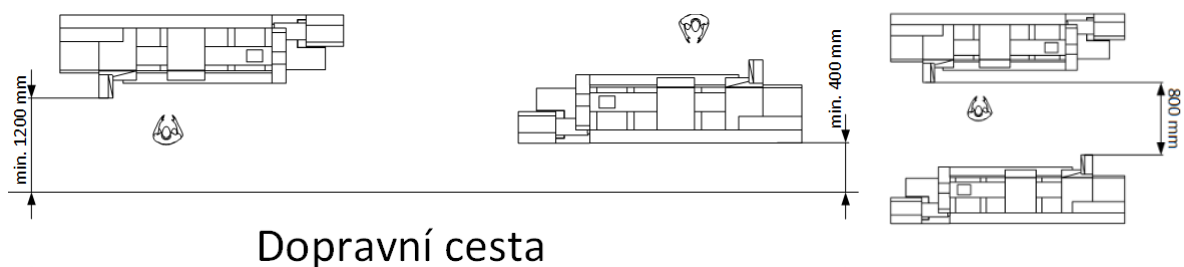
- **Diagnostika** – V tomto kroku jde o prvotní a rychlé seznámení se se situací. Tato etapa se zaměřuje na hlavní články problematiky a zabezpečuje racionální přístup k řešení problému. Diagnostiku provádějí nejčastěji zkušení pracovníci, kteří dokáží chápat vzájemné závislosti jevů a jejich následků.
- **Sběr informací** – Tento krok je někdy charakterizován jako pomocný, ale ve skutečnosti je stejně důležitý jako kroky ostatní. Z diagnostiky jsme schopni určit, kdy a jaké informace budou nezbytné pro následující rozbor stávajícího stavu. V zásadě existují dva typy informací. Informace z evidence (“historické“) a informace z pozorování. Informace z pozorování není vždy rychlé a jednoduché získat, jsou ale čerstvé a objektivně zobrazují realitu. Pro rozbor stávajícího stavu jsou tak žádoucí.
- **Rozbor stávajícího stavu** – Po uskutečnění předešlých kroků je možno přejít k rozboru stávajícího stavu. V projektech je třeba řešit všechny faktory výrobního systému. Rozborová příprava se tedy dotýká široké oblasti (řízení, organizace výrobního procesu, výrobků atd.). Pokud se rozbor provede správně, dostaneme možné varianty řešení dané problematiky. Uveďme aspoň několik základních rozborů, prováděných před sestavením návrhu:
 - rozbor standardizace,
 - rozbor vybavenosti výroby speciálním nářadím,
 - rozbor úrovně mechanizace a automatizace výrobního procesu,
 - rozbor toku materiálu a manipulačních prostředků,
 - rozbor stávajícího dispozičního řešení, stavu výrobních hal,
 - rozbor ergonomických vlivů aj.
- **Návrh** – Po rozboru stávajícího stavu je řešitel schopný začít etapu návrhu. Žádný projekt není v plné míře opakovatelný, a proto je v této etapě nutné, aby řešitel využil v maximální míře svůj tvůrčí talent. Projektant je povinen dodržovat pravidla postupu a rozpracovat jednotlivé směry řešení, z nichž pak vybere nejlepší variantu, ke které vypracuje technickou dokumentaci. I když projektant řeší jen část z celkového systému, nesmí zapomenout na problém pohlížet komplexně a respektovat tak vstupní i výstupní vztahy systému. Dalším úkolem je vypracovat návrh náběhu výroby, který může ovlivnit dobu návratnosti a celkovou efektivnost akce. Každý návrh je třeba ekonomicky zhodnotit. Proto je důležitou součástí každého projektu ekonomické zhodnocení návrhu, kde se porovnávají náklady a přínosy. Běžně se také vypracovává časový plán realizace, který je obvykle ve formě síťového grafu.
- **Realizace** – Závěrečnou etapou je logicky realizace návrhu. Všechny nedostatky projektové přípravy se projeví v průběhu realizace. Instalace a zavedení navrhovaného projektu se dá realizovat vlastními silami, dodavatelem anebo kombinací obou předchozích způsobů. Projekt pak končí předáním investorovi po zkušebním provozu. Po předání je však stále nutné provádět sledování chodu a hodnotit chování navrhnutého systému. [5]

1.8.2 Pravidla tvorby výrobního systému

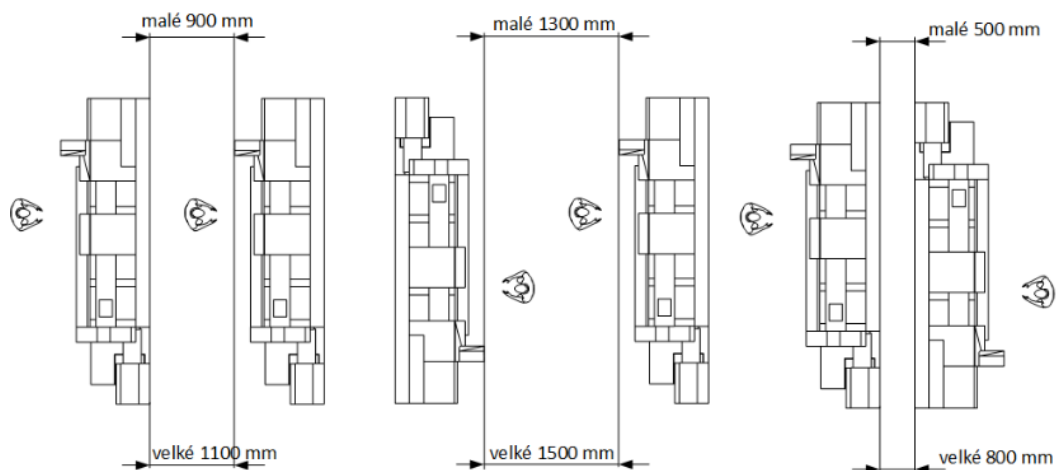
Při projektování výrobní základny je vhodné respektovat pravidla pro uspořádání (obecné zásady, normy). Pravidel existuje celá řada, a proto zde budou představeny jen ty, které jsou později v práci použity.

Rozmístění strojů v dispozičním řešení

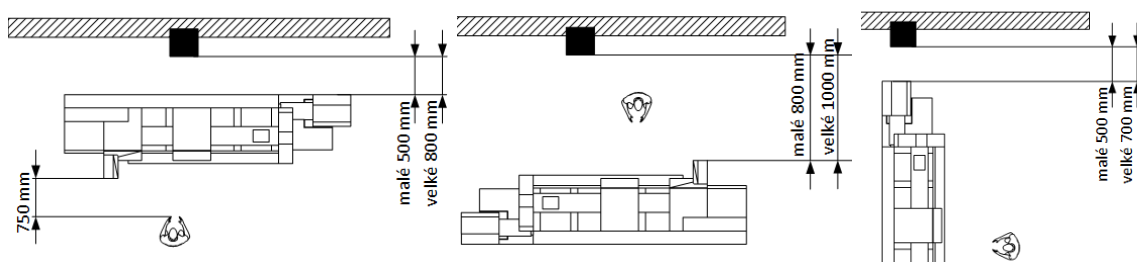
Projektant chce vždy navrhnout výrobní základnu tak, aby zabírala co nejmenší možnou plochu. Musí při tom však dodržovat základní zvyklosti a normy, které jsou stanoveny z hlediska hygieny a bezpečnosti práce. V dispozičním řešení se stroj zakresluje jeho krajními rozměry. Ke stroji se pak zakreslí všechno jeho příslušenství (skříňky na nářadí, regály, odkládací prostory) včetně pracovníka. Podle rozměrů se stroje rozlišují na malé a velké. Za malé stroje počítáme stroje s obrysem cca 800x1500 mm, velké stroje jsou takové, jejichž jeden rozměr je větší než 3500 mm. Podle toho se pak liší normy minimálních vzdáleností od sloupů, dopravních cest atd. Pravidla pro vzdálenosti strojů vidíme na obrázcích níže. [2]



Obrázek 1-14 Vzdálenost strojů od dopravní cesty a při vícestrojové obsluze [2]



Obrázek 1-15 Vzdálenost mezi stroji [2]



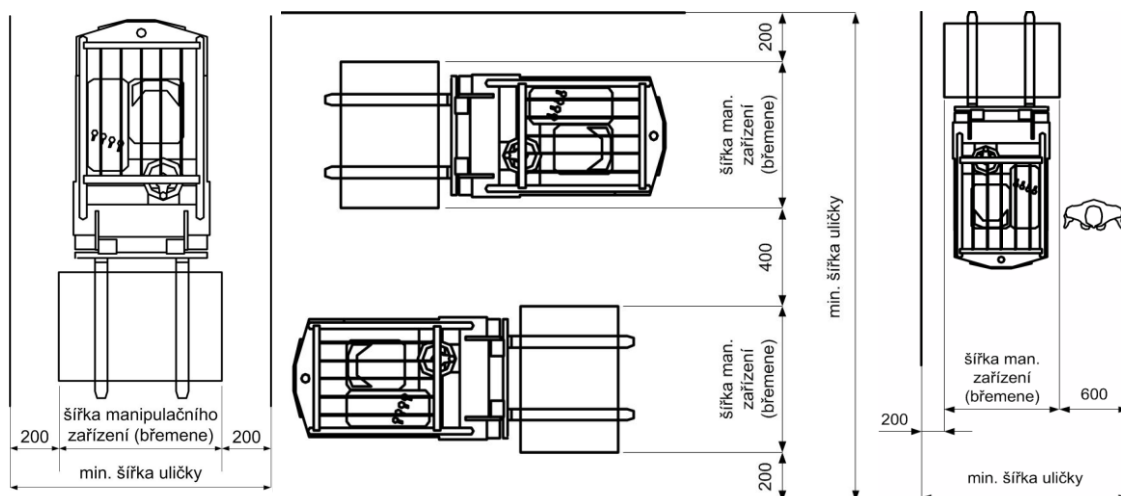
Obrázek 1-16 Vzdálenost strojů od stěn [2]

Manipulační uličky a cesty

Manipulační uličky a cesty jsou velmi důležitou oblastí, na kterou se nesmí při návrhu prostorového uspořádání zapomínat. Podle normy ČSN 26 9010 se uličky dělí do dvou kategorií:

- Manipulační uličky bez pohybu pracovníků
- Dopravní cesty

Manipulační uličky bez pohybu pracovníků slouží pouze k pohybu přepravních prostředků, a ne k pohybu pracovníků. Šířka uliček vychází z velikosti přepravovaného materiálu. Dopravní cesty jsou určeny jak k přepravě materiálu, tak i k pohybu pracovníků. Rozlišují se manipulační uličky jednosměrné a obousměrné a dopravní cesty s jedním pruhem nebo dvěma jízdními pruhy. Jednosměrná manipulační ulička, obousměrná manipulační ulička a dopravní cesta s jedním jízdním pruhem a jedním postranním pruhem pro pracovníky jsou znázorněny na obrázku 1-17.



Obrázek 1-17 Manipulační uličky a dopravní cesta [2]

Cesty pro pěší

V podnicích s velkým počtem zaměstnanců je třeba i cest pro pracovníky. Šířka těchto cest se určuje podle frekvence pohybu. Podle toho, kolik projde daným místem osob za minutu, stanovíme šířku cesty. Hodnoty pro frekvence jsou v tabulce 1-1.

Počet osob/min	Minimální šířka cesty [mm]
≤ 100	1200
≤ 300	1800
≥ 300	2400

Tabulka 1-1 Rozměry cesty pro pěší [2]

1.8.3 Rozdíly mezi navrhováním

Při projektování výrobní základny se můžeme setkat s různými situacemi. Podle rozsahu projektu mohou nastat tři situace. Přestavba současného layoutu, návrh nového layoutu v existujících prostorech a návrh nového layoutu včetně nové haly. Toto dělení můžeme vidět na obrázku 1-18.



Obrázek 1-18 Druhy návrhu projektu layoutu [2]

Přestavba současného layoutu

Při přestavbě stávajícího layoutu chceme zefektivnit již zaběhlý výrobní systém. Provádí se analýza současného stavu a hledají se možnosti úprav, díky kterým se výrobní systém zefektivní. Vstupní veličinou je výrobní kapacita již existujícího objektu a hledá se plán pro lepší využití (obrácený kapacitní propočet). Analyzuje se především současné prostorové uspořádání, materiálové toky a určení změn ve výrobě, které vedou k zefektivnění zkoumaného systému.

Návrh nového layoutu v existujících prostorech

Při navrhování nového layoutu v existujících prostorech postupujeme obdobně, jako u předchozího typu. Nejprve se provede prvotní návrh, který respektuje omezení existujících prostor. Návrh je poté analyzován a provádí se úpravy k jeho zefektivnění. Opět je zde využito obráceného kapacitního propočtu.

Návrh nového layoutu včetně nové haly

U návrhu nového layoutu včetně nové haly se nejprve propočítávají kapacity. Po propočtu objektu je požadováno splnění daného výrobního plánu. Později se opět návrh analyzuje a dochází k úpravám layoutu se záměrem zefektivnění systému.

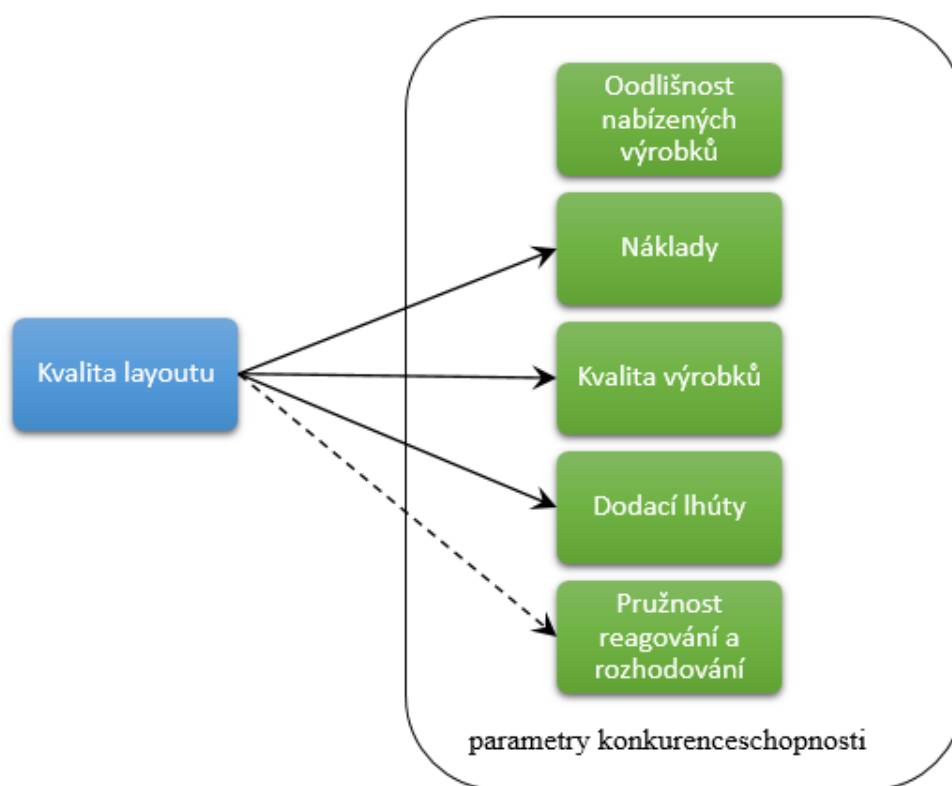
Z výše uvedeného vidíme, že u všech typů projektování výrobní základny je podobný základ. Pomocí kapacitních propočtů hledáme variantu, která nejlépe splní požadavky výrobních plánů. Hlavní rozdíl je v rozsahu a náročnosti projektu. Při návrhu nového layoutu včetně nové haly přibývají kroky potřebné pro návrh generelu závodu a řeší se pak stavební projekt a situování haly do okolí. [2]

2 Parametry a kritéria prostorového uspořádání

V druhé kapitule bude popsáno, jak působí kvalita layoutu na parametry konkurenceschopnosti. Budou představeny základní parametry layoutu a zmíněn bude také materiálový tok.

2.1 Parametry konkurenceschopnosti

Při určování základních parametrů layoutu vycházíme z konkurenceschopnosti podniku, která určuje, jak je podnik na trhu v porovnání s jinými efektivní. Cílem podniku je přizpůsobit se požadavkům zákazníka a získat si tak potřebnou klientelu. Proto se firmy snaží vyrábět produkty za přijatelnou cenu, v požadované kvalitě a v požadovaný čas. Důležitým faktorem je samozřejmě pružnost v reagování na požadavky zákazníka a průběžná doba trvání výroby. Správně navrženým layoutem jsme pak schopni ovlivnit náklady, kvalitu výrobků, dodací lhůty a částečně také pružnost reagování na změny. Schéma působení kvality layoutu na parametry konkurenceschopnosti můžeme vidět na obrázku 2-1. [2]



Obrázek 2-1 Působení kvality layoutu na parametry konkurenceschopnosti [2]

Pojďme si tedy parametry konkurenceschopnosti stručně představit.

2.1.1 Náklady

Cílem každého podniku je snižovat náklady a zvyšovat tak tržby z vyráběných produktů. Prostorové uspořádání může ovlivnit především náklady provozní, které se zjednodušeně dělí na náklady na manipulaci a na výrobní prostory. Tyto náklady patří do režijních nákladů.

- **Náklady na manipulaci** – Na manipulaci s materiálem může podle druhu výroby připadat až 90% času z celkové délky průběžných výrobních časů. Proto chceme docílit co nejefektivnějšího výkonu přepravy materiálu. Zefektivnění můžeme dosáhnout optimálním navržení dopravních cest a manipulačních uliček. Při optimalizaci se zaměřujeme na dispozici pracovišť s nejintenzivnějšími dopravními vztahy a největším objemem

přepřevovaného materiálu. Tyto pracoviště se snažíme umístit co nejbližší k sobě a optimálně tak nastavit materiálový tok. Dle objemu materiálového toku se stanoví potřebný počet manipulační techniky, který se samozřejmě také projeví do nákladů na provoz, údržbu a zaměstnance, kteří manipulační techniku obsluhují.

- **Náklady na plochu výrobních prostor** – Tyto náklady jsou spojeny s velikostí celkové plochy, s využitím prostoru, s náklady na energii, údržbu, revize a s náklady na daně. [2]

2.1.2 Kvalita výrobků

Při výrobě nastávají určitá rizika, která bychom měli při návrhu layoutu předvídat. Přehlednými a jednoduchými materiálovými toky předejdeme riziku poškození při manipulaci. Cílem je tedy navrhnout jednoduché dopravní cesty a eliminovat tím např. zbytečné křížení cest. Při navrhování dopravních cest myslíme na přepřevovaný objem, jak už bylo zmíněno výše. Dalším rizikem je poškození při skladování, čemuž můžeme předejít vhodnými skladovacími prostory a jejich umístěním. Dále je třeba předvídat riziko snížení kvality výroby. Je proto nutné vhodně rozmístit pracoviště, která jsou v tomto směru riziková (např. buchar vedle pracoviště, kde probíhá přesné měření, či zvuková zkouška).

2.1.3 Dodací lhůty

Správné dodací lhůty jsou také jedním z hlavních požadavků zákazníka. Prostorovým uspořádáním sice většinou nedokážeme ovlivnit výrobní časy (jsou dány technologií výroby), ale časy nevýrobní už ano. Mezi časy nevýrobní patří např. časy při manipulaci s materiálem, skladování, kontrola atd. Pomocí vhodných materiálových toků a optimalizací dopravních cest dokážeme zredukovat časy na manipulaci s materiálem, stejně jako vhodným uspořádáním pracovišť, či útvarů.

2.1.4 Pružnost reagování a rozhodování

Pružnost reagování a rozhodování je závislá na typu výroby. Je jasné, že jsme schopni jinak reagovat např. při kusové a hromadné výrobě. Podle toho taky musí být vhodně zvolen typ prostorového uspořádání výrobního systému. Rychlá reakce a rozhodnutí může být často zásadním atributem v partnerství. [2]

2.2 Základní parametry layoutu

Základní parametry, které ovlivňují návrh layoutu, jsou rozděleny do tří základních skupin. Jsou to parametry rozměrové, nákladové a ostatní a budou představeny níže.

Parametry rozměrové:

- Celková plocha (výrobní plocha, pomocná plocha, “volná“ plocha).
- Výrobní plocha je plocha s pracovišti (stroje, montáže, ruční práce).
- Pomocná plocha je plocha dopravních cest, skladovacích prostor, odkládacích prostor a dalších pomocných ploch.
- “Volná“ plocha je momentálně nevyužitá plocha, ale v budoucnu se plánuje plocha využít pro rozvoj firmy (nákup nových technologií, nová pracoviště atd.). Volná plocha může také vzniknout např. zrušením části výroby.
- Rozměry manipulačních uliček a dopravních cest.
- Délky dopravních cest (trasy mezi jednotlivými úseky)

Parametry nákladové:

- Náklady na spotřebu energie (vytápění haly, osvětlení atd.)

- Investiční náklady na nákup manipulační techniky, náhradní díly a rekonstrukci manipulační techniky.
- Náklady na údržbu a revize.
- Daň z nemovitosti a pozemku, daň spojená s velikostí celkové plochy.
- Mzda pracovníků obsluhující manipulační techniku.
- Náklady na provoz manipulační techniky.

Parametry ostatní:

- Uspořádání strojů tak, aby byl dobrý přístup ze všech stran (údržba).
- Visuální kontrola nad operacemi a aktivitami pracovníků (vhodně uspořádání pracovišť a kanceláří).
- Ergonomie pracoviště
- Bezpečnost práce.
- Převážný výkon.
- Využití dopravní cesty (objem přepravovaného materiálu vztažený ke kapacitě dopravní cesty).
- Typ uspořádání layoutu
- Doba manipulace s materiálem na pracovišti. [2]

2.3 Materiálový tok

Základním projevem výrobního procesu z hlediska jeho dynamiky je jeho pohyb. Když odmyslíme technologické operace, zbydou nám operace netechnologické. Právě tato část pohybu je ve většině případů větší a nazývá se **materiálový tok**. Materiálový tok začíná příjmem materiálu na vstupní sklad a končí expedicí hotového výrobku. Od vstupního skladu “teče materiál” výrobním systémem přes jednotlivá pracoviště a mezisklady ke kontrole a skladu hotových výrobků. Materiálový tok je tedy určen směrem, intenzitou a frekvencí. Charakter a délku toku ovlivňujeme prostorovým uspořádáním. Na základě zmíněných parametrů jsme schopni materiálový tok měřit, hodnotit a optimalizovat. Abychom byli schopni analyzovat pohyb při projektování manipulace, musíme mít k dispozici data o těchto činitelích:

- materiál,
- trasy,
- tok materiálu. [2]

2.3.1 Materiál

Nejprve je materiál nutné rozdělit podle množství, ve kterém se manipuluje a podle jeho skupenství. Podle skupenství dělíme materiál na kapalinu, plyn a pevné předměty. Podle množství pak na jednotlivé kusy, manipulační jednotky (paleta), či volně ložený materiál. Dále je třeba materiál roztřídit podle jeho fyzických vlastností, množství a zvláštních předpisů. Hlavní charakteristické znaky materiálu potom jsou:

- **fyzické** – podle fyzických znaků jsme schopni určit způsob manipulace s materiálem
 - rozměry
 - hmotnost
 - tvar (plochý zakřiveným)
 - nebezpečí poškození (křehký, odolný)
 - škodlivost (jedovatý, korozivní, hořlavý)
 - stav (horký, lepkavý, mastný)
- **ostatní**
 - množství (relativní četnost, objem na dávku)

- **zvláštní předpisy**
 - státní, Evropské unie (opad, chemické látky, nadměrná tělesa) [2]

2.3.2 Trasy

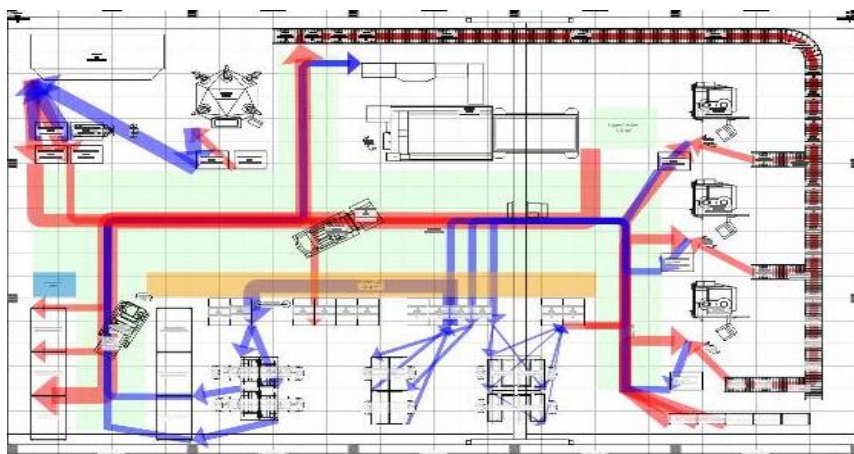
Pro každou trasu je nutné určit místo vstupu a místo výstupu, známé také jako výchozí bod a místo určení. Tato místa jsou ovlivněna prostorovým uspořádáním výrobního systému. Vzdálenost mezi místem vstupu a výstupu můžeme měřit jako skutečnou vzdálenost trasy manipulačního prostředku anebo jako přímočarou vzdálenost (spojení dvou bodů). Dále nás zajímá, jestli je trasa vodorovná, šikmá, oblouková či lomená a jestli se na trase nenachází nějaké překážky. V některých případech je nutné brát ohled na specifický povrch trasy a také bezpečnost. Na to je brán zřetel např. v mastných prostředích. [2]

2.3.3 Tok materiálu

Každý pohyb materiálu je ovlivňován několika faktory. Jedním z faktorů je intenzita toku materiálu, která je udávána v množství přepravovaného materiálu za jednotku času (ks/den). Intenzita je však jen obecným měřítkem. Je totiž rozdíl, jestli přepravíme tisíc kusů za den v jedné dávce nebo v dávkách deseti. To je třeba zohlednit při volbě přepravních a manipulačních metod. Pokud chceme navrhnout optimální materiálový tok potřebujeme zanalyzovat manipulační pohyby materiálu. K analýze pohybu materiálu potřebujeme znát následující údaje:

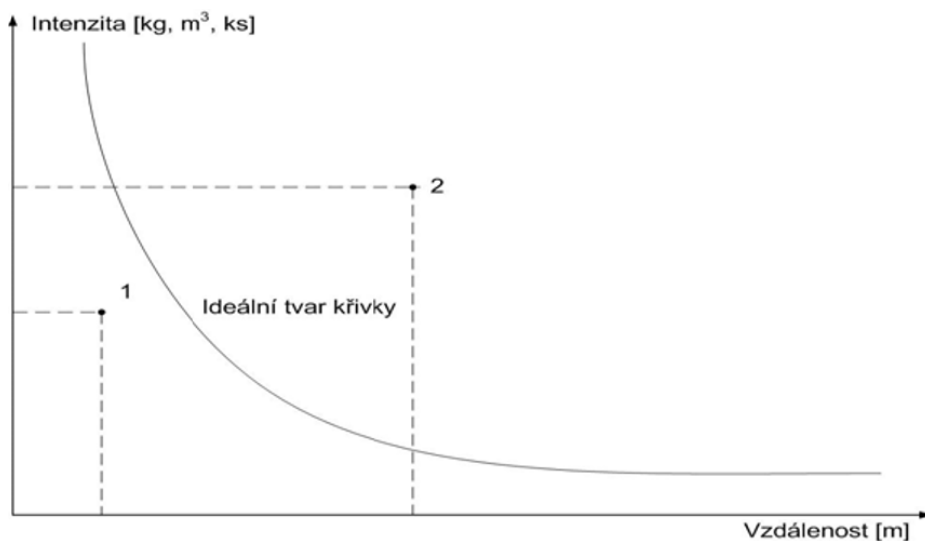
- seznam tras (směr, délku, stav)
- materiálové skupiny a pro každý pohyb skupiny na jedné trase:
 - intenzitu toku materiálu
 - přepravní výkon
 - podmínky pohybu
 - význam pohybu
- pro každou trasu a materiálovou skupinu:
 - celková intenzita a frekvence toku materiálu
 - celkový přepravní výkon
 - hodnocení významu
- celkový přepravní výkon [2]

Materiálový tok můžeme pak znázornit pomocí schématických diagramů v dispozičním řešení nebo grafem. Představme si nyní Sankeyův a I-D diagram. V Sankeyově diagramu jsou toky reprezentovány šipkami směřujícími do místa určení. Jejich tloušťka je dána objemem protékajícího materiálu. Výsledkem je mapa znázorňující všechny toky. viz obrázek 2-2. Cílem je, aby nejširší šipky byly co nejkratší. [7]



Obrázek 2-2 Sankeyův diagram [7]

I-D diagram se používá pro znázornění přepravního výkonu. Intensity – Distance, to znamená název diagramu. Diagram nám tedy ukazuje vztah mezi přepravovaným objemem a vzdáleností. Vynásobením těchto dvou údajů získáme zmiňovaný přepravní výkon.



Obrázek 2-3 I-D diagram [8]

Na obrázku 2-3Obrázek 2-3 můžeme vidět ideální tvar křivky přepravního výkonu. Je třeba materiál s největší intenzitou přepravovat na krátkou vzdálenost a naopak. Snažíme se tedy k této křivce přiblížit a navrhnout tak optimální layout.

3 Analýza výrobního systému

V předchozích kapitolách bylo teoreticky popsáno, čeho dbát při navrhování prostorového uspořádání. Kapitolou třetí začíná praktická část diplomové práce a bude v ní představen výrobní program, pro který je prostorové uspořádání navrhováno. Nejprve ale bude představena soutěž, které se každoročně účastní tým Západočeské univerzity a díky které se vlastně řeší tato diplomová práce.

3.1 Soutěž Formula SAE

Formula Society of Automotive Engineers (SAE) je mezinárodní soutěž, kterou pořádá organizace SAE International. První závod se konal v USA již v roce 1979 a nyní se soutěže účastní přes 500 univerzit technického zaměření. Týmy, složené ze studentů daných univerzit, mají za úkol zkonstruovat monopost formulového typu, a to podle pravidel soutěže pro daný rok. Bezpečnostní oblouky rámu nad hlavou a nohama jezdce, čtyřdobý motor o maximálním obsahu 610 ccm anebo závodní nehořlavé oblečení řidiče podle homologace FIA jsou základními pravidly. Řidič monopostu musí být také student. Závody se nechala inspirovat i Evropa, kdy evropské inženýrské asociace uspořádaly v roce 1998 soutěž pod názvem Formula Student, která se koná každoročně dodnes. [9]



Obrázek 3-1 Hromadné foto na závodě [10]

Závody Formule SAE nejsou klasicky kolo na kolo, ale týmy soupeří v několika disciplínách. Soutěž se skládá ze statických a dynamických disciplín. Ve statických disciplínách se představují monoposty a jejich vývoj porotě, která je složena ze znalců z oborů ekonomiky, automobilového průmyslu, ale i třeba z prestižních soutěží jako Formule 1.

- **Statické disciplíny:**

Engineering Design Report (150 bodů) - Presentace návrhu vozu a použitých konstrukčních řešení specialistům a špičkovým konstruktérům z oboru, kteří tvoří porotu.

Cost Report a Sustainability Analysis (100 bodů) – Představení nákladů na výrobu prototypu a finanční udržitelnost fiktivní malosériové výroby.

Business Report (75 bodů) - Tým prezentuje business plán se záměrem přesvědčit teoretického investora k investici do projektu a nabídnout nejrůznější služby spojené s provozem monopostu.

Dynamické disciplíny prověřují jízdní vlastnosti, přičemž každá disciplína prověřuje rozdílné atributy vozidla.

- **Dynamické disciplíny:**

Acceleration (50 bodů) – Sprint na rovině dlouhé 75 m.

Skid Pad (75 bodů) – Testuje se postranní akcelerace vozidla a prokluzování kol na točité trati, která připomíná osmičku.

Autocross (150 bodů) – Cílem této disciplíny je zajet co nejrychleji kolo a kvalifikovat se tak do hlavního závodu "Endurance".

Endurance & Efficiency (300 & 100 bodů) – Endurance je hlavní závod na 22 km, kdy týmy v půlce závodu mění řidiče. Množstvím spotřebované energie vůči celkovému času se pak hodnotí efektivita vozidla. Ideální je tedy dojet co nejrychleji s minimální možnou spotřebou.

Maximální počet bodů ze všech disciplín je 1000 a vítězem se stává tým s nejvíce nasbíranými body. [11] [12]

Nyní si pojd'me představit tým UWB Racing team Pilsen.

3.2 UWB Racing team Pilsen

UWB Racing Team Pilsen sídlí na Západočeské univerzitě v Plzni a je tvořen cirká třiceti studenty bakalářského a navazujícího studia a v posledních letech se pravidelně účastní soutěží. Největší část týmu tvoří studenti fakulty strojní, doplňováni studenty fakulty elektrotechnické, aplikovaných věd, ekonomické a designéry z fakulty designu a umění Ladislava Sutnara. Velkou roli v týmu hrají konstruktéři, kteří vyvíjí zvolený systém. Stejně tak by se navrhovaný vůz neobešel bez elektroniky, tedy bez studentů fakulty elektrotechnické. Se složitějšími výpočty pomáhají týmu studenti mechaniky z fakulty aplikovaných věd, které pro výpočty používají speciální programy. Neodmyslitelnou součástí je PR oddělení, které má za úkol sehnat sponzory a prezentovat tým vůbec. Tým UWB Racing můžeme vidět na obrázku 3-2. [9]



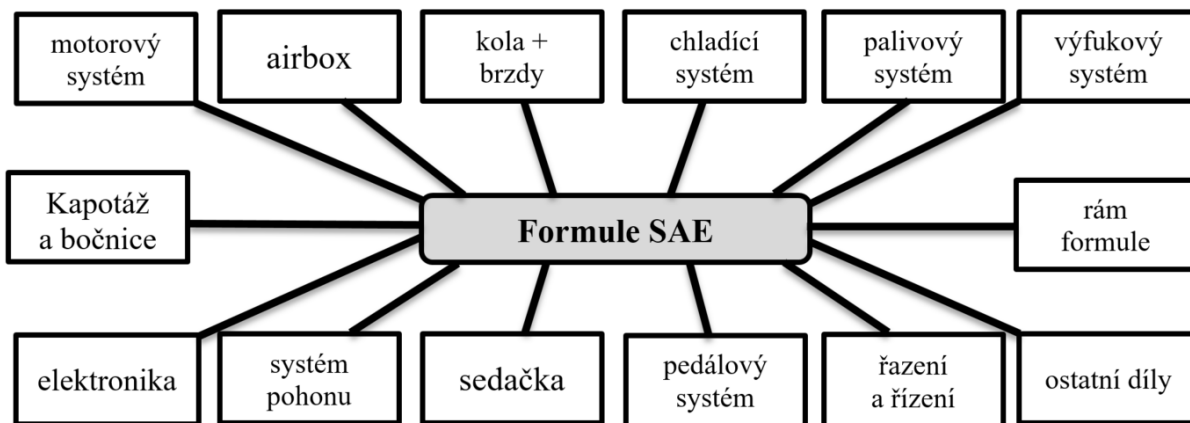
Obrázek 3-2 UWB Racing Team Pilsen v Maďarsku[9]

Závodní monopost plzeňského týmu UWB Racing Team Pilsen je objektem řešení (obrázek 3-3). Jak už bylo zmíněno výše, tým se snaží svůj vůz vyvinout tak, aby v soutěži získal co nejvíce bodů. Jedna ze statických disciplín se nazývá Business Report a tým z této prezentace může získat 75 bodů. Jedná se o představení business plánu se záměrem přesvědčit teoretického investora k investici do projektu. To bylo právě impulsem k řešení této diplomové práce. Minulý rok (2016) plzeňský tým prezentoval svou fiktivní halu pro výrobu 1000 závodních monopostů. V letošním roce by chtěl tým získat z disciplíny Business Report hodně bodů a rozhodl se tak věnovat problematice více času. Prozkoumal trh a zjistil, že reálně by byl schopen prodat maximálně 130 monopostů ročně. Výrazně se tím tak změnila roční produkce a pochopitelně se změnil i výrobní systém. O tom, jak se budou layouty pro 1000 a 130 kusů lišit, se dozvíme v dalších kapitolách.



Obrázek 3-3 Závodní monopost týmu UWB Racing [9]

Formule se skládá samozřejmě z mnoha komponent. Proto je monopost rozdělen do několika systémů (skupin). Celkem se jedná o 14 systémů – motorový systém, systém airbox, systém kola + brzdový systém, chladicí systém, palivový systém, výfukový systém, kapotáž a bočnice, rám formule, elektronika v monopostu, systém pohonu, systém sedačky, pedálový systém, systém řazení a řízení a systém drobných a speciálních dílů. viz obrázek 3-4



Obrázek 3-4 Rozdělení monopostu podle systémů

3.3 Rozbor a analýza vstupních dat

Na tomto místě je nutné zmínit, že veškeré vstupní data byla zajištěna Ing. Michalem Zoubkem, který minulý rok řešil tuto problematiku pro jiný výrobní program. Stejně tak je použit a modifikován jeho software na výpočty kapacit vytvořený v MS Excel, který najdeme v elektronické příloze na CD -ROM.

Jedná se o poměrně precizní software, kde jsou vždy každému systému přiřazeny všechny komponenty s jejich parametry, díky kterým je možné spočítat potřebné hodnoty. Mezi parametry položek patří například název položky, kolik kusů je třeba pro výrobu jednoho monopostu, zda je položka vyráběná či nakupovaná, jak dlouho a jakou technologií se položka vyrábí anebo na jakém zařízení se položka vyrábí.

Zde je na místě představit hlavní výrobní technologie, potažmo výrobní zařízení. Mezi hlavní výrobní technologie, které budou součástí výpočtu kapacit, patří:

- svařování,
- laminování,
- obrábění,
- dělení materiálu.

Některé položky se ještě před montáží lakují, což je zde bráno jako vedlejší výrobní proces. [13]

Na základě výrobních technologií, jsme schopni určit hlavní stroje a zařízení, vypočítat kapacity, a nakonec navrhnout nový layout. Zde je nutno podotknout, že jedním z požadavků bylo, zachovat typy strojů, stejně jako vyráběné a nakupované položky monopostu tak, jak tomu bylo v předchozím výrobním systému. Jedná se o tyto stroje a zařízení:

- 1) CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP280 SY,
- 2) vertikální obráběcí CNC centrum KOVOSVIT MCV 754 QUICK,
- 3) svařovací invertor WSME 200 AC/DCPULSE,
- 4) MIG/MAG svářečka COMPACT 428 WN,
- 5) Autoclave MK A-150,
- 6) vakuová pumpa VP4300.
- 7) laserový stroj TRULASER 3030,
- 8) CNC stroj pro řezání vodním paprskem PTV Precise Jet,
- 9) ohraňovací CNC lis TRUBEND SERIES 3000. [13]

Vedle hlavních strojů a zařízení se uvažuje také dílenské vybavení, nářadí, potřebné příslušenství pro laminovnu, svařovnu a lakovnu. V kapacitních propočtech bude ale počítáno s hlavními stroji.

4 Ověření výrobních kapacit

Na základě kapacitních propočtů bude možné určit teoretickou potřebu výrobních strojů, manipulačních prostředků, výrobních a pomocných dělníků, úředních pracovníků a provozních ploch výrobního systému. Kapacitní výpočty budou počítány pomocí software v MS Office (elektronická příloha) a jelikož je výpočtů poměrně dost, bude u každého vzorce uveden pouze jeden příklad. Všechny vzorce pro výpočty byly čerpány z elektronické knížky „Projektování výrobní základny – praktická část“, která je uvedena v seznamu použité literatury pod číslem [14].

4.1 Roční časové fondy

Roční časové fondy se týkají strojů, dělníků a pracovišť, a proto musíme znát jejich disponibilní kapacitu, abychom byly schopni fondy určit. V našem případě je zkoumané období jeden rok. Proto vycházíme z počtu pracovních dnů v roce 2017, kterých je 250. Vynásobením pracovních dnů 7,5 hodinami, získáme nominální roční časový fond v hodinách, avšak bez započítání dovolené, neplánované absence, či jiných komplikací.

Zde je dobré poznamenat, že v naší fiktivní fabrice bude dovolená 20 dnů, neplánované absence 5 dnů a bude se pracovat na dvě směny. Důležité je zachovat všude stejné jednotky, v tomto případě minuty.

4.1.1 Roční časový fond stroje

Níže vidíme vzorec (4.1) pro výpočet a vysvětlivky zkratk. V naší fabrice nepočítáme s celozávodní dovolenou.

$$E_{fs} = (d_p - d_{cd} - d_{op} - d_{on}) \cdot H \cdot 60 \text{ [min]} \quad (4.1)$$

E_{fs} – efektivní časový fond stroje,

d_p – počet pracovních dnů v roce,

d_{cd} – průměrná výše celozávodní dovolené,

d_{op} – počet dní v roce pro plánované opravy,

d_{on} – počet dní v roce pro neplánované opravy,

H – počet pracovních hodin při n -směnném provozu,

— jednosměnný provoz = 7,5 hodin,

— dvousměnný provoz = 15 hodin,

— třisměnný provoz = 22,5 hodin.

Pro názornost výpočtu časového fondu stroje ukážeme výpočet pro CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP280 SY. V tabulce 4-1 vidíme jednotlivé vstupní hodnoty pro výpočet. Pro stroj uvažujeme dvousměnný provoz, počet hodin bude tedy 15.

Časový fond stroje		
Stroj	MAS SP280 SY	Hodnoty
d_p	počet pracovních dní v roce	250
d_{op}	počet dní v roce pro plánované opravy	2
d_{on}	počet dní v roce pro neplánované opravy	2
H	počet pracovních hodin při dvousměnném provozu	15
E_{fs}	časový fond stroje [min]	221400

Tabulka 4-1 Časový fond stroje

$$E_{fs} = (d_p - d_{cd} - d_{op} - d_{on}) \cdot H \cdot 60 \text{ [min]}$$

$$E_{fs} = (250 - 0 - 2 - 2) \cdot 15 \cdot 60 = 221400 \text{ [min]}$$

4.1.2 Roční časový fond dělníka

U ročního časového fondu dělníka odečítáme od pracovních dnů výši dovolené, neplánovanou absenci atd.

$$E_d = (d_p - d_d - d_a) \cdot H \cdot 60 \text{ [min]} \quad (4.2)$$

E_d – efektivní časový fond dělníka,

d_p – počet pracovních dní v roce,

d_d – průměrná výše dovolené,

d_a – průměrná neplánovaná absence ve dnech,

H – počet pracovních hodin při n-směnném provozu,

Následně je proveden výpočet časového fondu dělníka již s konkrétními vstupními hodnotami, které vidíme v tabulce 4-2.

Časový fond dělníka		
d_p	počet pracovních dní v roce	250
d_d	průměrná výše dovolené ve dnech	20
d_a	průměrná neplánovaná absence ve dnech	5
H	počet pracovních hodin při dvousměnném provozu	7,5
E_d	časový fond dělníka [min]	101250

Tabulka 4-2 Časový fond dělníka

$$E_d = (d_p - d_d - d_a) \cdot H \cdot 60 \text{ [min]}$$

$$E_d = (250 - 20 - 5) \cdot 7,5 \cdot 60 = 101250 \text{ [min]}$$

4.1.3 Roční časový fond pracoviště

U ročního časového fondu pracoviště opět neodečítáme celozávodní dovolenou.

$$E_{fp} = (d_p - d_{cd}) \cdot H \cdot 60 \text{ [min]} \quad (4.3)$$

E_{fp} – efektivní časový fond pracoviště,

d_p – počet pracovních dn v roce,

d_{cd} – průměrná výše celozávodní dovolené,

H – počet pracovních hodin při n -směnném provozu.

Níže je ukázán výpočet se vstupními hodnotami. Pracovní doba je zde 7,5 hodin, protože pracoviště je aktivní jen v součinnosti s pracovníkem.

$$E_{fp} = (250 - 0) \cdot 7,5 \cdot 60 = 112500 \text{ [min]}$$

4.2 Časové ohodnocení

Zde bude nastíněn postup výpočtu časového ohodnocení. Vzhledem k velkému počtu systémů a jednoduchosti vzorců, zde nebude uveden reálný příklad. Při určení spotřeby času vycházíme z normování práce. Nutný čas se skládá ze tří složek:

- jednotkový čas,
- dávkový čas,
- směnový čas.

Jsou to nutné časy, jejichž spotřeba je úměrná buď počtu jednotek zpracovaného množství, dávek, nebo počtu odpracovaných směn, bez ohledu na počet kusů nebo dávek během směny zpracovaných. Určení všech složek spotřeby času je popsáno obecně níže.

4.2.1 Čas hlavní

Čas potřebný na zpracování jednoho kusu na pracovišti (stroji).

$$t_h = t_{hs} + t_{hsr} + t_{hpn} \quad (4.4)$$

t_{hs} – čas hlavní strojní (úběr materiálu obráběním),

t_{hsr} – čas hlavní strojně ruční (ruční posuv, sražení hran, vrtání apod.),

t_{hpn} – čas hlavní přejezdu, nájezdu, výjezdu.

4.2.2 Čas vedlejší

Čas upnutí, obsluhy a měření. Značí se t_v .

4.2.3 Čas přípravy a zakončení:

Čas přípravy a zakončení na jednu dávku – např. nastavení stroje na novou dávku, příprava nástrojů a upínacích přípravků, úklid atd. U každého typu stroje je čas přípravy a zakončení jiný. Značí se t_{pz} .

4.2.4 Čas operační

Součet času hlavního a vedlejšího.

$$t_o = t_h + t_v \quad (4.5)$$

4.2.5 Čas kusový

Čas potřebný k výrobě jednoho kusu, viz rovnice (4.6).

$$t_k = t_o \cdot k \quad (4.6)$$

k – koeficient překračování norem (1,1 až 1,3)

4.2.6 Počet kusů

Myslí se počet kusů za sledované období. V našem případě, kolik kusů položky se vyrobí pro 130 monopostů.

$$Q = n \cdot 130 \quad (4.7)$$

n – kolik je potřeba kusů dílu pro jeden monopost

4.2.7 Velikost výrobní dávky

Ucelený počet kusů součástí zadávaný společně do výroby.

$$d_v = \frac{t_{pz}}{a \cdot t_k} \quad (4.8)$$

a – koeficient přípustných (volíme 0,05),

4.2.8 Počet výrobních dávek

$$D = \frac{Q}{d_v} \quad (4.9)$$

Je vhodné velikost výrobní dávky d_v a počet dávek D zaokrouhlovat na celá čísla.

4.2.9 Čas celkový

Čas, který je třeba na vyrobení objemu výroby za určité časové období.

$$T_c = (t_{pz} + d_v \cdot t_k) \cdot D \quad (4.10)$$

Zde je znovu důležité dosazovat hodnoty ve stejných jednotkách. V tabulce níže můžeme vidět ukázkou vypočítaných hodnot u sedačky.

Časové ohodnocení výroby sedačky						
Typ výroby	To [min]	Tk [min]	Q [ks]	dv [ks]	D [ks]	Tc [min]
stříhání tkanin	73,00	83,95	130,00	2,00	65,00	11 238,50
kladení tkanin	28,00	32,20	130,00	4,00	33,00	4 415,40
vakuování	41,00	47,15	130,00	7,00	19,00	6 555,95
sycení pryskyřicí	38,00	43,70	130,00	12,00	11,00	6 043,40
vytvrzování	82,00	94,30	130,00	12,00	11,00	13 041,60
finální úprava	35,00	40,25	130,00	8,00	17,00	5 729,00

Tabulka 4-3 Časové ohodnocení výroby sedačky

4.3 Kapacitní výpočty strojů a pracovníků

V této podkapitole bude vypočítán potřebný počet strojů, dělníků a administrativních pracovníků.

4.3.1 Počet strojů

Počet strojů určíme poměrem mezi celkovým časem, potřebným pro výrobu všech kusů výrobku pro 130 monopostů a efektivním časovým fondem stroje.

$$P_s = \frac{T_c}{E_{fs}} \quad (4.11)$$

T_c – čas celkový [min],

E_{fs} – efektivní časový fond stroje,

Jako vzorový příklad je zde uveden výpočet pro vertikální obráběcí CNC centrum.

$$P_s = \frac{T_c}{E_{fs}} = \frac{492423,4029}{221400} = 2,224 \Rightarrow 3$$

MAS MCV 754 QUICK – Počet strojů		
T_c	čas celkový [min]	492423,4029
E_{fs}	časový fond stroje [min]	221400
P_s	počet strojů [ks]	2,224134611

Tabulka 4-4 Počet strojů - Obráběcí CNC centrum

Stejným způsobem byly zjištěny i počty dalších strojů a přehled všech strojů můžeme vidět v tabulce níže.

Počty strojů	
MAS MCV 754 QUICK	3,48 ⇒ 4
MAS SP280 SY	1,77 ⇒ 2
WSME 200 AC/DCPULSE	0,38 ⇒ 1
MIG/MAG 428 WN	0,77 ⇒ 1
Autoclave MK A-150	1,49 ⇒ 2
TRULASER 3030	0,49 ⇒ 1
PTV Precise Jet	0,75 ⇒ 1
TRUBEND SERIES 3030	0,36 ⇒ 1
Vacuum Pump – 12FM	0,61 ⇒ 1

Tabulka 4-5 Počty strojů

V tabulce vidíme, že celkový počet strojů pro výrobní systém je čtrnáct.

4.3.2 Zaměstnanci

U zaměstnanců budeme počítat celkový počet výrobních dělníků, pomocných dělníků a úředníků.

Počet výrobních dělníků

Výrobní dělník je pracovník, který se přímo podílí na výrobě produktu. Počet výrobních dělníků určíme poměrem mezi celkovým časem, potřebným pro výrobu všech kusů výrobku pro 130 monopostů a efektivním časovým fondem dělníka.

$$D_v = \frac{T_c}{E_d} \quad (4.12)$$

T_c – čas celkový [min],

E_d – efektivní časový fond pracovníka,

Vzorový výpočet pro stroj MAS MCV 745 QUICK.

$$D_v = \frac{T_c}{E_d} = \frac{770675,7929}{101250} = 7,6$$

Pro stroj AS MCV 745 QUICK je tedy třeba osm výrobních dělníků. Stejně tak spočítáme počet výrobních dělníků i pro jiné stroje a montáž, viz tabulka níže

Kapacitní propočty zdrojů – lidé				
Stroj	T_c [min]	Efd [min]	D_v	D_v – skutečný
MAS MCV 745 QUICK	770675,7929	101250	7,6	8
MAS SP280 SY	391668,305	101250	3,9	4
TRULASER 3030	109148,26	101250	1,1	2
PTV Precise Jet	167234,054	101250	1,7	2
TRUBEND series 3000	85276,97263	101250	0,8	1
WSME 200AC/DCPULSE	85767,21823	101250	0,8	1
MIG/MAG svářečka 428 WN	171304,38	101250	1,7	2
Autoclave MK A-150	330095,974	101250	3,3	4
Montáž	272296,85	101250	2,7	3
Celkem pracovníci	-	-	23,54	27

Tabulka 4-6 Kapacitní propočty výrobních dělníků

Pomocní dělníci

Pomocný dělník je pracovník zajišťující chod výrobního procesu. Může to být např. seřizovač, skladník nebo řidič vysokozdvizného vozíku. Pomocné dělníky vypočteme vynásobením výrobních dělníků poměrovým číslem.

$$D_p = (0,3 - 0,4) \cdot D_v \quad (4.13)$$

$$D_p = 0,3 \cdot 27 = 8,1 \Rightarrow 8$$

Celkový počet dělníků

Celkový počet dělníků je součet dělníků výrobních a pomocných. (rovnice (4.14)(4.14))

$$D_c = D_v + D_p \quad (4.14)$$

$$D_c = 27 + 8 = 35$$

Počet THP

Počet technickohospodářských pracovníků je určen na základě poměrového čísla a celkového počtu dělníků.

$$THP = (0,09 - 0,16) \cdot D_c \quad (4.15)$$

$$THP = 0,14 \cdot 35 = 4,9 \Rightarrow 5$$

Počet administrativních pracovníků

Počet administrativních pracovníků je určen na základě poměrového čísla a celkového počtu dělníků.

$$A = (0,05 - 0,09) \cdot D_c \quad (4.16)$$

$$A = 0,08 \cdot 35 = 2,8 \Rightarrow 3$$

Celkový počet úředníků

Je to součet technickohospodářských a administrativních pracovníků.

$$D_u = THP + A \quad (4.17)$$

$$D_u = 5 + 3 = 8$$

Podle velikosti závodu se počítá ještě s pracovníky středního a vysokého managementu.

4.4 Prostorové propočty

Celková plocha podniku se skládá z provozní, správní a sociální plochy. Dále nesmíme zapomenout na plochy pomocné, kam patří např. dopravní plochy.

4.4.1 Výrobní strojní plocha

Opět použijeme obráběcí centrum MAS MCV 745 QUICK jako vzorový výpočet dle metodického postupu. Tato plocha je vztažena k výrobnímu stroji.

$$S_Z = d_s \cdot š_s [m^2] \quad (4.18)$$

d_s – délka stroje [m],

$š_s$ – šířka stroje [m].

$$S_Z = 2,59 \cdot 2,32 = 6 [m^2]$$

4.4.2 Měrná plocha

$$S_M = S_Z \cdot k [m^2] \quad (4.19)$$

S_Z – půdorysná plocha (zastavěná) plocha stroje,

k – plošný koeficient, která vyjadřuje provozní podmínky výrobního zařízení, organizaci pracoviště a bezpečnost práce.

$$S_M = 6 \cdot 3 = \mathbf{18} [m^2]$$

4.4.3 Výrobní plochy

Je to součin měrné plochy a počtu strojů ve výrobním systému dle vztahu:

$$S_V = S_M \cdot P_s [m^2] \quad (4.20)$$

S_V – celková výrobní plocha,

S_M – měrná plocha výrobního zařízení,

P_s – počet strojů.

Pro obráběcí centrum MAS MCV 745 QUICK vychází výrobní plocha následovně:

$$S_V = S_M \cdot P_s = 18 \cdot 4 = \mathbf{72} [m^2]$$

4.4.4 Pomocné plochy

Pomocné plochy jsou určeny na základě poměrového čísla a plochy výrobní. V poměrovém čísle musím e brát v potaz rozložení jednotlivých pomocných ploch, jako jsou pomocná plocha hospodaření s náradím, pomocná plocha údržby, pomocná plocha skladová, pomocná plocha vnitřních dopravních cest a pomocná plocha kontroly.

Pro obráběcí centrum MAS MCV 745 QUICK vychází pomocná plocha následovně:

$$S_p = (0,4 - 0,6) \cdot S_V \quad (4.21)$$

$$S_p = 0,4 \cdot S_V = 0,4 \cdot 72 = \mathbf{28,8} [m^2]$$

4.4.5 Celková provozní plocha

$$S_{PR} = S_V + S_p [m^2] \quad (4.22)$$

$$S_{PR} = 72 + 28,8 = \mathbf{100,8} [m^2]$$

Stejným způsobem se počítaly jednotlivé plochy i u zbylých výrobních zařízení. V tabulce níže můžeme vidět vypočítané hodnoty.

Stroj	délka [m]	šířka [m]	Sz	k	Sm	ks	Sv	Sp	Sc
MAS MCV 745 QUICK	2,59	2,32	6	3	18	4	72	28,8	100,9
MAS SP280 SY	3,875	2,122	8,2	3	24,7	2	49	19,7	69,1
TRULASER 3030	7	7,6	53,2	2,5	133	1	133	53,2	186,2
PTV Precise Jet	2,52	2,3	5,8	3	17,4	1	17,4	7,0	24,3
TRUBEND series 3000	3,527	1,5	5,3	3	15,9	1	15,9	6,3	22,2
Autoclave MK A-150	4,1	2,45	10	3	30,1	2	60,3	24,1	84,4
Celkové plochy	-	-	-	-	-	-	348,0	139	487,2

Tabulka 4-7 Dispoziční řešení

Do kapacitních výpočtů nebyly kvůli zanedbatelné půdorysné ploše uvažovány svářečky a vakuová pumpa. Dispoziční řešení svařovny bude uvažováno jako celé pracoviště, stejně jako lakovna.

Pro všechny stroje vyšly tedy tyto hodnoty:

$$S_V = 348 [m^2]$$

$$S_P = 139 [m^2]$$

$$S_{PR} = \mathbf{487} [m^2]$$

4.4.6 Plocha správní

Správní plocha je počítána z administrativních pracovníků a normované plošné potřeby na jednoho pracovníka určité kategorie. Na technika počítáme 5 m² a na administrativního pracovníka 4,5 m². Výsledná plocha je navýšena o 35-40 %, což je plocha chodeb apod.

$$S_{spr} = (THP \cdot 5 + A \cdot 4,5) \cdot 1,35 [m^2] \quad (4.23)$$

$$S_{spr} = (5 \cdot 5 + 3 \cdot 4,5) \cdot 1,35 = \mathbf{52} [m^2]$$

4.4.7 Plocha šaten

S_{š1} – plocha šatny připadající na 1 dělníka – 3 m²

S_š – plocha šatny

P_D – počet dělníků (pro více vytíženou směnu)

$$S_{\text{š}} = P_D \cdot S_{\text{š1}} = 17 \cdot 3 = \mathbf{51} [m^2] \quad (4.24)$$

4.4.8 Plochy sprch a toalet

Pro 10 pracovníků je postačující jedna toaleta, jedna sprcha a jedno umyvadlo. Proto v podniku uvažujeme 2 sprchu a 4 toalety s umyvadlem.

Plocha sociálních zařízení:

1 sprcha = 2 m², 1 toaleta = 1,5 m², 1 umyvadlo = 1 m²

Plocha sprch

$$S_S = 2 \cdot P_S = 2 \cdot 2 = \mathbf{4} [m^2] \quad (4.25)$$

Plocha toalet

$$S_T = 1,5 \cdot P_T = 1,5 \cdot 4 = \mathbf{6} [m^2] \quad (4.26)$$

Plocha umyvadel

$$S_U = 1 \cdot P_U = 1 \cdot 4 = \mathbf{4} [m^2] \quad (4.27)$$

Celková plocha umýváren

$$S_{CS} = S_S + S_T + S_U = 4 + 6 + 4 = \mathbf{14} [m^2] \quad (4.28)$$

Celková plocha útvaru

Nejprve sečteme všechny doposud vypočítané plochy.

$$S_{Podniku*} = S_{PR} + S_{SPR} + S_{CS} + S_{\xi} = 487 + 52 + 14 + 51 = \mathbf{604[m^2]} \quad (4.29)$$

Takto vypočítaná plocha je pouze teoretická a pravděpodobně se bude ještě při dispozičním řešení zvětšovat. Samozřejmě vzorec není úplný. Do celkové plochy podniku musíme také připočítat sklad, expedici, montáž a pro naši výrobu závodního monopostu také svařovnu a lakovnu.

Hodnoty ploch skladu, expedice a montáže se budou v každé variantě prostorového návrhu lišit, proto se budou řešit později dodatečně. Teoretickou plochu lakovny a svařovny ale můžeme nastínit již v této fázi. Pro výpočet svařovny vycházíme z rozměrů monopostu. Ve svařovně totiž bude svařovací stůl, na kterém se bude svařovat rám formule, svařovací invertor WSME 200 AC/DCPULSE, svářečka MIG/MAG 428 WN a další běžné příslušenství potřebné ke svařování, včetně odsávací techniky. Předpokládaná plocha svařovny tak bude přibližně 30 m². Pro lakovací box počítejme s plochou 25 m². Jedná se tedy o dalších 55 m² navíc, které do celkové plochy musíme připočítat. Potom nám tedy teoretická plocha celého podniku bez skladu a expedice vychází:

$$S = S_{Podniku*} + 55 = \mathbf{659 m^2} \quad (4.30)$$

V této kapitole, bylo počítáno několik kapacitních výpočtů, které jsou nezbytné pro řešení prostorového uspořádání. Byly spočítány roční časové fondy pro stroje, dělníky a pracoviště, časové ohodnocení, kapacitní výpočty strojů a pracovníků a prostorové propočty. V průběhu této kapitoly již můžeme vidět znatelné, ale pochopitelné rozdíly, které v kapacitních výpočtech nastali vzhledem ke změně výrobního programu. Výrobní program, jak bylo v úvodu řečeno, se změnil v množství roční produkce, a to z 1000 vyrobených monopostů na monopostů 130. Zde je nutné podotknout, že u výrobního systému, navrhovaného pro roční produkci 1000 kusů, bylo počítáno s třisměnným provozem. V tomto projektu je navrhován provoz **dvousměnný**. V tabulce 4-8 vidíme rozdíly mezi počty jednotlivých strojů.

Rozdíl – Počet strojů		
Stroj	1000 ks/rok	130 ks/rok
MAS MCV 754 QUICK	18	4
MAS SP280 SY	9	2
WSME 200 AC/DCPULSE	2	1
MIG/MAG 428 WN	4	1
Autoclave MK A-150	8	2
TRULASER 3030	3	1
PTV Precise Jet	4	1
TRUBEND SERIES 3030	2	1
Vacuum Pump – 12FM	4	1
Σ	54	14

Tabulka 4-8 Rozdíl – Počet strojů

Rozdílné počty dělníků, úředníků a provozní plochy vidíme v tabulce 4-9.

Rozdíly	1000 ks/rok	130 ks/rok
Dělníci	207	35
Úředníci	51	8
Provozní plocha	1802 m ²	487 m ²

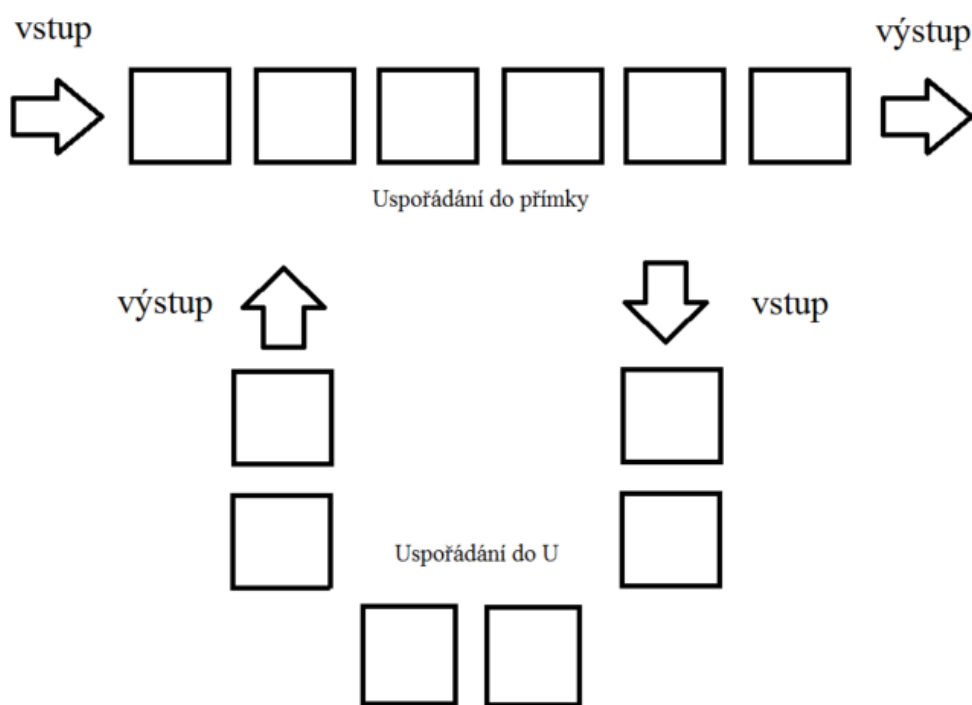
Tabulka 4-9 Rozdíly dělníci, úředníci, plocha

5 Návrh prostorového uspořádání

Dalším krokem je navrhnout koncepci prostorového uspořádání. Prostorové uspořádání systému má vliv na vzdálenosti mezi prvky výrobního systému. Tyto vzdálenosti pak musí být překonávány objektem logistiky za jednotku času. Platí tedy čím delší vzdálenost, tím i delší čas transportu. Přepravování materiálu nepřidává produktu hodnotu a tedy kvalitu, kterou očekává zákazník. Cílem je tedy uspořádat systém co nejvhodněji pro materiálový tok. Nutné je vždy navrhnout alespoň dvě varianty řešení a z těch pak vybrat variantu optimální.

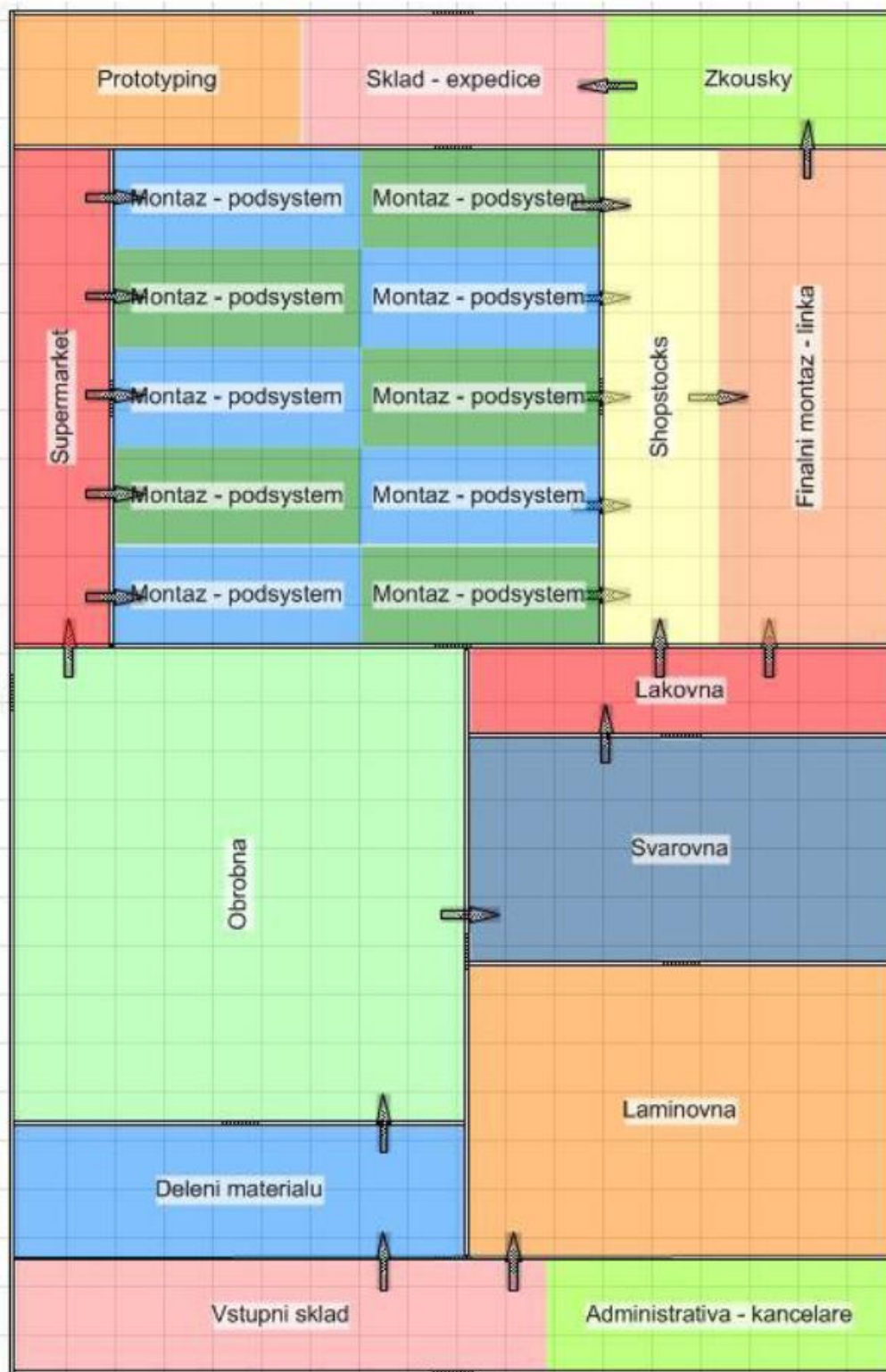
5.1 Varianty uspořádání

V této podkapitole budou představeny dvě varianty koncepčního řešení layoutu. Kompletní návrh layoutu musí respektovat mnoho prvků, které jsou vzájemně systematicky propojeny. Proto je nejprve kladen důraz na již zmiňované koncepční varianty. Kompletní návrh layoutu bude pak vycházet z jedné z koncepčních variant. K řešení této úlohy existuje mnoho metod a softwarových produktů. Problémem většiny metod je, že nabízí jen statické řešení. To znamená řešení pouze za jedněch určitých podmínek. Při návrhu koncepčních variant se snažíme dosáhnout stanoveného cíle a současně splnit všechny podmínky a omezující kritéria. Nyní si představme dva základní principy uspořádání pracovišť. Uspořádání do přímky a uspořádání pracovišť do U, viz obrázek 5-1. Právě tyto dva typy byly inspirací pro navržení dvou koncepčních variant viz níže.



Obrázek 5-1 Uspořádání pracovišť [15]

Pojďme si nyní představit koncepční řešení pro výrobu 1000 monopostů za rok, které bylo v práci Michala Zoubka vyhodnoceno jako optimální. Na obrázku 5-2 můžeme vidět prostorové uspořádání ploch pro výrobní systém. Vidíme, že první část layoutu je uspořádána technologicky (dělení materiálu, obrobna, laminovna, svařovna a lakovna). V druhé části jsou zobrazeny montáže skupin (podsystemů) a finální montážní linka. Zde je uspořádání typu předmětného. Pohyb materiálu je naznačen šipkami a vidíme, že mimo vstupního skladu a expedice, zde máme mezisklady v podobě supermarketu a shopstocků.



Obrázek 5-2 Konceptní návrh pro roční produkci 1000 kusů [13]

Přestože výrobní technologie zůstává naprosto stejná, filozofie konceptních návrhů pro roční produkci 130 monopostů se liší. Jelikož při roční produkci 130 kusů musí fabrika vyrábět zhruba jeden monopost za dva dny, finální montáž monopostu nebude probíhat na montážní lince, nýbrž na finálním pracovišti. Dále nebude třeba supermarketu.

Varianty prostorového uspořádání byly řešeny na základě těchto klíčových prvků výrobního systému:

- vstupní sklad,
- dělení materiálu,
- obrobna,
- svařovna,
- laminovna,
- lakovna,
- montáž skupin (podsystemů),
- finální montáž monopostu,
- shopstocky,
- kontrola kvality,
- expedice,
- kanceláře a šatna.

Nyní budou představeny varianty uspořádání, které mají za úkol přiblížit hlavně princip jednotlivých koncepcí, od kterého se bude odvíjet volba optimálního řešení prostorového uspořádání. Návrhy jsou názorně ukázány na barevných schématech, kde ještě nejsou vyznačeny například uličky mezi stanovišti či není řešena detailně proporce ploch, ale myšlenka zůstane už stejná.

5.1.1 Koncept 1

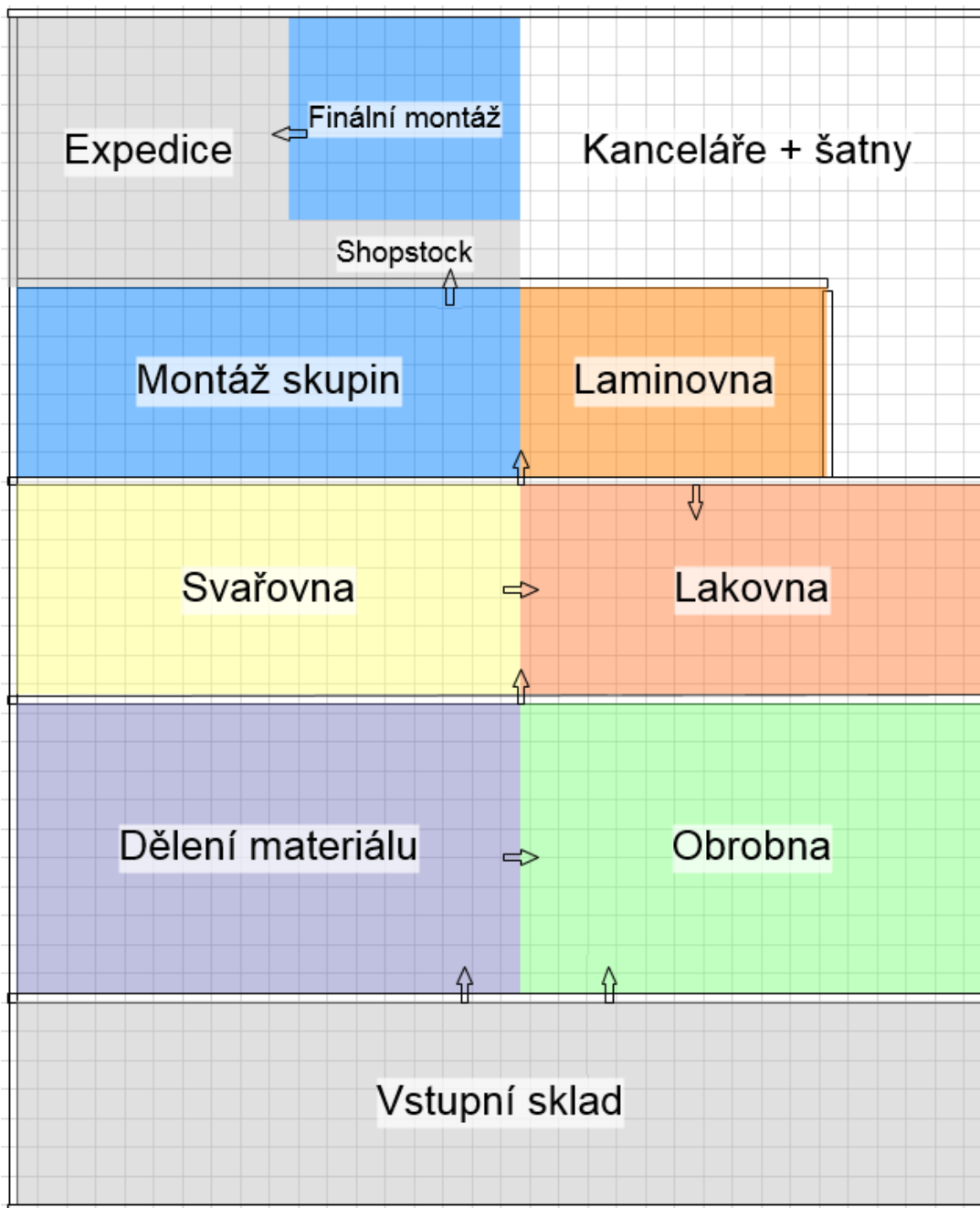
Na obrázku 5-3 vidíme první návrh uspořádání. Máme zde technologicky uspořádané pracoviště, za kterými následuje montáž podsystemů (skupin). Montáž skupin je situována tak, aby po smontování jednotlivých podsystemů odcházely moduly do shopstocků, kde si je montér postupně odebírá a sestavuje finální monopost. Po sestavení monopostu se zkontroluje kvalita vozu a poté se vůz předává na expedici. Nutno podotknout, že při roční výrobě 130 kusů není nutná příliš velká plocha pro expedici. Toto uspořádání pracovišť se blíží přímkovému uspořádání, jelikož materiál putuje jedním směrem z jednoho konce výroby na druhý. Díky shopstockům není nutné mít ve výrobě další mezisklady, což ušetří jak prostor, tak i čas.

Výhody konceptu:

- není nutné mít mezisklady,
- montáž podsystemů a finální montáž na sebe přímo navazují,
- možnost zavedení více strojové obsluhy (využití kapacit dělníků),
- vstupní sklad vedle dělení materiálu (přeprava velkého množství materiálu).

Nevýhody konceptu:

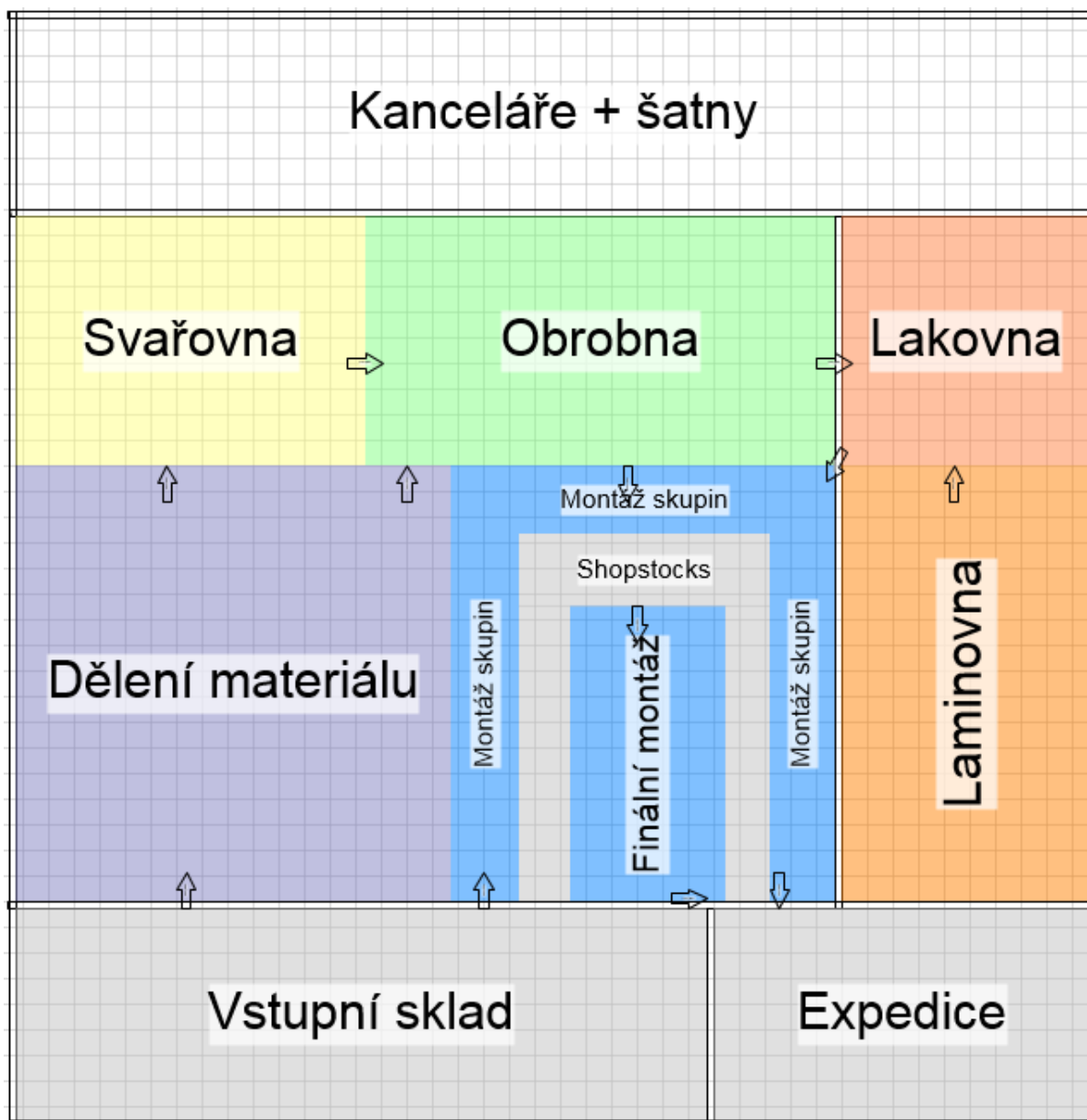
- vstupní sklad je poměrně daleko od ostatních částí výrobního systému,
- dlouhá cesta nevyráběných komponent mezi skladem a finálním pracovištěm (např. dopravit nakupovanou pneumatiku ze skladu na finální montáž).



Obrázek 5-3 Konceptní návrh 1

5.1.2 Koncept 2

V druhém návrhu koncepčního řešení je kladen důraz na předchozí chyby. Zároveň je nutné zachovat dobré myšlenky z konceptu předchozího. Na obrázku 5-4 je vidět princip prostorového uspořádání pracovišť do písmene U. Tento typ se zdá být pro naši problematiku optimální. Zde je vstupní sklad a expedice na stejném místě. Montáž podsystémů a finální montáž je opět „oddělena“ shopstocky, v tomto případě se však montáže nacházejí uprostřed. Ze všech částí výrobního systému je tak k montáži blízko. Dělení materiálu se nachází hned u vstupního skladu, čímž je docíleno nižšího přepravního výkonu. Po smontování monopostu je opět vůz kontrolován a dopravován do expedičního skladu.



Obrázek 5-4 Koncepční návrh 2

Výhody posledního konceptu:

- není nutné mít mezisklady,
- montáž podsystémů a finální montáž na sebe přímo navazují,
- možnost zavedení více strojové obsluhy (využití kapacit dělníků),
- vstupní sklad a expedice vedle sebe,
- kratší vzdálenosti mezi vstupním skladem a ostatními částmi výrobního systému,
- vstupní sklad vedle dělení materiálu.

Nevýhody druhého konceptu:

- obousměrná dopravní cesta (potenciální vznik kolize)

5.1.3 Vyhodnocení koncepčních variant

Ve druhém návrhu si můžeme všimnout, že jsou dělení materiálu i laminovna hned vedle vstupního skladu. Mezi skladem a těmito pracovišti je totiž velká intenzita materiálu. Je tedy velkou výhodou, že materiálový tok v tomto případě nebude tak dlouhý, jako by tomu bylo v prvním koncepčním návrhu. Další výhodou u druhého konceptu je sklad. Vzhledem k tomu, že je vstupní sklad a expedice na jednom místě, ušetříme pracovních sil (jeden skladník). Svařovna a lakovna jsou v obou případech v rozích, což je pro tyto rizikové pracoviště optimální. Z tohoto hlediska nezaostává ani jeden koncept. U druhého konceptu bude dopravní cesta připomínající písmeno U sice delší než v konceptu prvním, bude ale obousměrná a paradoxně pak vzdálenosti mezi pracovišti budou kratší. Asi největší výhodou druhého konceptu, je vzdálenost finální montáže od skladu. V navrhovaném výrobním systému je totiž hodně komponent nakupovaných. Takové komponenty se dovážejí ze skladu přímo na montáž podskupin nebo rovnou na finální montáž (pneumatiky, motor aj.). Je tedy dobré mít situované montáže blízko skladu.

Z těchto důvodů je druhý koncept zvolen jako výchozí pro návrh finálního layoutu. Hlavní filozofie konceptu tkví ve vzdálenosti. Vše je ke všemu relativně blízko, což je při ročním objemu 130 kusů vhodné. Nyní se můžeme pustit do detailního návrhu layoutu.

5.2 Postup při návrhu layoutu

V této podkapitole bude popsáno, jak se postupovalo při tvorbě optimálního řešení prostorového uspořádání systému pro výrobu 130-ti studentských formulí za rok. Nejprve si pojdme znovu připomenout jednotlivé úseky a představit jejich podobu v digitální továrně. Jak bylo výše zmíněno, digitální podnik byl modelován v softwaru visTABLE, kam byly i přes nástroj Object Manager importovány potřebné 3D modely (formát .wrl). Jednotlivé části layoutu tedy jsou:

- dělení materiálu,
- laminovna,
- obrobna,
- svařovna,
- lakovna,
- montáž skupin (podsystemů),
- finální montáž monopostu,
- shopstocky,
- kontrola kvality,
- vstupní sklad a expedice,
- kanceláře a šatna.

Dělení materiálu

Dělení materiálu se nachází hned vedle vstupního skladu. Jak už bylo řečeno, mezi vstupním skladem a dělením materiálu přepravujeme velké množství materiálu, a to zejména pro podsystem rámu. V kapacitních propočtech bylo zjištěno, kolik bude potřeba strojů. Jedná se o laserový stroj TRULASER 3030 a o CNC stroj pro řezání vodním paprskem PTV Precise Jet. Na obrázku 5-5 pracoviště vidíme. Vzadu si můžeme všimnout dalšího stroje, kterým je ohýbačka TRUBEND SERIES 3000 situovaná hned vedle dělení materiálu. Mimo strojů můžeme také vidět dělníky či příslušenství na manipulaci s materiálem.



Obrázek 5-5 Dělení materiálu

Laminovna

Podobně jako dělení materiálu je laminovna situována blízko skladu. Množství, dovážené tkaniny a materiálu potřebného na výrobu kapotáží, bočnic aj., je opět velké. Laminovna je velmi specifické pracoviště, a to by mělo také být zohledněno v prostorovém uspořádání. Laminovna bude oddělena tenkými zdmi a stříškou (v layoutu jen naznačeno), pro čisté a klimatizované prostředí, které si proces laminování žádá.



Obrázek 5-6 Laminovna

Proto je také výhodou, že je laminovna podle koncepčního návrhu situována do rohu výrobní haly. Dále musí být laminovna opatřena vzduchotechnikou a biofiltrem, které snižují plynné

emise vznikající při laminování. V laminovně se nachází dva stroje Autoclave MK A-150, jedna vakuová pumpa VP4300, pracovní stoly, regály, skříně s náradím a příslušenství pro manipulaci s materiálem. Na obrázku 5-6 laminovnu vidíme.

Obrobná

Stejně jako u předchozích pracovišť bylo na základě vypočítaných kapacit navrženo pracoviště obrobný. Zde se jedná o šest strojů, přičemž pro výrobní program je třeba čtyř vertikálních obráběcích CNC center KOVOSVIT MCV 754 QUICK a dvou CNC soustruhů KOVOSVIT MAS SP280 SY. Opět na pracovišti můžeme vidět pracovníky a příslušenství pro manipulaci s materiálem. (viz obrázek 5-7) Na obrázku je také hezky vidět, že jsou stroje v obrobně umístěny vždy naproti sobě. Je zde tedy možnost vícestrojové obsluhy.



Obrázek 5-7 Obrobná

Svařovna

Při svařování platí podle normy ČSN 05 0600 bezpečnostní ustanovení. Návrh umístění svařovny ve výrobní hale je opět trochu specifický. Svařovací pracoviště musí být řešené tak, aby nedošlo k požáru nebo výbuchu, úrazu a újmě na zdraví (rizikové faktory jako např. záření, hluk atd.). Na pracovišti by měly být výstražné prostředky a signály, které slouží k upozornění v případě nebezpečí. Ve svařovně nemůžou být kartony, palety a jiné hořlavé látky. Svařovací pracoviště musí mít dostatečné větrání. Na obrázku 5-8 můžeme ve svařovně vidět dva svařovací stoly, svařovací invertor WSME 200 AC/DCPULSE s MIG/MAG svářečkou COMPACT 428 WN, skříně na náradí a přípravky, regál, místo pro odpad, hasící přístroj a na obrázku je taky poměrně jasně naznačeno odvětrávání škodlivin. Celá svařovací buňka je situovaná v rohu i kvůli záření. Dvě stěny, směřující do výrobní haly, jsou opatřeny zatmavenými skly.



Obrázek 5-8 Svařovna

Lakovna

Lakovna se skládá z lakovacího boxu o rozměrech 6x5 metrů a z prostoru pro odkládání a schnutí lakovaných komponent (4x4 metrů). Každý rám se po svařování lakuje. Rám je nejrozměrnější část monopostu, je tedy nutné dobře navrhnout manipulační prostor mezi lakovnou a plochou pro schnutí. Dále je u lakovny nutné zajistit větrání a odsávání vzniklých škodlivin. Pracoviště musí být vhodně osvětleno a nesmí dojít k úniku vzduchu, obsahující páry rozpouštědel v nebezpečném množství nebo koncentraci. Lakovnu vidíme na obrázku 5-9.



Obrázek 5-9 Lakovna

Montáž

Montáž se skládá z několika částí. Na obrázku 5-10 můžeme vidět, že se jedná o montáž podskupin, která se nachází přímo u dopravních cest, dále o spádové regály (shopstocky) pro hotové podskupiny a nakupované díly a konečně i finální montáž monopostu. Po komplementaci všech dílů probíhá na finálním pracovišti kontrola formule. Jak můžeme vidět, montážní úsek je vybaven stoly, regály, vozíky s přepravkami, nářadím a příslušenstvím pro jednotlivé podskupiny. Pracoviště pro finální komplementaci je vybaveno jeřábem jednak pro zasazení motoru do rámu formule, tak i pro manipulaci s hotovým monopostem. Celý úsek montáže je situován do prostředku výrobní haly a vzdálenosti z okolních pracovišť jsou tak krátké. Velkou výhodou je také vzdálenost vstupního skladu a expedice.



Obrázek 5-10 Montáž

Vstupní sklad a expedice

Vstupní sklad a expedice jsou umístěny vedle sebe. Je tedy velkou výhodou, že zde může operovat pouze jeden skladník. Sklad je vybaven klasickými skladovými regály, manipulační technikou a boxy pro odpad. Expedice pak jeřábem pro nakládání monopostů. Vizualizaci skladu a expedice můžeme vidět na obrázku 5-11.

Kanceláře, šatna, sociální zařízení

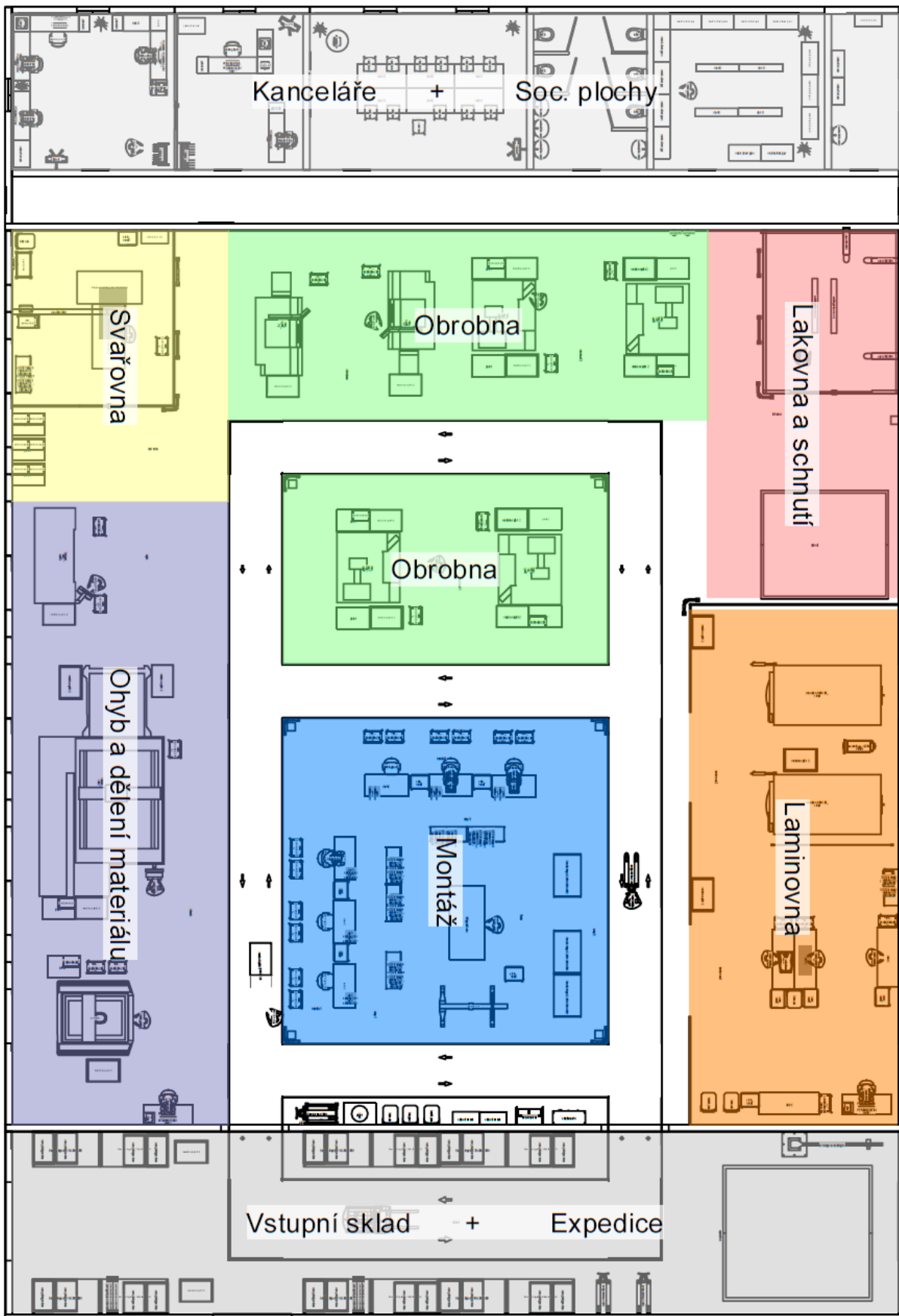
Při návrhu bylo myšleno i na kanceláře pro vyšší a střední management a denní místnost, kde se může konat porada nebo zde můžou pracovníci trávit přestávku. V podniku se také nachází šatna se záchody se sprchami.



Obrázek 5-11 Vstupní sklad a expedice

Takto se tedy postupovalo při tvorbě layoutu. Nejprve byly importovány potřebné modely strojů a zařízení do knihovny SAE v programu visTABLE. Poté se vymodelovala jednotlivá pracoviště a začala se rozmisťovat podle koncepčního návrhu. Prvotní rozměr výrobní haly byl na základě kapacitních propočtů stanoven na 30 x 25 metrů. Po rozmístění všech pracovišť a dopravních cest se však ukázalo, že navrhovaná plocha je malá. Nebyly totiž splněny požadavky bezpečných vzdáleností prvků systému (stroj od stroje, stroj od dopravní cesty, stroj od zdi atd.), které byly popsány v teoretické části diplomové práce. Plocha výrobní haly se tedy musela zvětšit na konečných 33 x 33 metrů. Tento rozměr byl pro výrobní halu optimální. Dále se tedy mohl navrhnout prostor pro sklad a expedici, přičemž bylo dbáno na zachování šířky 33 metrů. Podmínkou také byly dva vstupy, resp. výstupy na/z halu/y. Prostor pro sklad a expedici byl tedy navržen na 33 x 7 metrů. Nakonec bylo navrhováno zázemí pro pracovníky. Opět bylo počítáno s šířkou podniku 33 metrů. Kanceláře, denní místnost, šatna, záchody a sprcha jsou pak rozděleny do místností s různými délkami a stejnou šířkou 6 metrů. Mezi výrobní halou a kanceláři vede dva metry široká chodbička, ze které jsou dvě možnosti vstupu do výroby. Půdorys výrobního podniku má tedy celkové rozměry 33 x 48 metrů (1584 m²). Jak tedy návrh layoutu v této fázi vypadá, můžeme vidět na obrázku 5-12. Zajímavé je pak také porovnání našeho layoutu s layoutem pro roční objem výroby 1000 kusů. Autor v práci ale rozměry layoutu (1000 kusů) neudává. Srovnání tedy bude ukázáno v příloze této práce formou obrázku.

Když už máme návrh uspořádání hotový, je nutné ověřit přepravní výkon takto navrženého systému. Níže tedy bude nastíněno, jak se postupovalo při tvorbě materiálových toků v programu visTABLE.



Obrázek 5-12 Layout výrobního systému s vyznačenými plochami pracovišť

Materiálové toky

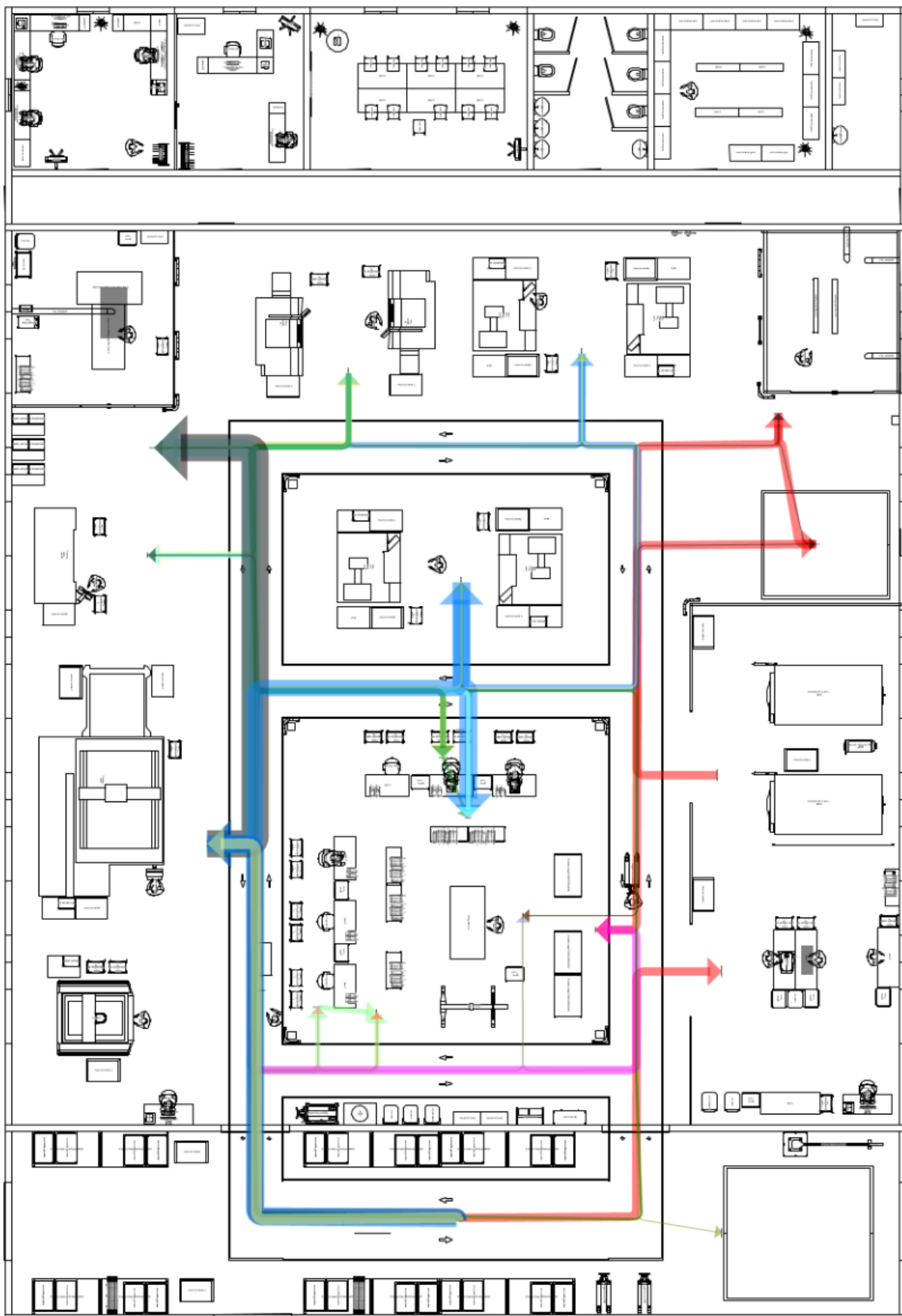
Vzhledem k tomu, že se závodní monopost skládá z velkého množství komponent, bylo nutné zvolit správný postup pro vytvoření materiálových toků. Komponenty nejprve byly rozděleny do vyráběných a nakupovaných částí. U nakupovaných komponent se jedná o pohyb materiálu ze vstupního skladu k montáži jednotlivých podskupin nebo rovnou do regálů u finální montáže. Proto jsou tyto komponenty dopravovány k jednotlivým částem montáže vozíkem. Ve vozíku je pak množství komponent potřebné pro jednotlivou podskupinu nebo pro finální monopost. Příkladem této skupiny může být motor s koncovkou výfuku, které jsou společně přepravovány k finální montáži. Motor i koncovka jsou nakupovány a pak už jen přimontovány na rám formule. To by tedy byly nakupované komponenty. Dále musely být rozděleny komponenty vyráběné do jednotlivých skupin (materiálových toků). Dvěma velkými skupinami je skupina pro rám a skupina výrobků, vyráběných v laminovně (skořepiny). U rámu je skupina materiálového toku shodná s podsystémem formule. Není tomu ale vždy tak i u ostatních skupin. Většinou byly sjednoceny komponenty podobného charakteru nebo se stejným technologickým postupem, jako např. zmíněná skupina skořepiny. Tímto způsobem vzniklo celkem 12 skupin materiálových toků, které jsou vypsány níže a v příloze na CD ROM jsou podrobně řešeny v MS Excel. Skupiny materiálových toků tedy jsou:

- Rám,
- Skořepiny,
- Elektronika,
- Motor + koncovka výfuku,
- Vozíky mix,
- Chladicí systém + pedál + řízení + pohon,
- Křídlo,
- Motorový a palivový systém,
- Výfuk,
- Crash,
- Kolo,
- Formule.

U každé skupiny materiálového toku bylo vypočítáno, kolik materiálu vstupuje ze vstupního skladu do výroby, přes jaké pracoviště a v jakém množství dále výrobní halou materiál teče. Pro názornost se podívejme na skupinu výfuk (tabulka 5-1). Na obrázku 5-13 pak můžeme vidět layout s materiálovými toky (Sankeyův diagram).

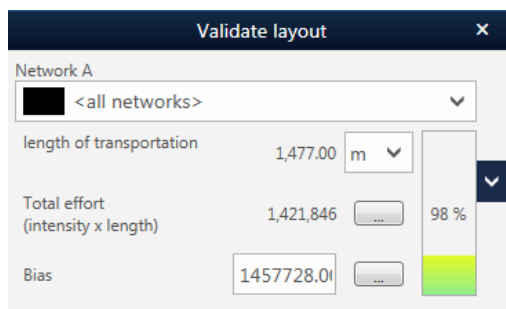
	Source	Sink	Intensity	Network	Color
výfuk	sklad	svarovna	130	_výfuk	
	sklad	deleni	1500	_výfuk	
	deleni	obrobna s	520	_výfuk	
	deleni	svarovna	3300	_výfuk	
	obrobna s	ohyb	910	_výfuk	
	svarovna	shop3	130	_výfuk	
	obrobna s	montaz2	520	_výfuk	
	ohyb	shop3	910	_výfuk	
	deleni	shop3	910	_výfuk	

Tabulka 5-1 Materiálový tok – výfuk

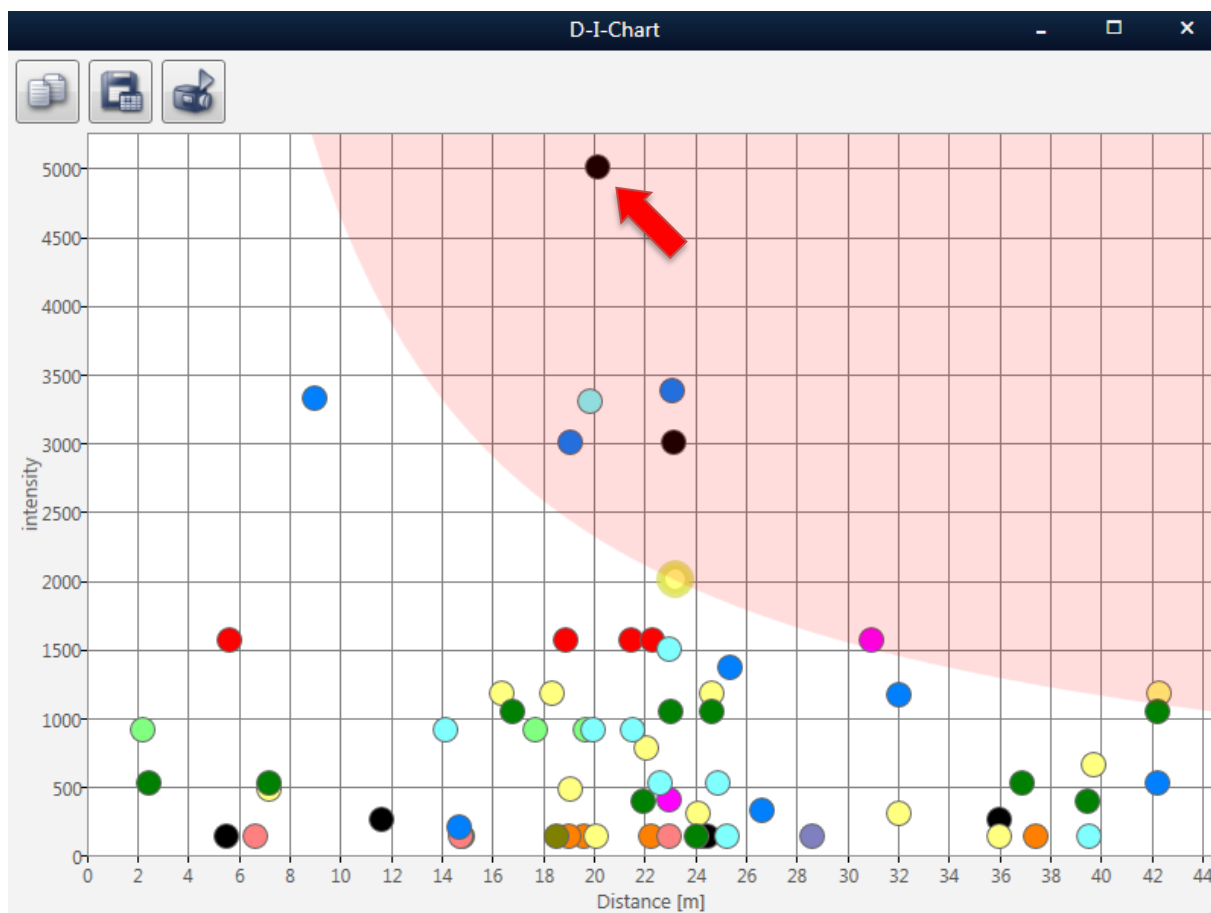


Obrázek 5-13 Layout výrobního systému – materiálové toky

Pro prostorové uspořádání, které můžeme vidět na obrázku 5-13, nám program vypočítal přepravní výkon a vyhotovil I-D diagram (obrázky níže).



Obrázek 5-14 Přepravní výkon



Obrázek 5-15 I-D diagram

Velká výhoda programu visTABLE je, že dokáže přepočítat materiálové toky (resp. přepravní výkon) v reálném čase. Znamená to tedy, že jen budeme při hledání optimálního řešení přesouvat objekty a hodnoty přepravního výkonu se budou automaticky přepočítávat. Cílem je tedy najít řešení, které bude mít nejmenší přepravní výkon a zároveň se např. nebudou křížit cesty (materiálové toky). Dále je také nutná celková přehlednost uspořádání a bezpečné vzdálenosti mezi jednotlivými prvky systému. Na I-D diagramu můžeme vidět kritický bod (červená šipka). Jedná se o přepravu materiálu z dělení ke svařování. Bylo by tedy dobré vzdálenost přepravy zkrátit.

5.3 Optimální řešení

Jak už bylo výše řečeno, přemístováním objektů bude hledáno optimální řešení layoutu. Před tím, než se do hledání optimálního řešení pustíme, je nutné si definovat jednotlivé omezení a priority. Jednou z priorit musí být pozice dělení materiálu a laminovny. Do těchto dvou pracovišť teče ze skladu velké množství materiálu, je proto nutné, zachovat jejich umístění. Dále je nutné zaměřit se na vzdálenost mezi dělením materiálem a svařovnou. Další prioritou je montáž. Vzhledem ke konceptu uspořádání do písmene U je nutné, aby montáž zůstala uprostřed výrobní haly a cesty byly situovány kolem montáže do písmene U. Posledním omezením jsou pak specifické pracoviště. Mluvíme nyní o svařovně a lakovně. U těchto pracovišť je optimální umístění v rozích výrobní haly. Pojdme si omezení a priority shrnout:

- Dělení materiálu co nejbližší skladu
- Laminovna co nejbližší skladu
- Vzdálenost mezi dělením materiálu a svařovnou
- Montáž uprostřed výroby (zachování konceptu U)
- Svařovna a lakovna v rozích (odsávání, lepší bezpečnost atd.)

Na základě určených omezení a priorit bylo hledáno optimální řešení. Po přesouvání objektů se ale vzhledem k omezením přepravní výkon téměř nelišil, a když už o zlomek procenta klesnul, byl problém v nepřehledném uspořádání. Kvůli omezení také nebylo nalezeno řešení kratší trasy od dělení ke svařovacímu pracovišti. Je na místě tedy konstatovat, že první návrh uspořádání (obrázek 5-12), který splňuje všechny priority a omezení, je pro výrobní program 130-ti formulí za rok **optimální**.

5.4 Shrnutí

V páté kapitole jsme se dozvěděli, jak bylo postupováno při návrhu optimální varianty pro prostorové uspořádání výrobního systému. Ze všeho nejdřív byly navrhnuty dvě varianty koncepčního řešení. Pro zajímavost byl představen i koncept z práce Michala Zoubka, který řešil stejný problém, jen pro výrobní objem 1000 kusů za rok. Z dvou navrhnutých variant byla vybrána ta lepší, což bylo i okomentováno jasnými důvody. Byl tedy vybrán koncept uspořádání, který připomíná svým tvarem písmeno U. Dalším krokem bylo vytvoření projektu v programu visTABLE. Nejprve byly vloženy všechny potřebné objekty do výrobní haly o základních rozměrech 30 x 25 metrů, což se později projevilo jako nevyhovující. Výrobní hala tedy musela být zvětšena (33 x 33 m). Tento rozměr byl i nakonec pro výrobní halu optimální. Pracoviště byla umístěna podle filosofie konceptu U a byl brán ohled i na specifická pracoviště (umístění svařovny a lakovny do rohů, lepší bezpečnost, manipulační prostor, odsávání škodlivých výparů atd.), či dodržení krátké vzdálenosti dělení materiálu a laminovny od vstupního skladu. Všechna pracoviště byla vybavena potřebným příslušenstvím a stroji, vypočítanými dříve v kapacitních propočtech. Ne všechny stroje jsou využity na 100% (např. obrobna) a proto je zde možnost nevyužitou kapacitu nabídnout jiným firmám. Poté byly domodelovány sklad, expedice, kanceláře, denní místnost, šatna, záchody a sprcha. Dopravní cesty byly zvoleny se šířkou dva metry (ve skladu 3 m). Plocha celé haly pak byla 1584 m² (33 x 48 m). Vzhledem k velkému počtu komponent, z kterých se formule skládá, byly komponenty rozděleny do 12-ti skupin materiálových toků. Na základě těchto dat bylo možno zjistit přepravní výkon navrženého layoutu. Dalším cílem tedy bylo zjistit, jestli existuje řešení lepší. Při dodržení definovaných omezení a priorit nebylo lepší řešení nalezeno a první návrh layoutu byl zvolen jako optimální.

Závěr

Diplomová práce se dá rozdělit do dvou hlavních částí. V první části byla provedena studie potřebných informací k projektování prostorového uspořádání. Nejprve byl definován výrobní systém, bylo provedeno druhové členění výroby a poté byl charakterizován layout. Důležité bylo představit základní typy prostorového uspořádání. Před tím, než byla popsána pravidla projektování, byly stručně představeny nástroje pro tvorbu layoutů. V této části práce byl představen také software visTABLE, ve kterém se návrh prostorového uspořádání projektoval. Stále platí, že jestli chce být podnik na trhu úspěšný, musí být konkurenceschopný. Základní parametry ovlivňující konkurenceschopnost, jako např. náklady, kvalita výrobku, dodací lhůty nebo pružnost reagování a rozhodování, byly také společně se základními parametry podniku představeny. První část tedy můžeme nazývat teoretickou a jejím cílem bylo získat potřebné znalosti o projektování prostorového uspořádání. Vzhledem k dodržení rozsahu práce a k tomu, že problematika je poměrně široká, byl vždy kladen důraz jen na potřebné informace.

Druhá část začíná analýzou výrobního systému. Zde byl představen tým UWB Racing team Pilsen, který se se svou formulí každoročně účastní studentských soutěží o nejlepší formuli. Nejen, že byla představena soutěžní formule, ale také pravidla závodů, díky kterým byla vysvětlena podstata této práce. Součástí soutěže je totiž prezentace, ve které studenti představují výrobní program pro svou formuli. Průzkumem trhu studenti zjistili, že výrobní objem 1000 kusů za rok, který prezentovali v minulosti na soutěžích, je nereálný. Vyšlo jim totiž, že by bylo možné ročně prodávat “pouze“ 130 monopostů. Takové zjištění bylo impulsem k řešení této diplomové práce. Po představení týmu byly vypočítány kapacitní propočty, díky kterým se mohlo přistoupit k navrhování layoutu. Nejprve byly představeny dvě koncepční varianty layoutu, ze kterých byla vybrána ta lepší. Pak už byl v softwaru visTABLE projektován návrh dispozice. Prvotní návrh výrobní haly se musel předělat, resp. hala se musela zvětšit kvůli bezpečným vzdálenostem jednotlivých prvků v systému. Po vyřešení tohoto problému se podnik rozrostl o sklad, expedici, kanceláře, denní místnost, šatnu, WC a sprchy. Dalším krokem bylo vytvořit Sankeyův diagram a zobrazit tak materiálové toky na již hotovém návrhu prostorového uspořádání. K tomu musely být jednotlivé komponenty rozděleny do dvanácti skupin. Po stanovení omezení a priorit v layoutu bylo hledáno optimální řešení. Nakonec se ale ukázalo, že prvotní návrh layoutu je optimální.

Cíl práce byl tedy splněn a výsledek (prostorové uspořádání) bude předán týmu UWB Racing team Pilsen, aby ho v letošní sezóně mohl na soutěžích prezentovat.

Seznam použité literatury

- [1] Katedra výrobních systémů. *TUL* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/co-je-vyrobni-system>
- [2] MILLER, A., BUREŠ, M., ŠRAJER, V., PEŠL, J. *Projektování výrobní základny - teoretická část*. 1. vyd. Plzeň : SmartMotion s.r.o., 2013, ISBN: 978-80-87539-30-9.
- [3] GREGOR, M., KOŠTUIRAK, J., MATUSZEK, J., MIČIETA, B.: *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*, Žilinská univerzita v Žilině v EDIS, Žilina , 2000, ISBN 80-7100-553-3
- [4] TOMEK, G., VÁVROVÁ, V.: *Řízení výroby*, Grada Publishing, Praha, 2000, ISBN 80-7169-955-1
- [5] HLAVENKA, B.: *Projektování výrobních systémů*. CERM, Brno, 2005, ISBN 80-214-2871-6
- [6] VisTABLE@touch. *Vistable.de* [online]. [cit. 2017-06-02]. Dostupné z: <http://www.vistable.de/vistabletouch-software>
- [7] Němec, J.: *Projektování manipulace s materiálem*, Plzeň: ZČU, 1998
- [8] MILLER, Antonín. *KRITÉRIA A EFEKTY PROSTOROVÉHO USPOŘÁDÁNÍ VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ*. Plzeň, 2009. SVOČ. ZČU.
- [9] Formula SAE. *Uwbracing.cz* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://uwbracing.cz/formula-sae/>
- [10] Formula SAE. *Simscale.com* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <https://www.simscale.com/blog/2015/12/formula-sae-how-to-optimize-a-fuel-tank-in-motor-sports/>
- [11] Eforce. *Eforce.cvut* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://eforce.cvut.cz/cs/info/formulastudent#content>
- [12] Formula student. *Wikipedie* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Formula_Student
- [13] ZOUBEK, Michal. *Prostorové uspořádání pro nový výrobní program*. Plzeň, 2016. Diplomová práce. ZČU v Plzni.
- [14] MILLER, A., BUREŠ, M., KURKIN, O., PEŠL, J. *Projektování výrobní základny - praktická část*. 1. vyd. Plzeň : SmartMotion s.r.o., 2013, ISBN: 978-80-87539-31-6
- [15] HORVÁTH, Gejza. *Logistika ve výrobním podniku*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2007. ISBN 978-80-7043-634-9.

Seznam příloh

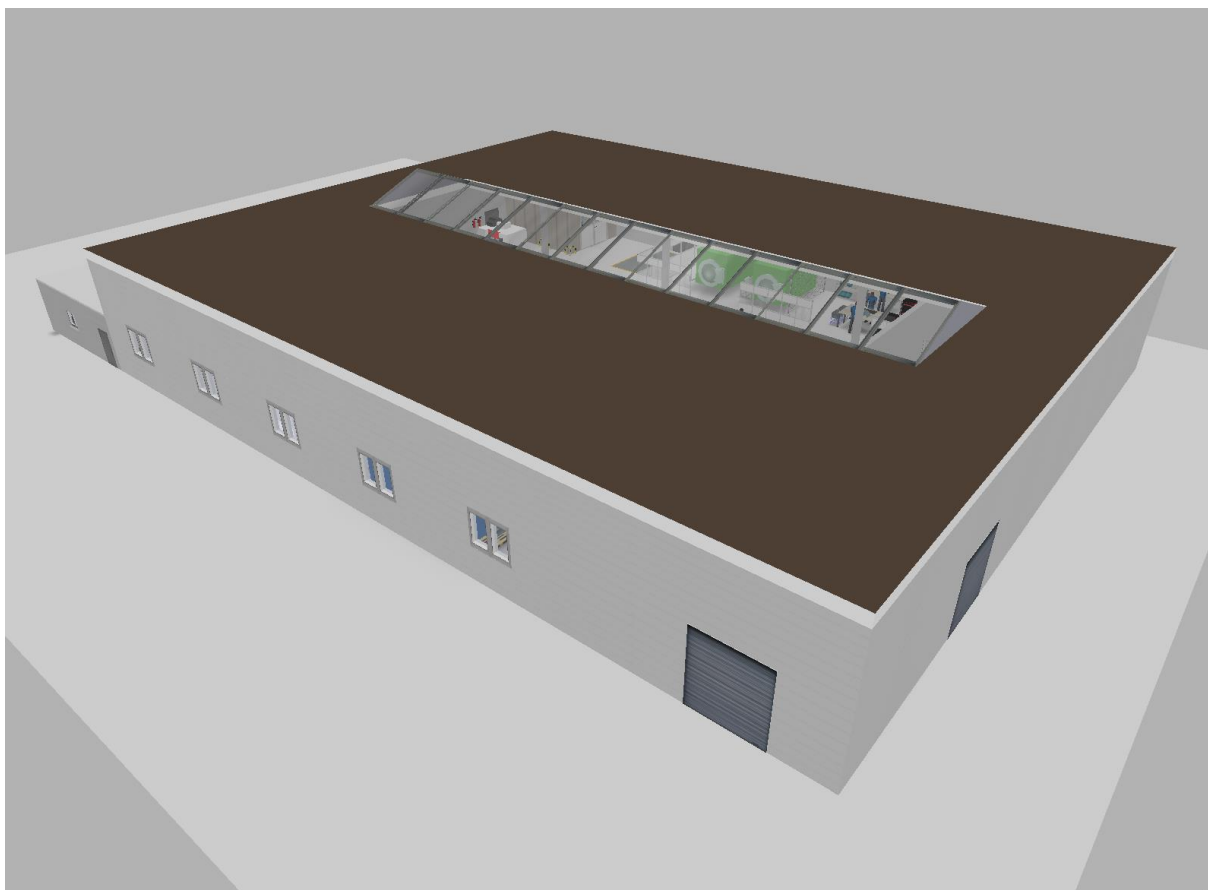
PŘÍLOHA č. 1 – Obrázky layoutu haly	I
PŘÍLOHA č. 2 – Rozdíl mezi layouty pro 1000 a 130 kusů za rok	VI

PŘÍLOHA č. 1

Obrázky layoutu haly









PŘÍLOHA č. 2

Rozdíl mezi layouty pro 1000 a 130 kusů za rok

