

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Prostorové uspořádání pro nový výrobní program

Autor: **Bc. Michal ZOUBEK**

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

Akademický rok 2015/2016

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

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Michalovi Šimonovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné rady a připomínky, které mi poskytl během psaní této práce.

Děkuji také členům UWB Racing Team Pilsen za spolupráci během zpracování praktické části práce a Ing. Martinovi Kratochvílovi za odbornou konzultaci.

Dále bych chtěl poděkovat rodinným příslušníkům za pomoc při gramatické korektuře textu diplomové práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Zoubek	Jméno Michal	
STUDIJNÍ OBOR	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Šimon, Ph.D.	Jméno Michal	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Prostorové uspořádání pro nový výrobní program		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	130	TEXTOVÁ ČÁST	122	GRAFICKÁ ČÁST	8
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce se zabývá tématem prostorového uspořádání výrobních systémů. Jedná se o poměrně širokou problematiku a v první části práce je tato oblast podrobena teoretickým poznatkům. Návrh výrobní dispozice podporuje určitá metodika zpracování, která kombinuje klasický přístup s moderním digitálním způsobem projektování. Tyto přístupy korespondují s praktickou částí, která tvoří druhou část diplomové práce. Objektem řešení je zde monopost Formula SAE, pro který je vytvářen návrh layoutu pro sériovou výrobu. Výstupem je kompletní návrh výrobně – montážní haly včetně zpracování materiálových toků.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Výrobní systém, prostorové uspořádání, layout, materiálový tok, Formula SAE, návrh.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Zoubek	Name Michal	
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	Spatial layout for the new production program		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	130	TEXT PART	122	GRAPHICAL PART	8
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis is focused on spatial arrangement of production systems. This is relatively wide theme, thus first part describes its theoretical principles. Design of a production layout is based on processing methodology that combines classic approach together with modern digital design method. These approaches correspond with the practical part, which forms the second part of this thesis. The object of the solution is the single –seater Formula SAE that is created for a fictive proposal production layout for lot production. The output is a complete design of production–assembly layout, including the processing of material flows.</p>
KEY WORDS	<p>The production system, spatial arrangement, layout, material flow, Formula SAE, design</p>

OBSAH

Přehled použitých odborných výrazů	11
Úvod	12
1 Úvod do problematiky projektování výrobních systémů.....	13
1.1 Charakteristika výrobních systémů.....	13
1.1.1 Výrobní procesy	14
1.1.2 Požadavky na výrobní systém	15
1.2 Podnikové postavení projektování výrobních systémů	16
1.2.1 Základní otázky projektování výrobních systémů	17
1.2.2 Důvody ke změně ve výrobním systému	17
1.2.3 Výhody vhodně projektovaného výrobního systému.....	18
1.2.4 Etapy projektování výrobních systémů	19
1.3 Systémový pohled na projektování výrobních systémů.....	20
2 Prostorové řešení výrobního systému	22
2.1 Charakteristika problematiky – layout.....	22
2.2 Obecný postup při návrhu výrobní základny	24
2.2.1 Postup budování štíhlého layoutu	27
2.2.2 Vstupní data pro řešení návrhu prostorového uspořádání	28
2.3 Prostorové struktury výrobních systémů	29
2.3.1 Volné uspořádání.....	30
2.3.2 Technologické uspořádání.....	31
2.3.3 Předmětné uspořádání	33
2.3.4 Buňkové uspořádání.....	35
2.3.5 Modulární uspořádání	37
2.3.6 Kombinované uspořádání.....	37
2.4 Štíhlý layout a výrobní buňky.....	38
2.4.1 Přínosy, omezení a rizika štíhlého layoutu.....	39
2.5 Všeobecné zásady při vytváření výrobní dispozice	40
3 Prostorové řešení a materiálový tok.....	41
3.1 Materiálový tok – obecná charakteristika	41
3.2 Základní prvky rozboru hmotných toků	41
3.2.1 Materiál	42
3.2.2 Trasy.....	42
3.2.3 Tok materiálu	43
3.2.4 Vstupní data prostorového řešení ve vazbě na materiálové toky	43
3.3 Analýza materiálových toků	44
3.3.1 Sankeyův diagram	45

3.3.2	I – D diagram materiálových toků.....	45
3.3.3	Další metody	46
4	Projektování výrobních systémů v konceptu digitálního podniku.....	47
4.1	Postup tvorby prostorového řešení	47
4.2	Tvorba 2D/3D prostorového řešení výrobních systémů	49
4.2.1	Příprava 3D modelů	49
4.2.2	Návrh prostorového uspořádání a modelování výrobního systému	50
4.2.3	Softwarová podpora při návrhu prostorového uspořádání	51
4.2.4	Software visTABLE touch Software.....	51
4.3	Určení základních parametrů výrobního systému.....	54
5	Praktická část – návrh prostorového uspořádání	57
5.1	Informace o soutěži a týmu pro Formula SAE	57
5.2	Úvodní etapa zpracování – objekt řešení	59
5.3	Rozbor a analýza vstupních dat a parametrů	61
5.4	Statické hodnocení výrobního systému – kapacitní výpočty	64
5.4.1	Roční časové fondy	64
5.4.2	Časové ohodnocení	66
5.4.3	Kapacitní výpočty strojů a pracovníků.....	69
5.4.4	Montáž podsystémů.....	74
5.4.5	Prostorové propočty	74
6	Tvorba 3D prostorového řešení layoutu	78
6.1	Základní koncepty návrhu layoutu	78
6.1.1	Koncept 1 – technologické uspořádání výroby a montážní buňky	79
6.1.2	Koncept 2 – technologické uspořádání výroby a oddělená montáž	80
6.1.3	Koncept 3 – předmětné uspořádání výroby a montáží.....	82
6.1.4	Koncept 4 – technologické uspořádání a pohyblivá linková montáž.....	84
6.1.5	Rozhodovací analýza a výběr konceptu	85
6.2	Výrobní technologie a zásady tvorby layoutu	90
6.3	Detailní řešení 3D layoutu	94
6.3.1	Tvorba 3D modelů	95
6.3.2	Vstupní sklad.....	98
6.3.3	Administrativní prostory – kanceláře	99
6.3.4	Dělení materiálu	100
6.3.5	Obrobna.....	101
6.3.6	Laminovna.....	103
6.3.7	Svařovna.....	104
6.3.8	Lakovna.....	106

6.3.9	Montážní hala – podsystémy.....	106
6.3.10	Montážní hala – finální linka.....	110
6.3.11	Výsledný 3D model layoutu.....	114
6.4	Materiálové toky.....	115
6.5	Zhodnocení navrhovaného řešení.....	116
	Závěr.....	119
	Seznam použité literatury.....	120
	Seznam obrázků.....	121
	Seznam tabulek.....	122
	Seznam příloh.....	122

Přehled použitých odborných výrazů

Výrobní proces	<i>Souhrn technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností, jejichž účelem je měnit tvar, rozměry, složení, jakost a spojení výchozích materiálů a polotovarů.</i>
Výrobní systém	<i>Věcné, technologicky, časově, prostorově a organizačně jednotné seskupení hmotných zdrojů a pracovních sil určených pro výrobu vybraného sortimentu výrobků.</i>
Technologické projektování	<i>Kontinuální tvůrčí činnost zaměřená na zpracování variantologií výroby a montáže a technicko – organizačních variant uspořádání výrobních systémů.</i>
Layout	<i>Layout (anglicky plán, rozvrh), grafické rozvržení prostorového uspořádání výrobního systému.</i>
Systémový přístup	<i>Řešení je potřeba hledat již od prvotních elementů a jejich seskupováním dojdeme k dispozičnímu rozložení jednotlivých a následně layoutu celého podniku.</i>
Štíhlý layout	<i>Jeden z prvků štíhlé výroby, který by měl vést k eliminaci jednotlivých zdrojů plýtvání v oblasti prostorového uspořádání.</i>
Materiálový tok	<i>Organizovaný pohyb materiálu spojující jednotlivé výrobní operace nebo výrobní fáze.</i>
Sankeyův diagram	<i>Grafická metoda znázorňující materiálové toky, zahrnuje údaje jako délku (vzdálenost), tvar (přímočarost), směr, druh materiálu a intenzitu materiálového toku.</i>
I–D diagram	<i>Graf závislosti dvou parametrů, intenzity přepravy (množství přepravovaného materiálu na dané pracoviště za jednotku času) a vzdálenosti mezi počátečním a koncovým bodem.</i>
Formula SAE	<i>Mezinárodní soutěž pořádaná organizací SAE International (Society of Automotive Engineers), kde předmětem soutěže je monopost formulového typu.</i>
VisTABLE	<i>Software od německé společnosti Plavis GmbH pro tvorbu 3D prostorového řešení výrobního systému s možností optimalizace materiálových toků.</i>
Shopstocks	<i>Tzv. logistika vedle linky. Materiál je dovážený pracovníkem, který v přesně určeném výrobním mixu umísťuje materiál z tzv. „shopstocku“ do skluzů vedle linky.</i>

Úvod

Prostředí dané konkurenčními podniky a spotřebitelská poptávka jsou jedny z hlavních důvodů, kvůli kterým by měl podnik hledat cestu ke zvýšení efektivnosti. Základním prvkem je plně funkční výrobní systém s odpovídajícími podsystémy. Jedním z možných řešení zajištění tohoto klíčového prvku je vhodné prostorové uspořádání výrobního systému. Výrobní proces se přizpůsobuje návrhu výrobní základny, proto je tato problematika velice důležitá. Špatně navržené prostorové uspořádání jednotlivých prvků výrobního systému, kde se nemusí jednat jen o výrobní stroje a zařízení, může zapříčinit mnoho druhů plýtvání. Tyto druhy mohou být zejména ve formě dlouhých a komplikovaných dopravních cest v rámci vnitropodnikové logistiky, nepřehledných a zbytečných materiálových toků, zbytečného pohybu pracovníků či špatného využívání výrobních či pomocných ploch. Právě tyto negativní druhy vedou k příčinám zvyšování nákladů na výrobek.

Prostorové uspořádání prvků výrobního systému je poměrně široká problematika patřící do oblasti technologické projektování. Právě rozsah zpracování výrobní dispozice závisí na druhu projektovaného systému. Rozsáhlejší formou je kompletní návrh pro nový objekt řešení, druhou hlavní formou je racionalizace stávajícího systému, ze které následně vyplývají ekonomické efekty. Tyto projektované návrhy výrobního systému jsou založeny na určitých přístupech. Jedná se jednak o klasický komplexní přístup, který nadále zůstává využíván, nicméně je kombinován s moderním digitálním přístupem. Právě ten je podporován určitými softwarovými nástroji s možností 3D zobrazení a stává se tak účinným prvkem během zpracování prostorového uspořádání.

Právě s tímto přístupem koresponduje tato diplomová práce. Cílem je navrhnout prostorové uspořádání výrobní haly pro sériovou výrobu monopostu Formula SAE. Řešitelský tým této studentské formule se účastní mezinárodní soutěže, kde jednou z klíčových disciplín je návrh a představení kompletní výrobní haly pro tento monopost. Výstupem je zpracovaný 2D a 3D layout sloužící pro tento předmět soutěže. Tento výsledný návrh layoutu je zpracováván v softwaru visTABLE.

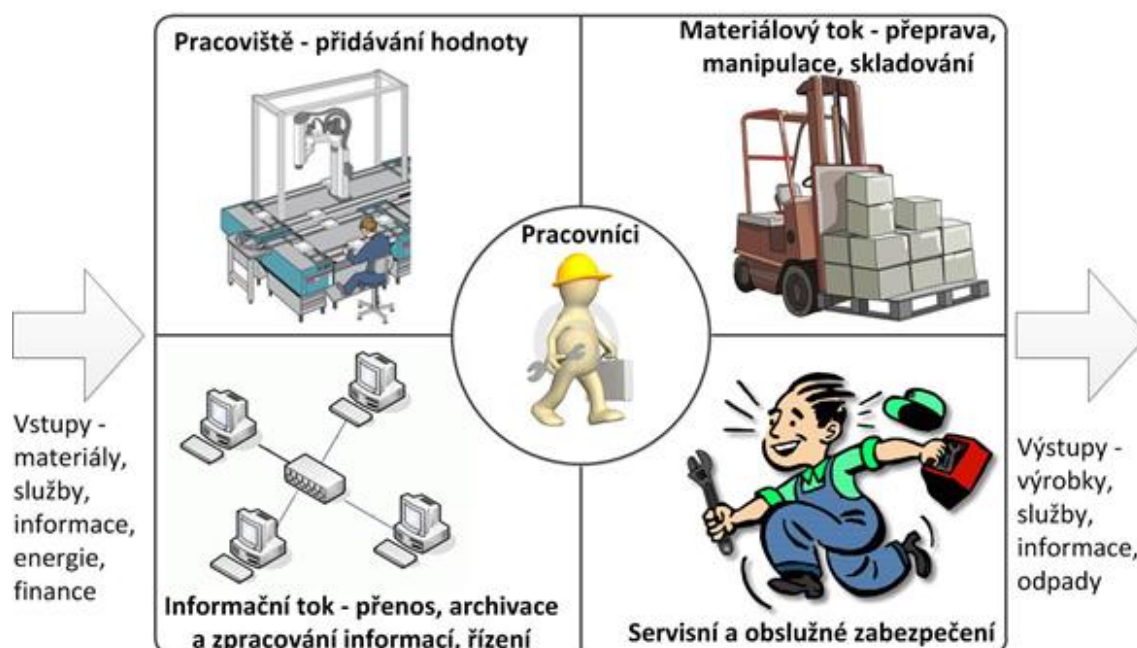
1 Úvod do problematiky projektování výrobních systémů

První kapitola diplomové práce je zaměřena na obecnou teorii výrobních systémů. Předtím, než se budeme věnovat samotné problematice navrhování prostorového řešení ve výrobním podniku, je důležité uvést a zmínit některé pojmy a oblasti, které s touto tematikou souvisejí, a budeme s nimi v dalších kapitolách prakticky stále pracovat. Pokud mluvíme o prostorovém řešení ve výrobním podniku, myslíme tím řešení právě systémů výrobních, proto tyto systémy jsou v první podkapitole popsány včetně jejich základních požadavků. Vysvětlen je také výrobní proces jako jedna ze základních složek produkčního systému. Větší část první kapitoly pojednává také o podnikovém postavení oblasti prostorového řešení výrobních systémů. V této souvislosti je zmíněno, co vlastně vede podniky ke změně projektování výrobních systémů a jaké jsou vyplývající výhody. Také jsou zmíněny jednotlivé etapy projektování výrobních systémů z komplexního hlediska. Obecný postup při sestavování návrhů prostorového řešení a náplň jednotlivých etap bude vysvětlena v průběhu diplomové práce, konkrétně ve druhé kapitole. Na závěr kapitoly je vysvětleno systematické pojetí projektování výrobních systémů, které v současnosti je a v budoucnosti bude praktikováno.

1.1 Charakteristika výrobních systémů

Výrobní proces je charakterizován jako souhrn technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností, jejichž účelem je měnit tvar, rozměry, složení, jakost a spojení výchozích materiálů a polotovarů z hlediska požadovaných technických a ekonomických podmínek vyráběného výrobků. Výrobní proces je uskutečňován prostřednictvím výrobních systémů. Tyto systémy lze v obecném pojetí popsat jako věcné, technologicky, časově, prostorově a organizačně jednotné seskupení hmotných zdrojů a pracovních sil určených pro výrobu vybraného sortimentu výrobků. Do hmotných zdrojů výrobního systému se zahrnuje materiál, energie, výrobní zařízení, pracovní prostředky. [1]

Jak je možné vidět z obrázku 1-1, výrobní systém se skládá ze základních podsystémů, kterými jsou pracoviště, materiálový tok, informační tok, servisní a obslužné zabezpečení a pracovníci.



Obrázek 1-1: Výrobní systém a jeho podsystémy [2]

Pracoviště je složka systému, kde se přidává hodnota výslednému produktu (například výrobní zařízení, stroje, montážní pracoviště). Materiálový tok zabezpečuje přepravu materiálu a výrobků mezi pracovišti, manipulaci s nimi na pracovištích a jejich skladování. Informační tok zajišťuje přenos, uchování a spravování informací. Dalším podsystémem je servisní a obslužné zabezpečení, které má na starosti komplexní údržbu, nástrojovou oblast pro výrobní zařízení na pracovištích, zásobování, starostlivost o pracovníky, spravování odpadů, energetiku, a další oblasti. Centrálním prvkem mezi těmito čtyřmi podsystémy, který je navíc integruje, jsou pracovníci (manažeři, vedoucí výroby, mistři, údržbáři, operátoři výroby, zásobovači, atd.). Právě od jejich způsobu práce, organizace, komunikace, dodržování norem a dohodnutých pravidel závisí nejvíc, jak efektivně bude celý systém pracovat. [2]

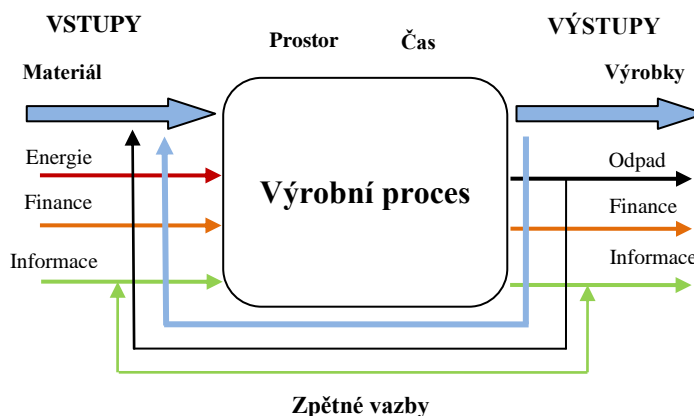
1.1.1 Výrobní procesy

Co se týká jednotlivých procesů, ve výrobním podniku jich probíhá mnoho. Proces je jednou ze základních složek produkčního systému.

Výrobní proces je definován jako souhrn pracovních, technologických a přírodních procesů, jejichž účelem je měnit tvar, složení, jakost a spojení pracovních předmětů za účelem získání užité hodnoty, tj. výrobku. [1]

Proces je soubor činností, které vyžadují jeden nebo více druhů dílčích vstupů a tvoří elementární transformaci dílčí výstup, který má pro zákazníka hodnotu. Je to řetězec činností, ve kterém se materiál mění na výrobek, nebo objednávka na službu zákazníkovi. Operace je činnost, ve které pracovník nebo stroj zpracovávají přidělenou položku. Každá operace začíná a končí událostí, která znamená umístění operací v reálném čase. [3]

Schéma výrobního procesu můžeme vidět na obrázku 1-2.



Obrázek 1-2: Schéma výrobního procesu

Definování procesů a procesní organizace podniku je základem, který je potřebné definovat už ve fázi projektování. Jak nejsou procesy ve výrobních a administrativních činnostech jasně definované, je velmi těžké udržet tyto procesy pod kontrolou, případně je zlepšovat.

Co se týká členění výrobních procesů, zmíníme klasický pohled na členění a hlavní hlediska a také pohled z hlediska štíhlé výroby.

1) Klasický pohled na členění výrobních systémů

Výrobní proces můžeme členit ze třech hledisek.

- a) Charakteru složek výrobního systému:

- technologický proces,
 - pracovní proces,
 - technologické pracovní činnosti.
- b) Vztahu k výrobku:
- hlavní výrobní,
 - pomocný výrobní proces,
 - vedlejší (obslužný) výrobní proces.
- c) Vztahu k výrobnímu programu. [4]

2) Pohled na členění výrobních procesů dle Štíhlé výroby

Mezi jednotlivými procesy jsou také takové, které vůbec nepřidávají hodnotu, nemají hodnotu pro zákazníka a nepřinášejí mu užitek. Snahou je tyto procesy eliminovat. Budeme-li vycházet z filosofie štíhlé výroby, primární myšlenkou je zbavení se všeho přebytečného, tj. procesů, které nepřinášejí zákazníkovi užitek a zákazníci nejsou ochotni za tyto procesy zaplatit. Procesy jsou rozděleny v tomto pohledu na dvě základní skupiny:

- a) přidávající hodnotu,
- b) nepřidávající hodnotu.

Kritériem pro označení činností jako hodnotu přidávající jsou tři podmínky, přičemž tyto tři podmínky musí být splněny zároveň:

- zákazník tuto činnost požaduje a platí za ni,
- tato činnost přetváří materiál nebo informaci,
- tato činnost je udělána správně a na poprvé.

Vše ostatní jsou činnosti, které nepřidávají hodnotu, v této filosofie pojmenované komplexním názvem – plýtvání. To rozdělujeme do dvou kategorií, a to:

- čisté plýtvání (činnosti, které lze úplně eliminovat)
- nezbytné činnosti nepřidávající hodnotu (činnosti nelze úplně odstranit, ale lze je minimalizovat). [5]

1.1.2 Požadavky na výrobní systém

Současnými požadavky na výrobní systémy jsou pružnost, produktivita a kvalita a tyto požadavky budou stručně vysvětleny.

Pružnost

Pružnost je jeden ze základních požadavků. Na pružnost se můžeme podívat z několika různých úhlů pohledu – rozdílné typy výrobků, které v daném systému je možné vyrábět, rozdílné vyráběné množství, které je možné vyrábět, rozdílné pořadí, ve kterém je možné jednotlivé dávky zadat do výroby, rychlost, s jakou podnik dokáže reagovat na požadavky zákazníka. Při pružných výrobních systémech, u kterých vychází pružnost z pružných NC řídicích strojů (bezobslužné centra, obráběcí centra), moderních výrobních zařízení a automatů, se definoval sortiment součástek, které tento systém dokáže efektivně vyrábět. Dnešním problémem je, že v mnohých případech není možné přesně definovat ani tento sortiment a je třeba očekávat, že výrobní systém bude muset být ve svém provozu schopný

plnit také takové úkoly, s kterými ve fázi jeho projektování nepočítalo. Také ve výrobních systémech, které byly v minulosti zařazené mezi hromadnou a sériovou výrobu se dnes mění sortiment tak, jako nikdy předtím. To má za důsledek kratší cykly přestavby výrobního systému, který na to musí být přizpůsobený už v projekční fázi. Pružnost výrobních zařízení, strojů a robotů je nevyhnutelná a výroba se bez nich neobejde. Jejich pružnost má však omezení ve formě ekonomického a technického hlediska. [2]

Produktivita

Produktivita je často v přímém rozporu s požadavkem pružnosti. Důvod je takový, že s větší variabilitou ve výrobním programu rostou požadavky, které jsou kladené na pružnost zařízení (funkce, nástroje, přípravky), na materiály a komponenty na skladě, pracovníky, složitost zařízení a na další faktory. Zvyšovat produktivitu znamená zvyšovat výstupy a snižovat vstupy do výroby – znamená to tedy více produktivních činností, které přidávají hodnotu výrobku, méně plýtvání prací, prostory, časem, materiály apod. Mezi požadavky pružnosti a produktivity se musí hledat kompromis. Vysoká produktivita znamená hlavní nízké náklady a vysoká úspornost. Další cestou k vysoké produktivitě je například reorganizace výroby na výrobní buňky, zjednodušování všech procesů ve výrobě a také vhodné prostorové uspořádání výrobního systému, které vede k několika výhodám, o kterých bude dále zmíněno.

Kvalita

Kvalita je standardní požadavek, který by měl být součástí výrobních systémů. Jedná se zejména o to, aby byl výrobní systém vyprojektovaný tak, že kvalita je zabudována přímo v systému a nebudou potřebné další dodatečné opatření a náklady na její udržení, respektive zlepšování (výstupní kontrola, opravy, apod.). Nástroje, které zabezpečují kvalitu ve výrobním systému, jsou dnes všeobecně známé a jejich používání je ve většině našich firem předmětem certifikací.

1.2 Podnikové postavení projektování výrobních systémů

Snahou této podkapitoly je zařadit prostorové řešení výrobních systémů do určitých technických činností, ze kterých vychází, přičemž důležité je také vědět, kdo provádí tuto technickou činnosti. Technické činnosti, jako je vývoj, projektování, technická příprava výroby (TPV) a další vznikaly postupně. Postupem času se začaly ve výrobě oddělovat činnosti odborně náročnější a začal se vytvářet systém technických činností. Postupně bylo odděleno od výroby konstruování, řešení způsobu výroby (technologie), normování, atd. Všechny technické činnosti tvoří návazný řetězec, v němž má technologické projektování své důležité místo v procesu technologické přípravy výroby, tedy v přípravě výrobní základny. Úkolem technické přípravy výroby je navrhnout konstrukci výrobku, stanovit jeho posloupnost výrobních operací včetně hospodárného způsobu a zajistit technicko – organizační projekt výroby. Tato činnost je náplní technologického projektování. [6]

Technologické projektování je možné chápat jako kontinuální tvůrčí činnost technicko – ekonomického charakteru. Je zaměřena především na zpracování variantologií výroby a montáže a technicko – organizačních variant uspořádání výrobních systémů s ohledem na optimální využití všech hmotných zdrojů, prostředků a pracovních sil, které ovlivňují efektivnost a produktivitu výrobního procesu. Technicko – organizační úroveň výrobních systémů, jejich specializační struktura, stupeň mechanizace, kooperace a integrace jsou závislé na vzájemném působení řady faktorů. Těmito důležitými faktory jsou:

- výrobek (jeho konstrukčně technologická koncepce a frekvenční požadavky),
- materiál a polotovary,

- výrobní stroje a zařízení, dopravní a kontrolní zařízení,
- technologie (tváření, slévání, obrábění, montáže),
- pracovníci (kvalifikace, odbornost, pracovní prostředí),
- energie (druh, způsob předávání, množství),
- organizace (časová a prostorová struktura). [1]

1.2.1 Základní otázky projektování výrobních systémů

Zařazení a výchozí oblast prostorového dispozičního řešení můžeme hledat také v komplexní oblasti projektování výrobních systémů. To patří, jak bylo zmíněno, do technické přípravy výroby – TPV. V mnohých podnicích vznikly oddělení výrobního inženýrství, firemního inženýrství apod. Projektování výrobních systémů patří mezi typické úlohy, které v podnicích řeší průmysloví inženýři, projektanti, technologičtí projektanti.

Právě tito pracovníci by vedle ovládání oblastí pro metody analýzy výrobního systému, metody analýzy měření a projektování pracovní činnosti, metody pro plánování a řízení výroby, metody pro počítačovou simulaci a projektové řízení, kontinuální zlepšování, měli ovládat metodiku projektování a metody pro stanovení výrobní kapacity, rozbor materiálových toků, řešení výrobní dispozice (layout), segmentaci, projektování pracovišť, materiálových toků, informačních toků, pomocných a obslužných provozů.

Není to pravidlem a nutností, ale projektování výrobních systémů se dnes často provádí v týmu. V minulosti se například od sebe oddělovaly činnosti jako projektování technologické části, materiálového toku a informačního toku. Další informací je, že se často dnes projektování přemísťuje z projekčních kanceláří do výrobních částí podniku. [2]

1.2.2 Důvody ke změně ve výrobním systému

Je mnoho faktorů, které působí na podnik a vedou jej k potřebě projekční změny výrobního systému. Jedná se o změny v okolí a uvnitř podniku (mění se sortiment výrobků, konkurence, ceny, způsob výroby).

Mezi hlavní faktory patří:

- změna výrobního programu (typický faktor vedoucí ke změně výrobních systémů, úprava, rozšíření),
- změny v odbytu výrobků a změny ve výrobním množství,
- uvedení nového výrobku na trh,
- odstranění existujících problémů ve výrobě (vysoké náklady, dlouhé průběžné časy, nízká úroveň kvality, apod.),
- nahrazení zastaralých výrobních prostředků,
- zavedení nových technologií do výroby,
- splnění nových zákonných požadavků (bezpečnost práce, ekologie). [2]

Problematika projektování výrobních systémů je poměrně široká a splývá či navazuje na další oblasti v rámci výrobních systémů v podniku. Zajištění výrobního procesu podniku se může odvíjet od efektivního návrhu výrobní základny, systému. Nesprávné navrhování prostorového uspořádání má za následek nepřehledné a přebytečné materiálové toky, zbytečné pohyby pracovníků, plýtvání výrobních ploch apod. Tyto nedostatky způsobují zvýšené

logistické náklady a tedy i zvýšené celkové výrobní náklady. Návrh prostorového řešení výrobní struktury ve výrobním procesu musí zabezpečit:

- pružnou adaptaci výroby na komerční a inovační změny,
- co nejehospodárnější průběh výrobního procesu,
- využití progresivních manipulačních prostředků,
- přehledný průběh výrobního procesu,
- vytvoření pracovních podmínek v souladu s požadavky na bezpečnost a hygienu. [7]

1.2.3 Výhody vhodně projektovaného výrobního systému

Během prostorového uspořádání se zabýváme především těmito směry:

- analýza materiálových, personálních, informačních toků.
- návrhy prostorového uspořádání jednotlivých výrobních pracovišť, skladů, manipulačních cest, správních a administrativních ploch (kanceláří) a sociálních ploch (šatny, toalety, sprchy, jídelny),
- optimalizace velikosti výrobních a skladovacích ploch,
- návrh dopravních cest vzhledem k personálním a manipulačním tokům. [8]

Návrhy prostorového uspořádání výrobního systému jsou nazývány mezi technickými činnostmi jako optimalizace prostorového uspořádání výroby, racionalizace prostorového uspořádání výroby, návrh layoutu výrobní haly. Racionalizace prostorového uspořádání přináší ekonomické efekty, efektivní využití výrobních prostor, větší přehlednost ve výrobě, snížení objemu manipulace s materiálem či polotovary, a další.

Pokud se podíváme na prostorové řešení výrobního systému ještě více detailně, jeho správné provedení nám přináší řadu výhod:

- minimalizované náklady na manipulaci s materiálem,
- efektivní využití veškerých prostorů,
- efektivní využití pracovního postupu – například optimalizované využití prostoru skladů ve výrobních prostorech,
- eliminované úzké uličky (průchody),
- usnadněná komunikace a vzájemné působení mezi pracovníky, pracovníky a jejich nadřízenými, či mezi pracovníky a zákazníky,
- redukované časy výrobního cyklu a doby obsluhy,
- eliminované nadbytečné pohyby – omezení práce bez přidané hodnoty a minimalizování nepřímých mzdových nákladů,
- usnadněné (ulehčené, zlepšené) vstupy, výstupy a umístění materiálu, produktu a lidí,
- začleněné pojistné a ochranné opatření, podpora kvality produktu a servisu,
- podpora aktivit pro řádnou údržbu,
- vizuální kontrola nad operacemi a aktivitami – snazší organizace výroby,
- flexibilní přizpůsobení měnícím se podmínkám,
- zvýšení stupně využití kapacit (výrobní zařízení a lidí). [8]

1.2.4 Etapy projektování výrobních systému

Technologické projektování u modernizovaných výrobních systémů můžeme rozdělit do několika etap. Snahou je objasnit, že v etapách tohoto návrhu výrobního systému existuje určitá metodika, která se v podání různých autorů může lehce lišit, nicméně posloupnost etap návrhu výrobních systému (prostorového řešení) zůstává stejná.

Metodiku můžeme rozdělit do dvou časově návazných, ale obsahově různých etap. Jednou z nich je předprojektová etapa a druhou etapa projektová a realizační.

1) Předprojektová etapa

Tato etapa je zaměřená především na otázky koncepce budoucího výrobního systému, to znamená stanovení výchozích předpokladů rozvoje výrobně technické základny z hlediska systémového a komplexního přístupu.

V rámci této etapy je nutné věnovat pozornost těmto faktorům:

- a) konstrukčně – technologických koncepcí výrobků s ohledem na snižování materiálové, tvarové, energetické i nákladové náročnosti,
- b) optimalizace struktur výrobních programů s ohledem na snižování sortimentu především součástkové základny cestou konstrukčně – technologické standardizace, hospodárné specializace a kooperace výroby,
- c) perspektivy, stability výrobního programu a jeho proporcionalitě k výrobnímu profilu,
- d) uplatňování progresivních technologií s ohledem na snižování pracnosti, materiálové a energetické náročnosti výroby,
- e) základní koncepce a strategie z hlediska automatizace a integrace výroby, stanovení optimálních prostorových forem výrobních struktur, metod plánování a řízení výroby apod.
- f) stanovení časových limitů pro realizace stavby atd.

Jedná o základní problémy, které je nutné znát pro kvalitní zpracování projektu. Z toho je zřejmé, že tato fáze je v systémovém a komplexním pojetí technologického projektování velmi obsáhlá a náročná. Podklady pro tuto etapu můžeme získat především od útvarů vrcholového managementu, který v rámci strategického plánování analyzuje základní podmínky rozvoje a formuluje vstupní podmínky pro řešení technického projektu.

2) Projektová etapa

Upřesňuje a rozpracovává základní koncepci rozvoje výrobně technické základny (výrobního systému). Tato etapa je rozdělena v podstatě do tří částí (rozborová, návrhová, realizační) a dvou stupňů.

- a) I. stupeň projektové etapy se zaměřuje především na otázky konstrukčně – technologické, tj. analyzuje součástkovou základnu z hlediska tvarů, rozměrů, jakosti, sériovosti a opakovatelnosti výroby a vyhledává technicky přijatelné varianty technologií.
- b) II. stupeň upřesňuje a doplňuje řešení I. stupně se zaměřením na otázky technicko – organizačního charakteru, tj. návrh specializačních, časových a prostorových struktur, materiálových a informačních toků, pracovního prostředí, atd.

Výstupem projektové a realizační fáze je technická, projektová a realizační dokumentace pro realizaci výrobního systému a zahájení výroby. [1]

1.3 Systémový pohled na projektování výrobních systémů

Na závěr první kapitoly bude zmíněn systémový přístup pro návrh výrobního systému. S výrobou jsou spojeny zdroje – výrobní zařízení, stroje, pracovníci apod., které musí být pro jednotlivé operace vhodně vybrány a také vhodně rozmístěny v jednotlivých výrobních a skladovacích halách. To je výchozím prvkem pro efektivní materiálový a informační tok. Každý výrobní systém se skládá z několika navzájem provázaných prvků, které je nutné vhodně uspořádat, aby systém účelně fungoval. Prvky dělíme:

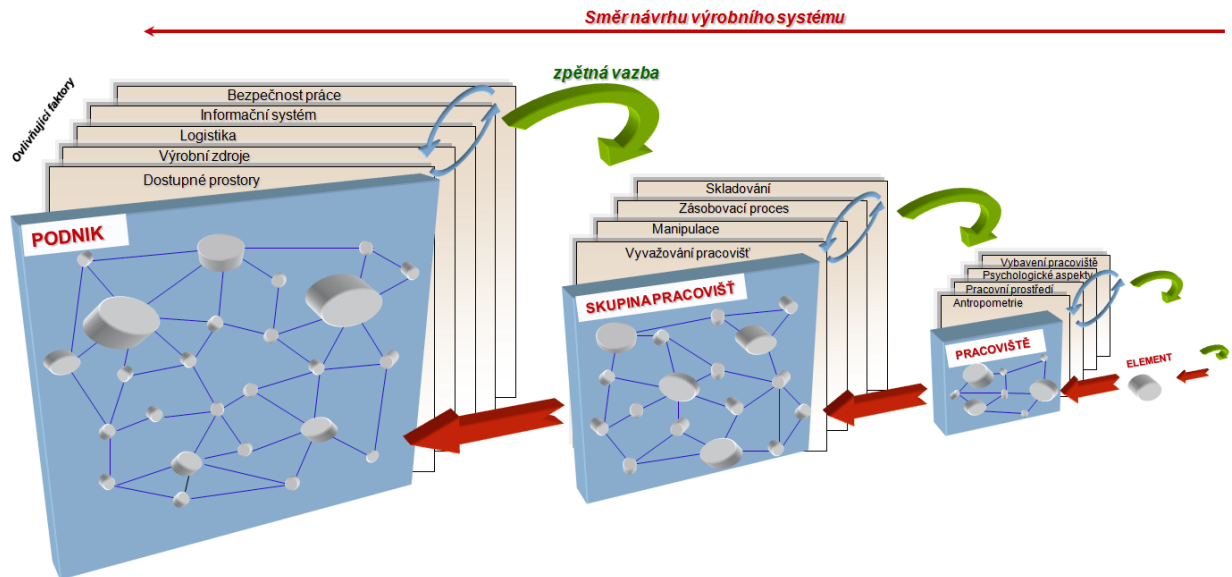
- nekomplexní (pracovníci, materiál, polotovary, hotové výrobky, výrobní stroje a zařízení)
- komplexní (pracoviště, provoz, dílna, závod).

Dále mezi těmito prvky výrobního systému existují vazby. Jedná se především o prvky:

- technologický postup,
- pracovní postup,
- vztahy konstrukčního charakteru,
- organizační vztahy.

Na obrázku 1-3 je znázorněn systémový přístup k řešení dispozičního návrhu podniku. Z tohoto obrázku je patrné, že řešení je potřeba hledat již od prvotních elementů a jejich seskupování dojdeme k dispozičnímu rozložení jednotlivých skupin pracovišť a následně layoutu celého podniku. Při návrhu layoutu je třeba se nejprve zabývat jednoduššími, méně složitými elementy. Funkčnost a efektivnost těchto elementů se analyzuje nejen samostatně, ale v ohledu na ovlivnění celého systému. Spolupráce jednotlivých subjektů, stejně jako spolupráce pracovníků participujících na návrhu výrobního systému (průmyslových inženýrů, ergonomů, technologů, logistiků) představuje skutečnost, která se musí zohledňovat a je velmi důležitá.

Systémovost při řešení této problematiky zajistíme tím, že nejprve při analyzování jednotlivých elementů, případně pracovišť je nutné tyto prvky vymezit vůči celému systému (layoutu podniku). Důležité je určení vazeb na ostatní pracoviště a infrastrukturu podniku, neboť navržená pracoviště představují pouze jednotlivé moduly celku. Spojováním těchto modulů se sestavují do komplexnějších celků a tvoří skupiny pracovišť, poté linky a následně celkový layout. [7]



Obrázek 1-3: Systémový přístup při návrhu výrobního systému [7]

V souhrnu žádné otázky v první kapitole nebyly položeny, nicméně tato kapitola se snaží na několik otázek týkajících se tematiky projektování výrobních systémů odpovědět. Jedná se o otázky, co vlastně je výrobní systém, jak ho můžeme definovat, jaké jsou požadavky, jaké důvody vedou k jeho vhodnému projektování a navržení prostorového uspořádání a jaké jsou potenciální přínosy. Víme, co si máme představit pod pojmem výrobní proces včetně znalosti pohledu dle štíhlé výroby.

Dalšími otázkami jsou, kde hledat v podnikovém postavení projektování a prostorové uspořádání výrobního systému, kdo tyto činnosti vlastně vykonává a jaké jsou jednotlivé etapy projektování včetně zařazení prostorového uspořádání v rámci těchto etap. První kapitola cílila na získání obecných znalostí v této poměrně široké problematice.

2 Prostorové řešení výrobního systému

Druhá kapitola diplomové práce se již váže k samotnému prostorovému řešení výrobních systémů a navazuje na první kapitolu, kde byly vysvětleny potřebné základy pro pochopení této široké problematiky. V rámci této obsahově rozsáhlejší kapitole bude uvedena základní charakteristika prostorového řešení výrobních systémů.

Pod touto oblastí si můžeme představit dispoziční rozmístění jednotlivých prvků výrobních systémů. Pokud použijeme definici z předešlé kapitoly o systémovém pojetí návrhu výrobních systémů, jedná se o prostorové rozmístění nekomplexních prvků do jistého komplexního prvku systému (podniku). V rámci prostorových struktur (ty budou popsány včetně uvedení jejich druhů v další části kapitoly) je navrhováno dispoziční řešení pro části systému, které zajišťují proces výroby. Jedná se například o výrobní stroje a zařízení, jejich příslušenství, montážní pracoviště, přepravní jednotky, manipulační jednotky, příslušenství pracovišť, atd. Vedle těchto částí jsou navrhovány také skladové prostory, správní a sociální plochy či ostatní zbývající plochy. Rozmístění jednotlivých zdrojů výrobního systému je zahrnuto v určitém komplexním hledisku, do kterého je třeba integrovat také určitá omezující kritéria a podmínky (ČSN normy týkající se nejen výrobní základny) a také určité zásady, jako například ergonomická hlediska pracovišť, délka a intenzita materiálových toků, hygienická a bezpečnostní hlediska. Rozsah návrhu prostorového uspořádání, se kterým se vážou zmíněné integrované omezení, závisí na typu, či úrovni vytváření výrobní struktury.

Po tomto základním úvodu, kde bylo obecně vysvětleno, co je prostorové řešení, budou v rámci této kapitoly zmíněny jednotlivé typy prostorových struktur včetně jejich základní charakteristiky. Poměrně významným podílem se tato kapitola věnuje metodickému postupu projektování výrobního systému. Častým pojmem v diplomové práci bude layout, proto si vysvětlíme, co tento pojem znamená.

2.1 Charakteristika problematiky – layout

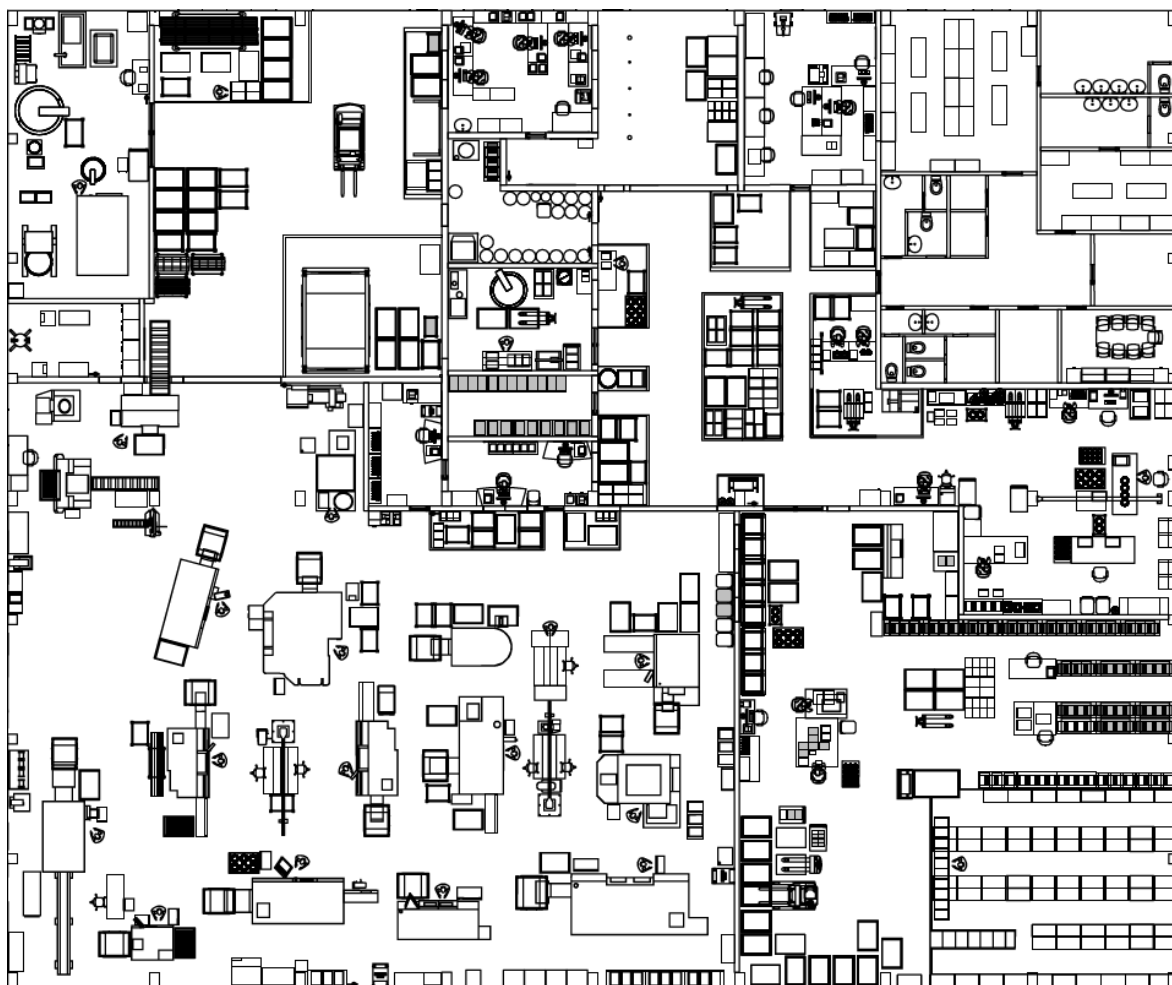
Pro zobrazení prostorového uspořádání výrobního systému používáme layout. Pokud bychom chtěli layout definovat, představuje grafické rozvržení. V případě výrobního podniku prostorové uspořádání výrobního systému, haly, závodu.

Layout znázorňuje návrh prostorového uspořádání jednotlivých pracovišť a definuje dopravní cesty. Návrh layoutu směřuje ke dvěma následujícím prioritám. Jednou z nich je optimalizace rozmístění výrobních oddělení, pracovních středisek a konfiguraci výrobních zařízení, kdy je kritériem optimálního návrhu produktivita. Další prioritou jsou minimální materiálové toky a jejich plynulost. [7]

Existují určité základní typy layoutů, které jsou dané a korespondují s typy jednotlivých prostorových struktur. Například technologické, předmětné, buňkové uspořádání a další. Ty budou v průběhu této kapitoly zmíněny.

Na následujících obrázcích si ukážeme jednotlivé zobrazení layoutů výrobní haly.

Obrázek 2-1 znázorňuje 2D zobrazení layoutu výrobní haly.



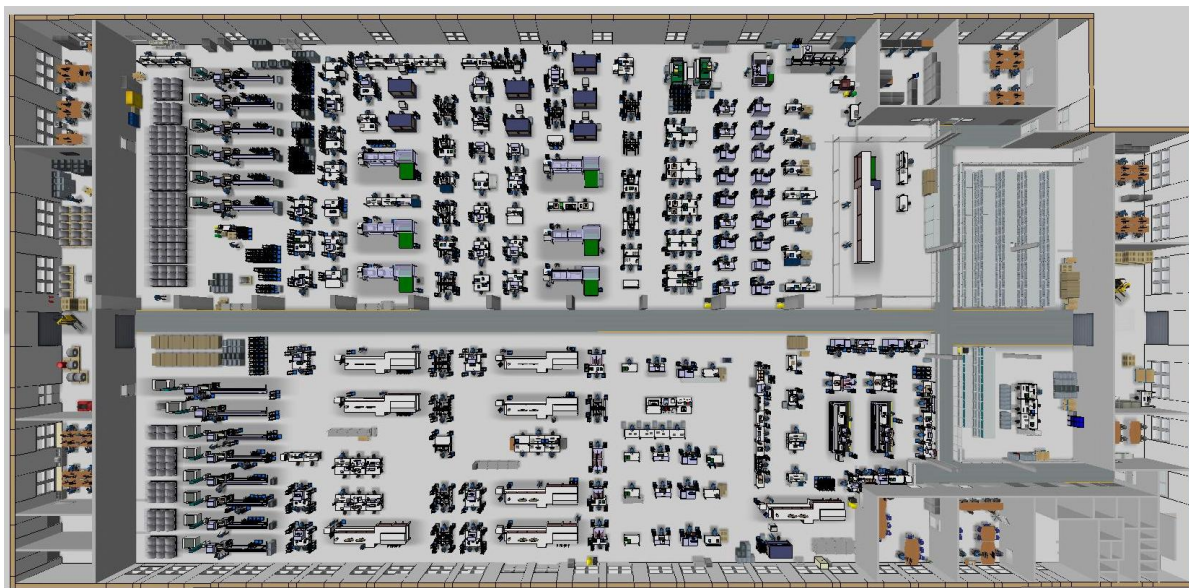
Obrázek 2-1: Layout - 2D zobrazení

Na obrázku 2-2 vidíme možnou 3D vizualizaci layoutu, jedná se o část výrobní haly.



Obrázek 2-2: Layout - 3D zobrazení

Na obrázku 2-3 je znázorněn letecký pohled na kompletní layout.



Obrázek 2-3: Layout - 3D zobrazení leteckého pohledu

Ze znázorněných layoutů vidíme, že prostorová řešení výrobních systémů jsou složena z několika prvků. Součástí jsou jednotlivé stroje a zařízení, které mohou být výrobního, pomocného a obslužného charakteru včetně jejich příslušenství (pracovní stoly, skříně na nástroje, strojové díly, atd.). Do výrobního systému a jeho prostorového řešení jsou také zakomponováni jednotliví pracovníci.

Pokud budeme řešit jen samotné plochy layoutu, můžeme prostory rozdělit dle účelu na základní kategorie. Převládá zejména plocha výrobní, kterou můžeme dále rozdělit na plochy strojní, ruční práce a montážní. Do strojní plochy se počítají všechna strojní pracoviště, do ruční plochy ruční pracoviště, do montážní plochy pracoviště montáže. Mezi těmito plochami jsou dopravní cesty, pomocné sklady a mezisklady (výchozí sklady, expediční sklady) a pomocné plochy, které dávají do celku dohromady plochu pomocnou. Součástí layoutů (výrobních systémů celkově) jsou administrativní prostory, ve kterých operují vedoucí pracovníci, atd. Posledními hlavními plochami jsou plochy sociální, do kterých patří záchody, šatny, jídelny, sprchy, atd. [7]

2.2 Obecný postup při návrhu výrobní základny

Postup návrhu prostorového uspořádání výrobního systému se liší dle rozsahu samotného návrhu. V této podkapitole bude popsán metodický postup při sestavování návrhu prostorového řešení výrobních systémů.

V praxi se setkáváme nejčastěji s úkolem racionalizovat stávající výrobní systém, méně často s úkolem navrhnout nový výrobní systém včetně výrobní haly, tzn. celý komplex. Předpokladem sestavení dobrého návrhu je správný metodický postup.

Při obecném metodickém návrhu se jedná o etapy schematicky znázorněné na obrázku 2-4, jejich náplň bude popsána.



Obrázek 2-4: Schéma metodického postupu návrhu

Před započítím projektové činnosti si musíme ujasnit a ohraničit objekt řešení, který může být úzký a značně rozsáhlý. Od jednodušších objektů řešení ve formě stacionárních pracovišť jednotlivce, či nestacionárních pracovišť montážní čety může řešení projektu pokračovat k formám širších objektů, kde se jedná o soubory pracovišť, tzn. dílna, provoz, závod, atd. Zkoumání vzájemných vztahů se právě u větších celků komplikuje narůstáním komponentů.

Po stanovení objektu řešení a zvážení úkolu musí projektant postupně vniknout do konkrétní problematiky podniku, pro který je akce řešena. Musí se seznámit i s vybranými charakteristickými údaji podniku, s výrobky, technologií výroby, organizací, atd. Důležité je zmínit, že v rámci úvodní etapy by měl projektant zkoumat objekt řešení z hlediska výrobku, výrobního programu, organizace výrobního procesu i z hlediska řízení.

Dostávám se již k popisu jednotlivých etap.

1) Diagnostika

Prvotní, rychlé seznámení s objektem řešení. Je nezbytná k usměrňování pozornosti na hlavní články problematiky a zároveň představuje etapu, která zabezpečuje racionální přístup k řešení problému. Tuto etapu často provádějí nejzkušenější pracovníci, kteří znají vzájemné souvislosti jevů a jejich příčin. Měli by poznat základní nedostatky současného stavu, stanovit rezervní oblasti a směry řešení i metody používané v další práci.

2) Sběr informací

Sběr informací je někdy opomíjen a charakterizován jako pomocný, ale není možné ho vynechat, neboť bez něj nelze provádět další práci, tj. rozbor. V zájmu zkrácení průběžné doby (sestavení návrhu) je nutno sběr informací organizovat.

Z diagnostiky vyplyne jak potřeba všech informací, tak i termíny jejich potřeby. Sběr informací je tedy nutno zorganizovat tak, aby vytypované podklady byly ve stanovené době k dispozici pro rozbor. V zásadě existují dvě skupiny informací. Informace z evidence a informace z pozorování. Informace z pozorování se mnohdy obtížně získávají, ale jsou čerstvé, konkrétně zaměřené na daný objekt řešení a objektivně zobrazují realitu. Získané informace je pak nutno před rozbohem ještě zpracovat.

3) Rozbor

Z dobře provedeného rozboru vyplynou varianty možného řešení dané problematiky. Komplexní projekt řeší všechny faktory výrobního organizmu. Rozborová příprava se tedy dotýká široké oblasti (výrobku, výrobního programu, organizace výrobního procesu, řízení). Mezi základní rozborů patří:

- rozbor standardizace,
- rozbor vybavenosti výroby stroji a zařízeními,
- rozbor technického stavu základní prostředků,
- rozbor vybavenosti výroby speciálními nářadím,
- rozbor úrovně mechanizace a automatizace výrobního procesu,
- rozbor toku materiálu a manipulačních prostředků,
- rozbor stávajícího dispozičního řešení a stavu výrobní haly.

Důležitým poznatkem je, že rozbor by měli provádět vysoce kvalifikovaní pracovníci s odpovídajícími morálními vlastnostmi. V rozboru bilancujeme, hodnotíme, posuzujeme zkoumaný jev všestranně, tzn. z různých hledisek (například z hlediska technického, ekonomického, psychologického, sociologického, ergonomického atd.)

V této fázi používáme také určité rozborové metody.

Metody studia práce

- časové a pohybové studie,
- studie rozmístění výrobního zařízení a toku materiálu,
- studie organizace uspořádání pracoviště,
- studie pracovních operací pomocí mikroelementů.

Metody studia technologického procesu

- inženýrské přeměňování,
- různé laboratorní metody,
- látkové a energetické bilance.

Metody hodnotové analýzy

Metody humanizace práce

- sociologické a psychologické průzkumy, pracovní testy, rozborů.

Matematické metody

- statistické metody, metody operační analýzy, simulace výrobních procesů.

K provozování výše uvedených metod potřebujeme různé technologické pomůcky, jako například stopky, fotografické zařízení, kamery, nahrávací zařízení, měřicí přístroje (laserové měřidla, metry, pásma), laser scan, počítače, případně další pomůcky.

4) Návrh

V návrhové etapě je možno v maximální míře uplatnit vlastní tvůrčí talent řešitelů. Řešitel musí při zpracování používat vzorové řešení, rešerše literatury a pak za pomoci nejnovějších poznatků vědy a techniky rozpracovat jednotlivé směry řešení, vybrat nejlepší variantu a na ní

propracovat technickou dokumentaci. V této etapě je nutno rovněž připravit návrh náběhu výroby, který může podstatně ovlivnit efektivnost akce a dobu návratnosti podmětných nákladů.

Důležitou součástí každého projektu je ekonomické zhodnocení návrhů, v němž porovnáváme náklady a přínosy. Do závěrečných projektových prací patří i vypracování časového plánu realizace, který se obvykle zpracovává ve formě síťového grafu.

Při sestavování návrhu dispozičního řešení využíval technologický projektant dříve více citu a intuice. V pozdější době byl doporučován postup rozboru sestavených variant, tzn., že z řady možných řešení bylo vybráno nejvhodnější dle stanovených kritérií. Pro dnešní moderní projektování byla sestavena řada metod, které i méně zkušenému projektantovi pomohou sestavit optimální dispozici. V průběhu návrhu se metody mohou kombinovat, taktéž s řadou technik, návodů a zvyklostí.

Mezi metody využívané k návrhu dispozičního řešení patří:

- metoda využívající schématu více předmětného sledu činností,
- kruhová metoda,
- trojúhelníková metoda hodnocení vztahů,
- prostá trojúhelníková metoda,
- metoda S. L. P.,
- metoda těžišť,
- metoda souřadnic,
- metoda návaznosti (posloupnosti) operací,
- metoda vyhodnocování mezilidských vztahů,
- metoda k posouzení možností vytváření specializovaných dílen,
- metoda CRAFT.

5) Realizace

Realizace akce je dovršením celého připravovaného procesu a zároveň zkušebním kamenem projektové práce. Nedostatky projektové přípravy se projeví v průběhu realizace a vady v koncepci a ekonomické hodnocení se neúprosně ozvou již v počátečním období provozu. Vlastní práce realizační etapy spočívá v instalaci a zavedení navrhovaného projektu.

Realizaci akce je možné zabezpečit:

- dodavatelem,
- vlastními silami,
- kombinovaně.

Po určitou dobu realizace je nutné nadále sledovat provoz a z tohoto sledování pak zpracovat závěrečné vyhodnocení projektu a vybrat prvky vhodné k zobecnění. [6]

2.2.1 Postup budování štíhlého layoutu

Zmínili jsme v předešlé části koncept štíhlého layoutu, bude tedy stručně uvedena metodika postupu návrhu štíhlého layoutu v rámci celého podniku. Jedná se dle [9] o tyto etapy:

1) logistika a layout podniku

- zadání a cíle projektu, plán projektu, výrobní program a rámcové podmínky,
- varianty layoutu podniku s výhledem do budoucnosti,
- logistika nakupovaných materiálů a komponentů, sklady a doprava (milk-run, přepravky, cesty, expedice),
- budovy a infrastruktura a vyhodnocení.

2) koncepty layoutu

- definování buněk (součástky, operace, zařízení), blokový layout buněk,
- manipulace s materiálem, přeprava, vzájemné propojení buněk, předběžný layout,
- vyhodnocení,

3) detailní layout buněk

- konečná konfigurace buněk (součástky, operace, zařízení), detailní layout buněk,
- manipulace s materiálem v buňkách, detailní návrh procesů,
- simulace a optimalizace buněk.

4) detailní řešení buňky, implementace, optimalizace

- schválení projektu a detailní plán implementace, realizace projektu,
- optimalizace, ergonomie, časové analýzy, vizualizace,
- spuštění výroby, standardizace a zlepšování.

2.2.2 Vstupní data pro řešení návrhu prostorového uspořádání

Vstupní data, která potřebuje pracovní tým v rámci prostorového řešení výrobních systémů, se značně liší rozsahem a náročností návrhu. Zmiňovali jsme různé typy projektování výrobní základny – přestavba současného layoutu, návrh nového layoutu v existujících prostorech a návrh nového layoutu včetně nové haly. Popis vstupních dat pro poslední zmíněnou variantu kompletního nového layoutu včetně haly přesahuje tuto studii, vedle prvků výrobního systému potřebujeme mít zpracovanou kompletní dokumentaci včetně stavebního projektu. Stavební projekt se týká samotné stavby haly.

Pro ostatní typy návrhu prostorového uspořádání jsou vstupní data potřebná v daleko menším rozsahu. Jednotlivé vstupní data budou stručně popsána.

Výkresová dokumentace prostorového uspořádání

Většina firem má zpracovanou výkresovou dokumentaci layoutu výrobních hal. Vychází ze stavebních výkresů výrobní haly, jednotlivé prvky systému jsou do výkresu layoutu většinou jen naznačeny v přibližné poloze, hlavní jsou pro nás samozřejmě prostory výrobní, ale nemůžeme opomenout ani prostory skladové či administrativní, a další. Výkresy layoutu je ideální předávat ve formátu DWG, který je formátem souborů programu AutoCAD. Tento výkres je primárním dokumentem, který potřebujeme. Otevřít tento soubor není problém a lze z tohoto výkresu získat jakékoliv rozměry. Nevýhodou může být jeho (ne)aktuálnost. Je proto důležité si tyto údaje zkontrolovat a ověřit. Dále je nutné ověření stavebních prvků a jejich rozměrů. Jedná se například o základní rozměry výrobní haly, jednotlivé nosné sloupy (počet, rozteč), rozměry vjezdových vrat, dveří, atd. Často na výrobní hale jsou dostavěny rozebíratelné prosklené „zdiva“, příčky, které nejsou ve výkresu layoutu naznačeny.

Vedle měření (či jen přeměření některých) rozměrů stavebních prvků výrobní haly se dále dostáváme k jednotlivým prvkům výrobního systému, jedná se především o stroje a výrobní

zařízení a jejich příslušenství. U těchto prvků, zejména strojů a zařízení, musíme znát jejich přesnou polohu. Ta je měřena ve vazbě na stavební fixní prvky haly. Zanedbáno nemůže být ani příslušenství těchto zařízení (regály, montážní stoly, skříně s nářadím a nástroji, gitterboxy, palety, manipulátory, atd.). Efektivní je také vedle zachycení jednotlivých rozměrů fotografická dokumentace.

Vstupní data:

- výkresová dokumentace prostorového uspořádání (univerzální formáty),
- výkresová dokumentace výrobních strojů a zařízení (případně příslušenství),
- stavební výkres výrobního layoutu,
- prvky konstrukce výrobního layoutu,
- rozvody (el. energie, plyn, voda, vzduch, atd.),
- CAD modely strojového parku,
- CAD modely vybraných reprezentantů ze sortimentu.

Analýza výrobních dat

Do této skupiny dat můžeme zahrnout technologické postupy, kusovníkové struktury, objemy výroby pro jednotlivé představitele, atd. Důležité je provést rozbor těchto výrobních dat a takto je překontrolovat a ověřit. Oblasti, ve kterých by se tyto data měly vyskytovat, jsou oblasti konstrukční, technologické a plánovací.

Vstupní data:

- vybraní reprezentanti z portfolia produktů (z analýzy výrobního programu, postavení produktu, podíl objemu výroby v celkovém objemu),
- technologická podobnost výrobků (skupinová technologie, tvary, rozměry, atd.),
- množství vyráběných produktů (objemy výroby reprezentantů), druh výrobku,
- roční výrobní plány,
- skladové zásoby výchozích surovin pro výrobu,
- konstrukční kusovníky (struktury výrobku),
- analýzy součástkové základny vybraných reprezentantů (vyráběné, nakupované),
- výkresy sestav, podsestav, dílenské výkresy,
- výrobní a montážní postupy,
- seznam výrobních strojů a zařízení,
- operační návodky,
- analýzy sazeb nákladů.

2.3 Prostorové struktury výrobních systémů

V této podkapitole budou uvedeny jednotlivé prostorové struktury a bude uvedena jejich základní charakteristika, včetně stručného obrázku pro názornou představu. Při rozmístování výrobních strojů a pracovišť vycházíme z výsledků rozborů, které provádíme v předchozích krocích návrhu a též vycházíme z výsledků řešení rozmístovacích metod. Tyto metody budou v průběhu druhé kapitoly stručně uvedeny.

Prostorové struktury výrobního systému vymezují úměrné vztahy mezi jednotlivými prvky systému především z hlediska:

- forem uspořádání výrobních zařízení a strojů,
- rozmístění strojů, technologických a pracovních míst nebo provozů ve vymezeném prostoru,
- relativního rozdělení výrobních, pomocných, obslužných a ostatních ploch pro racionální výrobní proces.

Při návrhu prostorové struktury se zabýváme technologicky – organizačním řešením výrobního systému ve vymezeném prostoru s ohledem k vybranému sortimentu a objemu výroby.

Při zpracování prostorové struktury daného systému musíme přihlížet zejména k těmto podmínkám:

- jednoduché a hospodárné manipulace s materiálem, nástroji a odpadem,
- vhodného pracovního prostředí, hygieny a bezpečnosti práce,
- snadné kontroly a řízení výrobního procesu atd. [1]

Pro volbu prostorové struktury jsou rozhodující především tyto faktory:

- výrobní program, sériovost a opakovatelnost výroby, rozsah sortimentu, velikost a hmotnost součástí apod.,
- výrobní proces – technologická podobnost součástí a náročnost výroby, například počet operací, kooperační vztahy,
- úroveň specializace a integrace, kterou ovlivňuje zejména stupeň konstrukčně – technologické standardizace apod.

Typ prostorové struktury tvoří základní strukturální tvar, který je možné dále rozdělit do jednotlivých typů v závislosti na výše uvedených podmínkách. V průběhu doby se ze základních dvou typů technologických a předmětných struktur vyvinuly další modifikované struktury.

V současné době rozlišujeme následující základní způsoby uspořádání pracovišť:

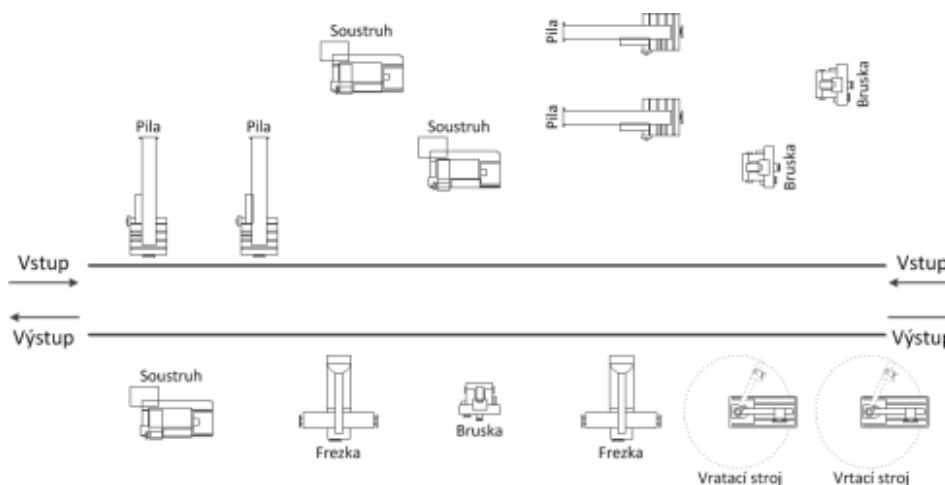
- volné,
- technologické,
- předmětné,
- modulární,
- buňkové
- kombinace jednotlivých typů.

V jednotlivých podkapitolách budou prostorové struktury vysvětleny včetně znázornění na obrázcích.

2.3.1 Volné uspořádání

V tomto typu prostorové struktury jsou výrobní zařízení a stroje a celé pracoviště rozmístěny náhodně. Vyskytují se tam, kde nebylo možné před ustavením určit materiálový tok, posloupnost operací, organizační a řídicí vazby. Tato struktura se často vyskytuje v prototypových a údržbářských dílnách s kusovým charakterem výroby (po zakoupení se

nový stroj postaví tam, kde je místo). I přesto, že rozestavení je náhodně, musí se alespoň respektovat minimum kritérií (výrobní, hygienická, bezpečnostní kritéria) V dnešní době je tento typ struktury prakticky nepoužívaný a nevyhovující. [10]



Obrázek 2-5: Volné uspořádání výroby [10]

2.3.2 Technologické uspořádání

Výrobní stroje a zařízení jsou u tohoto typu prostorové struktury stavěny podle příbuznosti a technologické specializace, jako jsou slučovány operace podle příbuznosti v technologických postupech. Například operace spojené se svařováním se provádí v sektoru svařovny, operace kování se provádí v kovárně, obrábění v obrobně, atd. Právě v obrobně máme umístěny v jedné skupině například soustruhy, frézky, hoblovky, brusky, a další stroje patřící do této oblasti. Při tomto způsobu uspořádání se tedy tvoří skupiny stejných druhů strojů. Jednotný směr materiálové toku nelze určit, jelikož sortiment vyráběných součástí je velmi různorodý. Využití této prostorové struktury nacházíme zejména v kusové a malosériové výrobě těžkého a středního strojírenství. Co se týká prvků výrobního systému, strojový park a nářadí je univerzální, dělníci vyučení, kvalifikováni.

Technologická struktura se může dle [1] vyskytovat jako:

- struktura jednotlivých pracovišť, v tomto případě se jedná o profesně shodná výrobní zařízení, ale každé výrobní zařízení v daném výrobním systému není kooperačně (prostorově) vázáno s jiným výrobním zařízením ve stejném výrobním systému. Každý stroj tvoří samostatnou výrobní jednotku. Tento typ se vyskytuje tam, kde je například obrobek na jedno upnutí hotově opracován (soustružnické automaty). Jde o koncentraci operací na jednom pracovišti.
- struktura dílenského uspořádání. Tento typ prostorové struktury se často vyskytuje v obrobnách, kde jsou odděleně uspořádány skupiny soustruhů, frézek, vrtaček, brusek, atd.

Zmíníme výhody a nevýhody této prostorové struktury.

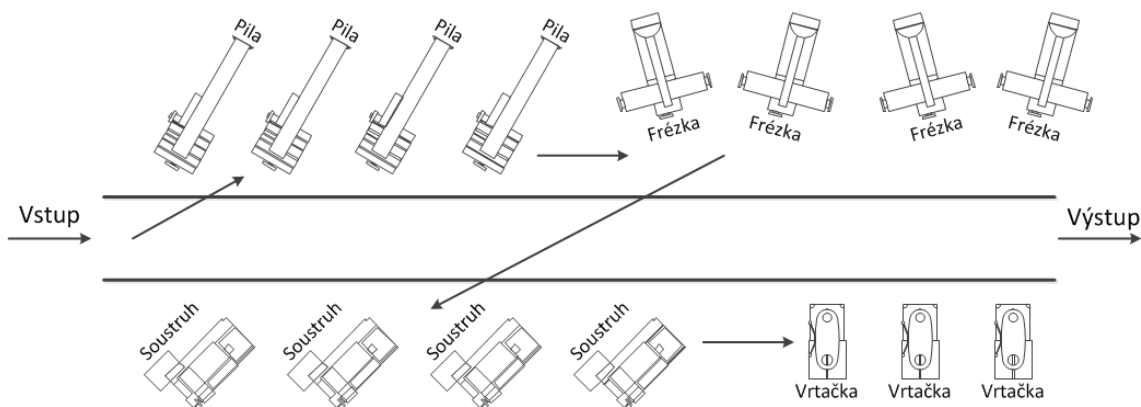
Výhody:

- změna výrobního programu nenaruší výrobu,
- snadné zavedení více strojové obsluhy,
- docílení lepšího využití strojů,

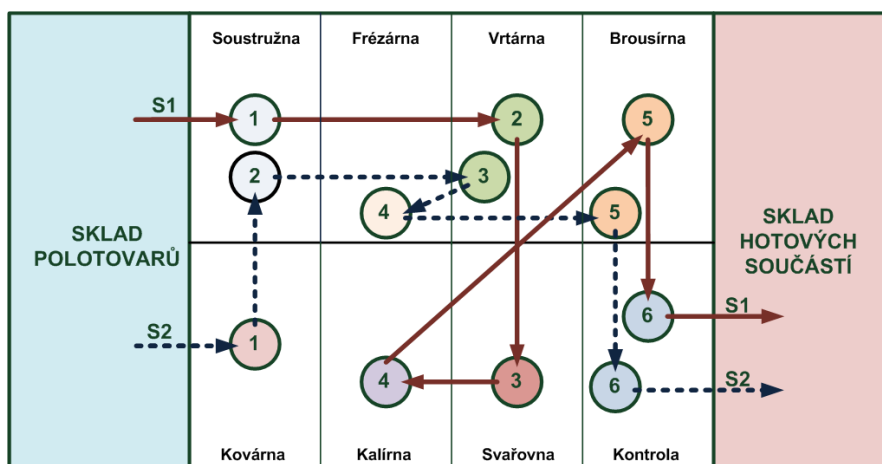
- poruchy jednotlivých strojů nenaruší výrobu,
- sníží se potřeba nástrojového vybavení (jedno přídavné zařízení může sloužit více strojům, například upínací přípravky, otočné stoly, atd.),
- mistři se mohou specializovat podle profesí,
- snadnější údržba.

Nevýhody:

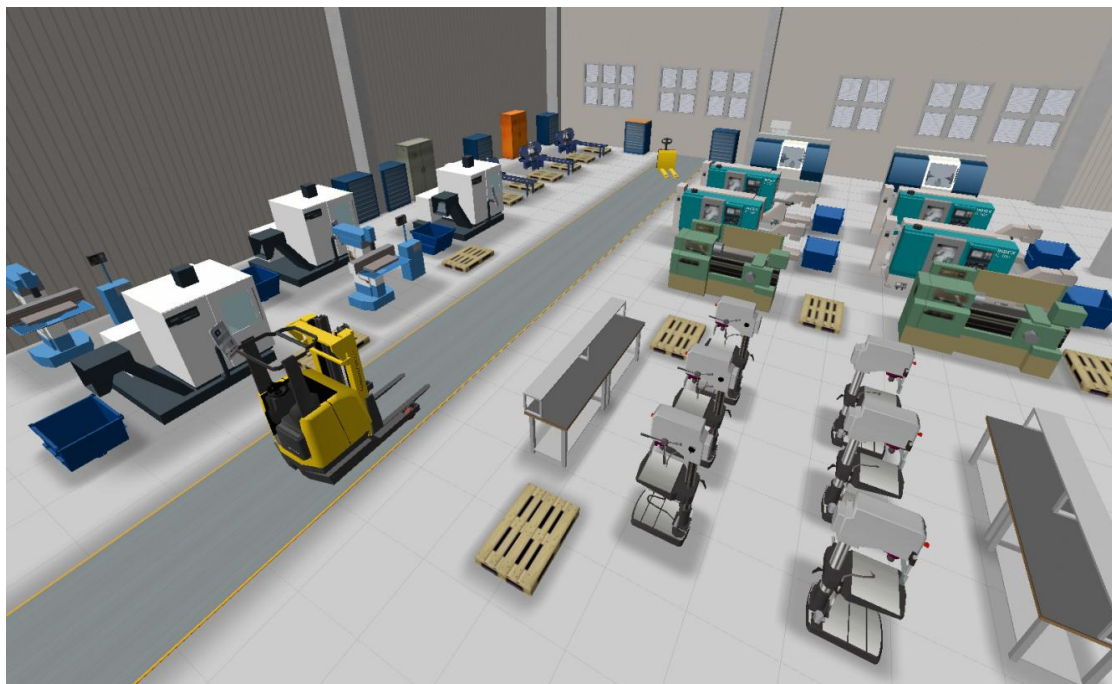
- komplikovaný a dlouhý materiálový tok,
- rostoucí náklady na dopravu,
- dlouhá průběžná doba,
- větší nároky na výrobní plochu (uličky),
- rostoucí náklady na centrální mezisklad,
- zvyšování objemu oběžných prostředků. [6]



Obrázek 2-6: Technologické uspořádání výroby [6]



Obrázek 2-7: Tok materiálu technologickým uspořádáním výroby [10]



Obrázek 2-8: Technologické uspořádání výroby - 3D layout

2.3.3 Předmětné uspořádání

Pro tuto prostorovou strukturu je charakteristické, že pracoviště jsou seřazena (podle operací) dle technologického postupu výrobku (předmětu), který se zde vyrábí. Pohyb součástí zde sleduje stejný směr a vzniká tak výrobní proud. Ideální předmětné uspořádání je možné sestavit pro jednu určitou součástku, nebo pro jednu skupinu tvarově a technologicky podobných součástí. Pokud sestavená skupina součástí vytiží potřebné stroje na 80%, pak pro skupinu uspořádáme pracoviště do linky. Z toho vyplývá, že linka je dokonalejším a speciálním stupněm této prostorové struktury. Dle charakteru výroby je tato struktura využívána ve všeobecném a středně těžkém strojírenství ve velkosériové a hromadné výrobě. Používají se speciální stroje a zařízení, speciální operační nářadí. Dělníci jsou nekvalifikovaní, stroje seřizují specialisté (seřizovači).

Předmětná struktura může být rozlišena jako typ:

- a) struktury hnízdové, kde výrobní zařízení je prostorově uspořádáno v závislosti na požadavcích zpravidla předem vybraného sortimentu součástí. V hnízdové struktuře se realizuje především dílčí výrobní proces pro konstrukčně a technologicky podobné skupiny součástí (skupinová technologie). V podstatě hnízdové struktury tvoří dílčí výrobní systémy s nižším stupněm komplexnosti výroby, tj. neukončeným cyklem výroby. V závislosti na sortimentu, sériovosti a opakovatelnosti výroby, stupni mechanizace a komplexnosti výroby a stupni integrace technologických, kontrolních a manipulačních činností může být hnízdové uspořádání v praxi realizováno jako:
 - volně rozptýlené,
 - buňkové (trojúhelníkové, mnohoúhelníkové),
 - řadové. [1]
- b) Struktury linkové se používají při výrobě menšího sortimentu a vyššího množství technologicky podobných produktů. Podle rozsahu sortimentu součástí se linkové uspořádání realizuje jako:

- pružná linka (více - předmětná linka, skupinová linka),

Pružné linky jsou určeny pro výrobu vybrané skupiny součástí, vymezené tvarem, rozměry, technologií výroby, velikosti výrobní dávky apod. Charakteristické je volné spojení mezi jednotlivými pracovišti linky, takže tok materiálu se může podle potřeby měnit jak v počtu, tak v pořadí prováděných operací. Výsledkem je technologická pružnost v rámci daného sortimentu. Tyto linky jsou vybaveny stroji univerzálního charakteru a jejich základem je účelný systém pružné manipulace s materiálem.

- proudová linka (jedno - předmětná linka).

Tyto linky jsou nejčastěji jedno – předmětné a jsou charakterizovány jednosměrným pevným dopravním spojením jednotlivých pracovišť, které jsou určeny k provedení uzavřeného souboru operací s předem danou posloupností a dobou trvání všech činností (technologických i manipulačních). Stroje proudových linek mají vysoký stupeň pracovní specializace – obrábí se většinou jedna součást, používá se speciálních stavebnicových strojů a realizace těchto linek vyžaduje značné investiční prostředky. Podle časové návaznosti tyto linky rozlišujeme zpravidla na linky:

- synchronizované (linka pracuje ve stejném taktu),
- nesynchronizované (individuální takt dle jednotlivých pracovišť). [1]

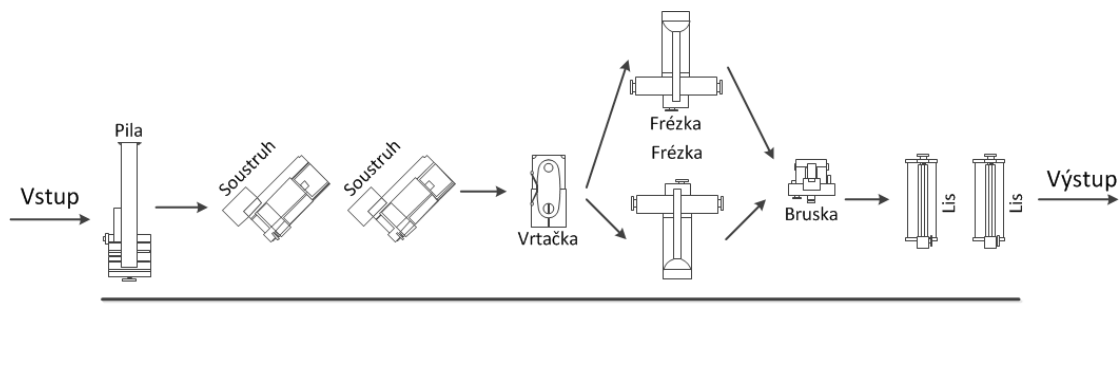
Zmíníme v souhrnu výhody a nevýhody tohoto prostorového uspořádání.

Výhody:

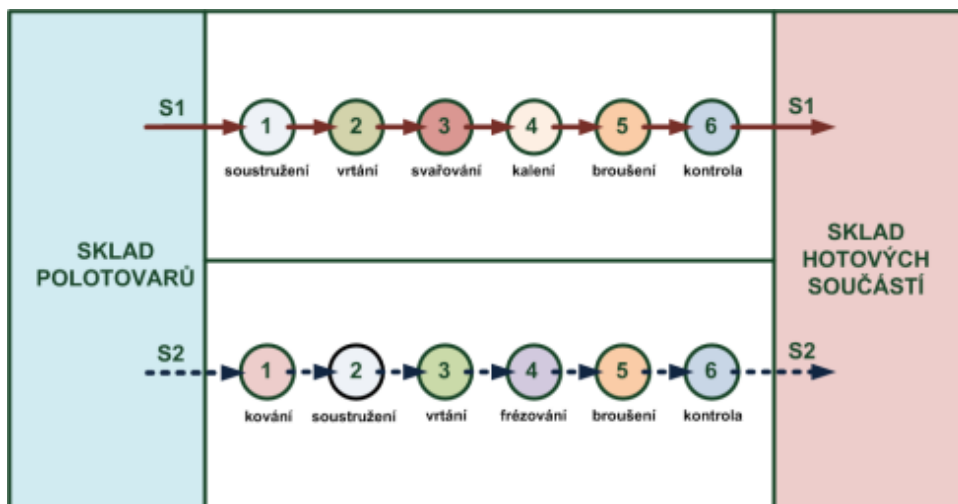
- snížení rozpracovanosti, zkrácení manipulačních drah,
- zkrácení mezioperačních časů a nákladů na manipulaci,
- zkrácení průběžné doby výroby a tím úspora z vázání oběžných prostředků,
- zmenšená potřeba výrobní plochy a tím úspora investičních (stavebních) nákladů,
- snížená nákladů za skladování (zrušení centrálního meziskladu),
- zlepšení operativního řízení výroby.

Nevýhody:

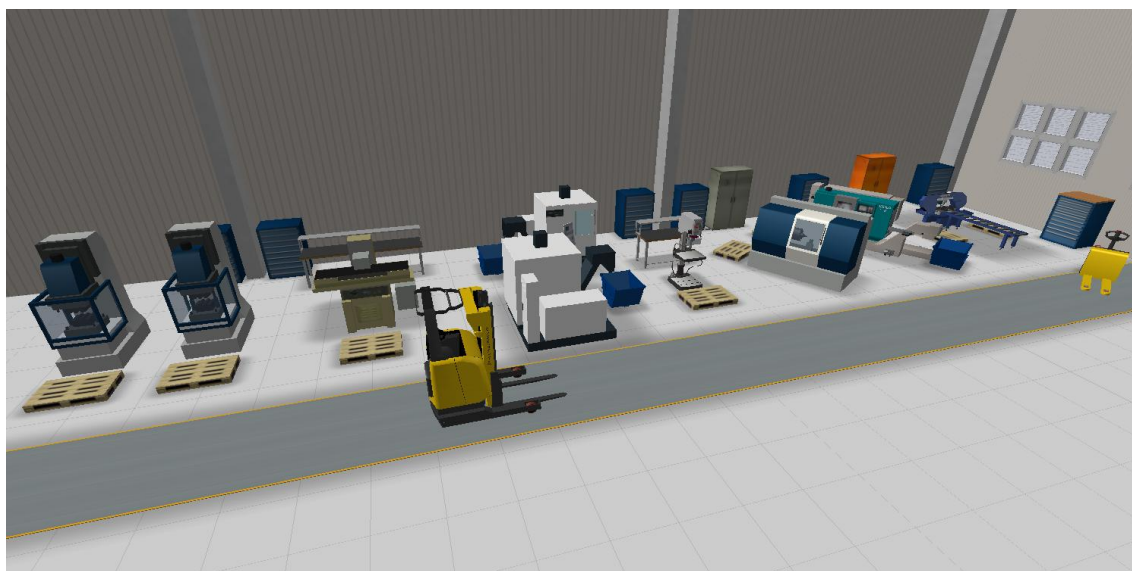
- změna výrobního programu vyvolá značné změny ve strojním zařízení i spořádání strojů,
- snížením objemu výroby poklesne využití strojů,
- toto uspořádání vyžaduje konstrukci speciálních jednoúčelových strojů, jejichž výroba i údržba je náročnější a nákladnější. [6]



Obrázek 2-9: Předmětné uspořádání výroby [6]



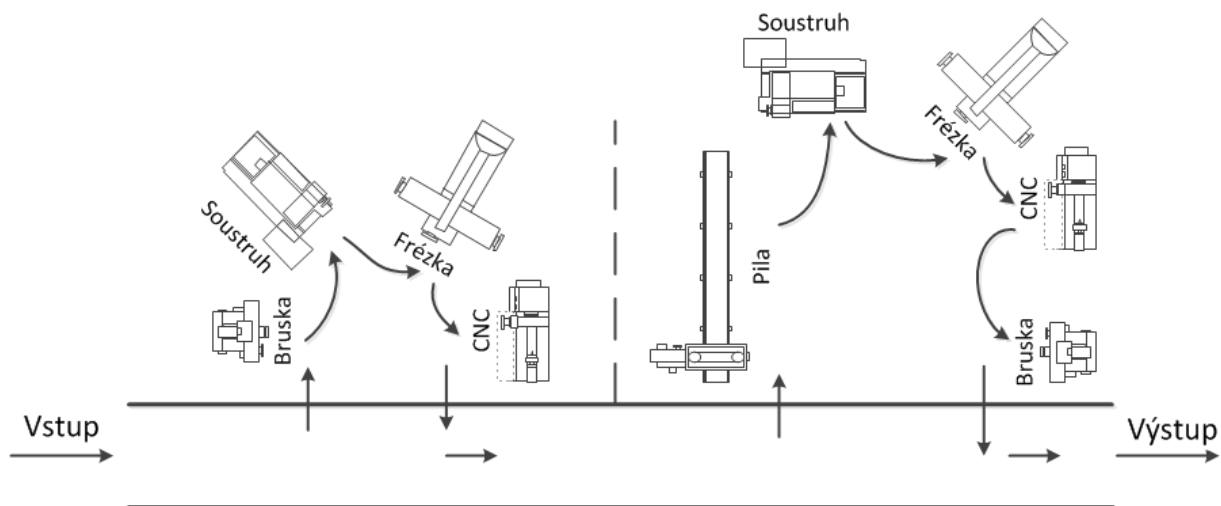
Obrázek 2-10: Tok materiálu u předmětného uspořádání výroby [10]



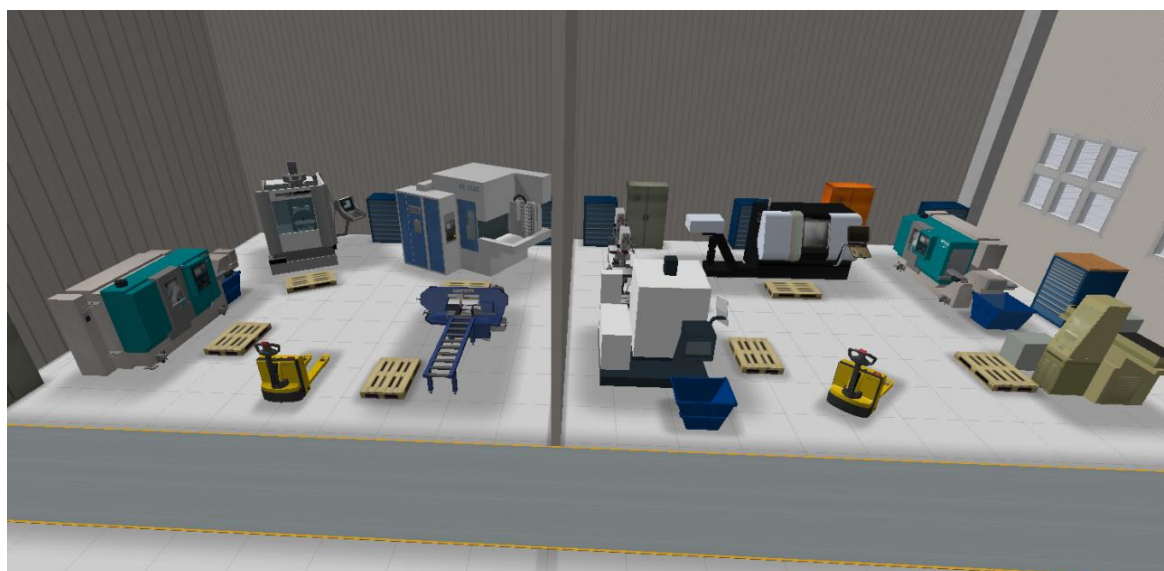
Obrázek 2-11: Předmětné uspořádání výroby - 3D layout

2.3.4 Buňkové uspořádání

Základní myšlenkou buňkového uspořádání je rozdělení výrobního systému na samostatné moduly, které autonomně plní definované výrobní úlohy a jsou navzájem propojené informační a materiálovým tokem. Tyto samostatné buňky spolupracují na principu zákazník – dodavatel a musí mít podmínky – komunikaci, přepravní spojení, decentralizaci skladů a přesun položek s největší intenzitou manipulace přímo na místo spotřeby. Výrobní buňky zabezpečují obvykle pružnost výrobního systému s ohledem na měnící se výrobní sortiment, rozšiřování a modifikaci výroby. [2]



Obrázek 2-12: Buňkové uspořádání výroby [3]



Obrázek 2-13: Buňkové uspořádání výroby - 3D layout

Zmíníme výhody a nevýhody buňkového uspořádání.

Výhody:

- minimální vzdálenosti,
- racionalizované a přehledné materiálové a informační toky,
- dobrá komunikace, přehledné řízení a jasně definované kompetence,
- nízké zásoby a krátké průběžné časy,
- „samooptimalizace“ a vysoká pružnost modulů,
- racionálně využití plochy. [2]

Mezi nevýhody můžeme zahrnout, že toto uspořádání klade větší nároky na technickou přípravu výroby. Další nevýhodou může být vysoká cena strojů a souvisejícího zařízení (cena progresivních strojů a zařízení často neodpovídá zvýšené produktivitě práce). [6]

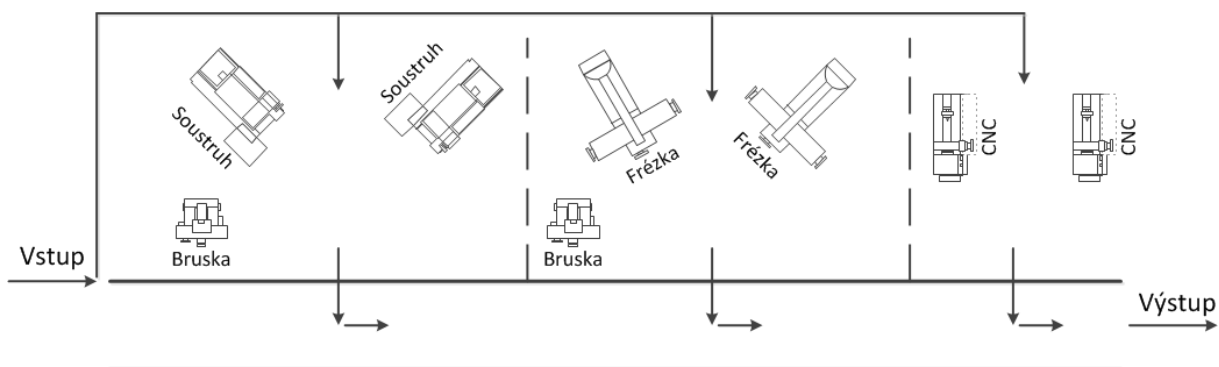
2.3.5 Modulární uspořádání

Toto uspořádání je charakteristické seskupováním stejných technologických bloků, z nichž každý plní více technologických funkcí. Celý provoz se skládá ze stejných nebo podobných modulů – skupin pracovišť. Typickým příkladem modulárního uspořádání je skupinové nasazení NC strojů v klasicky řízené dílně, nebo soustředění více obráběcích center. Modulární pracoviště mají vyšší produktivitu práce, a proto mají v dílně prioritní postavení jak z hlediska obsluhy strojů nářadím, materiálem, výkresovou dokumentací, tak z hlediska systému plánování a řízení přípravy zakázek, údržby, atd. Tento typ uspořádání se používá ve všeobecném, středně těžkém i těžkém strojírenství v kusové a malosériové výrobě. V modulu jsou používány progresivní stroje i nářadí. Dělníci jsou kvalifikovaní, technická příprava výroby zvláště uzpůsobena.

Mezi výhody můžeme zařadit:

- vysokou produktivitu práce,
- zkrácení operačních a mezioperačních časů,
- zkrácení průběžné doby výroby,
- zkrácení manipulačních drah,
- zlepšení organizace práce a řízení výroby. [6]

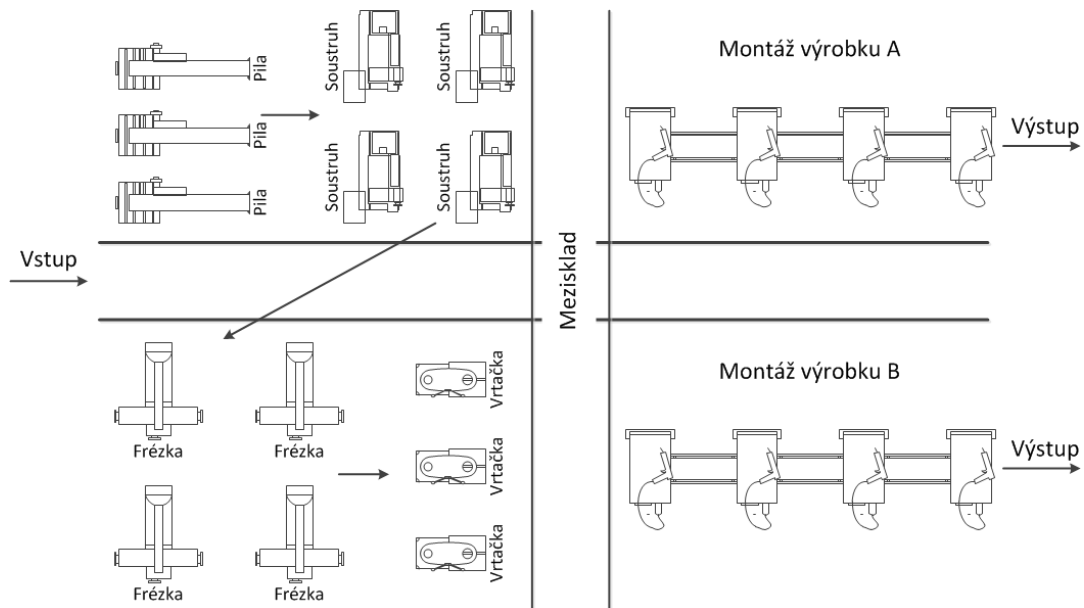
Nevýhody u tohoto prostorového uspořádání jsou podobné jako u buňkového uspořádání.



Obrázek 2-14: Modulární uspořádání [6]

2.3.6 Kombinované uspořádání

Při projektování větších celků nemůže projektant použít obvykle jen jeden způsob uspořádání pracovišť, ale musí sáhnout k vhodné kombinaci dvou nebo více způsobů. V mechanicky – technologických provozech je často velký sortiment součástek vyráběných v ekonomických dávkách na mezisklad montáže v technologicky uspořádané obrobne a montáž podskupin a finálních výrobků je možno organizovat v předem uspořádané lince. Toto uspořádání se používá ve všeobecné až středně těžké strojírenské středně sériové výrobě. Při plánování a řízení výroby obvykle volíme smíšený nebo souběžný způsob výroby v malých dávkách. Strojový park je univerzální nebo stavebnicový, nářadí univerzální až speciální konstrukce. Pracují zde zruční i kvalifikovaní dělníci. Při kombinovaném způsobu uspořádání se obvykle snažíme využít výhod obou systémů a omezit nevýhody.



Obrázek 2-15: Kombinované technologické a předmětné uspořádání [6]

2.4 Štíhlý layout a výrobní buňky

V určité míře se různé formy plýtvání vyskytují v každém výrobním systému. Jedním z prvků štíhlé výroby, který by měl vést k eliminaci jednotlivých zdrojů plýtvání, je štíhlý layout. Dle [9] oblast přepravy, skladování a manipulace zaměstnává až 25% pracovníků, zabírá 55% ploch a tvoří až 87% času, který stráví materiál v podniku. Tyto činnosti tvoří někdy 15 až 70% celkových nákladů na výrobek a značně ovlivňují i kvalitu výrobků. 3 až 5% materiálu se znehodnocuje nesprávnou dopravou, manipulací a skladováním.

Tyto náklady souvisejí s nesprávně navrženým layoutem, který je v mnoha podnicích hlavní příčinou plýtvání. Důvody mohou být takové, že ve firmách mohla proběhnout vlna změn, které souvisejí s rozšiřováním, změnou výrobního sortimentu nebo s přesunem výrob ze zahraničí. Tyto změny mohly probíhat rychle bez jasné koncepce a mohly vyústit v následky, které způsobují zbytečně dlouhé materiálové toky, množství manipulačních, skladovacích a kontrolních činností, nepřehledné procesy a složité řízení logistiky a výroby. Štíhlý layout a výrobní buňky jsou řešením uvedených problémů. Štíhlý layout zároveň přináší úsporu ploch, přičemž na uvolněných plochách je možné umístit další výrobní programy. Eliminace skladových ploch znamená nejen snížení zásob, ale i lepší přehled o pohybu materiálu a zjednodušení řízení.

Štíhlý layout má tyto hlavní parametry:

- přímý materiálový tok směrem k montážní lince a expedici,
- minimalizace přepravních vzdáleností mezi operacemi,
- minimální plochy na zásobníky a mezisklady,
- dodavatelé co nejbliže k zákazníkům (přes uličku),
- přímočaré a krátké trasy,
- minimální průběžné časy,
- sklady v místě spotřeby, vizuální kontrola počtu dílů v přepravce či na skladové ploše,
- odstranění dvojnásobné manipulace,

- FIFO a tahový systém, kanban,
- buňkové uspořádání, segmentace a spine layout,
- flexibilita s ohledem na variabilitu produktů, výrobní množství a změny výrobního layoutu. [9]

Principy výrobních buněk se využívají tam, kde je potřeba rychle a pružně reagovat na měnící se požadavky zákazníků. Buňky dokážou vyrábět variabilní sortiment s měnící se velikostí dávky, která odpovídá objednavce při velmi krátkých průběžných časech. Kapacita buňky se dá měnit v širokém rozsahu změnou počtu operátorů. Projektování výrobních buněk je poměrně náročný proces, jak z hlediska času, tak i investic, například přesuny strojů, změny layoutu. Vytváření výrobních buněk je obvykle propojené s projekty z jednotlivých prvků štíhlé výroby typu 5S, vizualizace a budování týmové práce v podniku. Změny při vytváření se netýkají jenom layoutu, ale také podnikové logistiky a systému plánování a řízení výroby.

Zásady tvorby layoutu ve výrobní buňce:

- výstup jedné operace je vstupem do druhé operace,
- těsné uspořádání strojů s možností více strojové obsluhy,
- v U – buňce jsou první a poslední operace u sebe, aby je mohl vykonávat jeden operátor,
- počáteční a koncový bod operátora jsou blízko sebe,
- vyvážený materiálový tok s jednoduchou manipulací na další operaci,
- plynulý materiálový tok bez zásobníků, palet a kontejnerů,
- redukce ploch mimoúrovňovou manipulací,
- nářadí, pomůcky a dodavatelé jsou umístěny co nejbližší,
- žádné překážky pohybu operátora (dopravníky, zábradlí, skříňky, řídicí panely) v prostoru buňky,
- polotovary a vstupující součástky jsou skladovány blízko místa spotřeby a jsou snadno dosažitelné operátorem, meziklady jsou umístěné blízko buněk, které zásobují.

Důležitým prvkem výrobní buňky je samotné výrobní zařízení, které by mělo splňovat základní charakteristiky štíhlého zařízení (autonomní zařízení, neprodukuje chyby, vybalancované v taktu, snadno představitelné, ergonomické, modulární, nízkonákladové, atd.). [9]

2.4.1 Přínosy, omezení a rizika štíhlého layoutu

Z aplikace štíhlého layoutu a výrobních buněk mohou podle [9] vznikat tyto přínosy:

- zkrácení průběžné doby výroby až o 89%,
- zkrácení času dodávky výrobku na trh až o 93%,
- zlepšení přesnosti dodávky až o 30%,
- snížení rozpracované výroby až o 83%,
- zvýšení produktivity práce až o 100%,
- snížení nákladů na zabezpečení kvality až o 66%,
- redukce potřeby ploch až o 25%.

Zavedení štíhlého layoutu a výrobních buněk sebou nese také omezení a rizika:

- nestabilní výrobní sortiment může způsobovat problémy,
- sdílená zařízení, vyžadují více buněk, potřeba kooperace,
- vysoké požadavky na pracovníky (pracovník celou směnu v pracovní buňce),
- izolované řešení, koncept štíhlého layoutu musí překonat lokální optimalizaci,
- velké stroje se základy, u nichž jsou problémy se změnou layoutu,
- časové a investiční požadavky, atd.

2.5 Všeobecné zásady při vytváření výrobní dispozice

V této závěrečné podkapitole si uvedeme v souhrnu všeobecné zásady pro vytváření výrobní dispozice prvků výrobních systémů. Jedná se o tyto zásady:

- Minimalizace přepravních výkonů, minimalizace přepravních nákladů

$$PV = \sum_{i,j=1}^n m_{i,j} \times s_{i,j} \rightarrow MIN! \quad (2.1)$$

kde: PV – přepravní výkon, $m_{i,j}$ – počet přeprav mezi stroji i a j v dané periodě (nebo přepravované množství), $s_{i,j}$ – vzdálenost stroje i a j (různé způsoby měření).

- Minimalizace ploch.

Velikost ploch jsou ovlivněné zařízeními a způsobem jejich umístěním ale také způsobem řízení výroby a vyvážení kapacit, které ovlivňují například velikost meziskladů.

- Zajištění bezpečnostních a hygienických pracovních požadavků.
- Pružnost a možnost změn v budoucnosti.
- Vhodnost pro týmovou práci – možnost komunikace, střídání práce, týmové střetnutí, možnost vizualizace procesů.
- Minimalizace zásob a průběžných časů.
- Přímý materiálový tok – tento klasický požadavek třeba brát trochu s rezervou, protože přímý tok materiálu může někdy znamenat, že na jeho konci se vykládají dopravní zařízení a potom se musí po dlouhé dráze prázdné vracet zpět. V takovém případě je vhodnější materiálový tok například ve tvaru písmena U.
- Napojení na externí logistický řetězec – zejména při montáži složitějších výrobků (automobily) bývají dodavatelé přímo integrováni do montážních linek.
- Je ideální, jakmile je možné vždy optimalizovat uspořádání strojů s ohledem na změněný výrobní program. Toto je však většinou možné jen při hladkých a mobilních pracovištích. V mnohých případech existují omezení jako například vysoké náklady na přesuny strojů (těžké stroje, základy, stavební omezení), vazby na centrálně technologická střediska. [1]

3 Prostorové řešení a materiálový tok

Třetí kapitola diplomové práce je zaměřena na zohlednění materiálového toku při řešení prostorového řešení výrobních systémů. Materiálový tok při prostorovém řešení je klíčovým prvkem. Nevhodné prostorové řešení stávajících výrobních systémů může mít nevýhody, které mohou způsobit přebytečné a nevhodné materiálové toky, dlouhé přepravní cesty mezi operacemi. Tyto negativa výrobního systému vyúsťují ve zvyšování nákladů a snižování produktivity.

3.1 Materiálový tok – obecná charakteristika

Při řešení prostorového rozmístění prvků výrobního systému, či prvků jednotlivého pracoviště, je snahou předmět řešení určitým způsobem racionalizovat. Racionalizace prostorového řešení přináší ekonomické efekty, efektivní využití prostor systému, snížení manipulace s materiálem a jak bylo zmíněno, redukuje nevhodné a přebytečné toky. Při vytváření prostorového řešení výrobního systému se obvykle začíná rozborem materiálového toku a vztahy mezi pracovišti. K tomu samozřejmě potřebujeme mít zachycený současný stav prostorového uspořádání systému. V praxi se k rozboru materiálového toku mezi jednotlivými prvky systému používají různé pomůcky a nástroje. Tyto rozborů jsou východiskem pro podrobné analýzy, které je nutné provádět, a jsou nezbytnou součástí. Na základě zjištěných nedostatků a negativ můžeme navrhnout nové varianty a následně hodnotit pro výběr nejlepší. Nutné je podotknout, že ne vždy jsou materiálové toky nejdůležitějším kritériem. Vztahy mezi pracovišti nemusí mít totiž jen materiálovou povahu.

Pokud bychom měli materiálový tok definovat, chápeme ho jako organizovaný pohyb materiálu (surovin, polotovarů, rozpracovaných dílů, výrobků, subdodávek, pomocných materiálů, odpadů), spojující jednotlivé výrobní operace nebo výrobní fáze.

Materiálový tok ve strojírenských závodech je zejména ovlivněn technologickou složitostí výrobků, jejich rozměry a hmotností a také je ovlivněn rozsahem sortimentu vyráběných součástí a jejich sériovostí a opakovatelností. Veškeré činnosti související s manipulací musíme vždy řešit s ohledem na požadavky prostoru, času a funkčních vazeb jednotlivých prvků výrobních procesů a systémů.

Manipulaci s materiálem v rámci strojírenského podniku můžeme rozdělit:

- 1) **Mezi objektovou** (například kovárna – obrobna – montáž – sklad).
- 2) **Objektovou**
 - a) mezioperační – mezi jednotlivými pracovišti v rámci uspořádaného výrobního systému,
 - b) operační (technologická) zaměřená na činnosti pro realizaci jedné operace (pracoviště) mezi vstupem a výstupem. [1]

3.2 Základní prvky rozboru hmotných toků

Základem rozboru materiálových toků a celkově této oblasti je znalost informací o hlavních činitelích a jejich vlastnostech, které musíme znát a mít je k dispozici. Jedná se o manipulovaný materiál, kde nás zajímají především jeho fyzické charakteristické znaky případně ostatní znaky. Dalším činitelem jsou trasy, kde zohledňujeme fyzický stav trasy a délku pohybu manipulovaného materiálu. Posledním hlavním činitelem je samotný tok materiálu, kde nás zajímají především jeho parametry intenzity toku a podmínky toku.

3.2.1 Materiál

Při plánování hmotných toků musíme mít dokonalou znalost o materiálu, se kterým bude manipulováno a hlavně o jeho charakteristických vlastnostech, množství a tvaru. Za tím účelem se provádí klasifikace materiálu, který se roztrídí do manipulačních skupin zboží s velmi podobnými vlastnostmi. Na tomto základně je možné manipulovat s materiálem podobné skupiny určitým typem technických prostředků shodným způsobem. Pokud se zabýváme hmotnou stránkou logistických řetězců, musím znát odpovědi na základní otázky:

- co má být manipulováno, tj. určením bližší specifikace materiálu (jeho druhu, vlastností, resp. manipulačních či přepravních jednotek), pasivních prvků,
- kolik je toho třeba manipulovat, tj. otázka množství,
- jak je nutno manipulovat, tj. otázky pracovních postupů,
- čím lze manipulovat, tj. otázky technických prostředků a zařízení včetně jejich lidské obsluhy, nebo aktivních prvků,
- kde se má manipulovat, tj. otázky výchozích a koncových míst logistického řetězce, resp. jednotlivých dílčích toků (úseků), z nichž řetězec sestává, dále směrů, manipulačních ploch, dopravních komunikací apod.,
- kdy má manipulace probíhat, tj. otázky časových požadavků, pravidelností, frekvence,

Z těchto šesti základních otázek je rozhodující odpověď na otázku první, tj. co má být manipulováno. Základní členění materiálu je možné rozdělit dle druhu na materiálu pevný (kusový), kapalný a plynný materiál. [11]

U kusového materiálu nás zajímají především tyto základní charakteristiky včetně jejich vlastností:

- rozměrové parametry (délka, šířka, výška),
- hmotnostní parametry (hmotnost jednoho kusu, objemová hmotnost, poloha těžiště),
- tvarové parametry (tyč, deska, svitek, tvar koule, hranolu, nepravidelný tvar),
- mechanické vlastnosti (odolnost proti tlaku, nárazu, údržba, křehkost, pružnost),
- kvalitativní vlastnosti (hořlavost, výbušnost, agresivita, případná změna vlastností, vliv na hygienu prostředí). [1]

Vedle těchto hlavních kritérií můžeme ještě dodatečně zmínit kritérium polohy předmětu při přemísťování a stabilitu přemísťovaných kusů (poloha vůči směru přemísťování a poloha těžiště vzhledem k dosedací ploše) či kritérium dosedací plochy a jiných vlastností povrchu přemísťovaných předmětů (geometrický tvar dosedací plochy, ostatní mechanické vlastnosti dosedací plochy).

3.2.2 Trasy

Každá trasa je určena výchozím místem (vstupem, místo naložení, výchozí pracoviště) a místem určení (výstupem, místem vykládky, koncové pracoviště). Začátek a konec trasy je důležité označit, aby se každá trasa mohla popsat. Jak začátek, tak konec trasy je ovlivněn dispozičním řešením výrobního systému.

Zajímá nás hlavně parametr vzdálenosti (délka trasy). Je to vzdálenost mezi výchozím místem a místem určení. Vzdálenost můžeme měřit buď přímočarou horizontálou (vzdušnou čarou), nebo jako skutečnou vzdálenost, kterou musí dopravní prostředek projít (pokud ji už v této

fázi známe). V projektu je vždy nutno zřetelně uvést, o jaký způsob měření vzdálenosti jde a v jakých jednotkách je vzdálenost udávána.

Dalším atributem, který souvisí se stavem trasy, je fyzická situace a její základní vlastnosti:

- rovnost a přímočarost – trasa vodorovná, šikmá, svislá, křivá, oblouková, lomená, atd.,
- zaplněnost dráhy a povrch vozovky – dopravní špičky, občasné nebo stále překážky, povrch nezpevněný, dlážděný, asfaltový, betonový, udržovaný, neudržovaný, atd.,
- klima a ostatní podmínky – plochy vnitřní, venkovní, klimatizované, čisté, nečisté, s nebezpečím výbuchu, atd.,
- situace v koncových bodech (jak z hlediska fyzického, tak i organizačního) – počet a rozložení míst nakládky, vykládky, překládky, fyzická situace v koncových bodech. [12]

3.2.3 Tok materiálu

Třetím hlavním činitelem je samotný tok materiálu, u kterého jsou důležité dva atributy, intenzita toku materiálu a podmínky toku (pohybu) materiálu.

Intenzita toku materiálu znamená množství přepravovaného materiálu za jednotku času po určité trase. Její jednotky mohou být tuny, kubické metry, kusy, palety, za hodinu, den, rok, apod.

Důležitým údajem jsou podmínky toku (pohybu) materiálu, neboť pouhá intenzita toku (například 50 tun materiálu za den) je pouze obecným měřítkem. Těchto 50 tun se totiž může skládat z pětisetunových dávek deseti různých druhů, které se musí přepravovat odděleně, což přináší zcela jiné problémy než při kontinuální přepravě 50 tun jednoho druhu. To ovlivňuje zejména volbu přepravních a manipulačních metod, volbu prostředků apod. K podmínkám toku materiálu patří:

- množství – skladba nákladu (počet přepravovaných kusů, velikost dávky), frekvence (periodická, plynulá, příležitostná), množství za určité období (sezónnost) a pravidelnost těchto podmínek,
- podmínky provozu – např. požadavek udržovat teplotu jednotlivých materiálů v průběhu dopravy, údaje o stabilitě těchto podmínek,
- lhůty (činitelé času) – požadovaná rychlost přepravy nebo naléhavost (okamžitě, podle dohody, signálů, apod.), priority přepravy, synchronizace pohybu a činností lidí, výrobním taktem nebo jinou přepravou, stabilita těchto podmínek ze dne na den. [12]

3.2.4 Vstupní data prostorového řešení ve vazbě na materiálové toky

Vstupní data pro analýzu materiálových toků vycházejí z obecných dat pro návrh prostorového řešení, které byly zmíněny v kapitole 2.2.2.

Vstupní data:

- seznam reprezentantů (rozbor základny, třídění, definování reprezentantů),
- výrobní postup,
- výchozí pracoviště (začátek materiálového toku),
- koncové pracoviště (konec materiálového toku),
- název, číslo položky (výrobek, materiál),

- hmotnost materiálu (kg), rozměry materiálu, tvar, stav,
- typ manipulace (VZV, jeřáb, kombinace, atd.),
- objemy výroby (intenzita přepravy dílu),
- dopravní dávka,
- stav dopravních cest,
- přepravní náklady,
- typ manipulace (po uličkách, jeřábem nebo kombinace po kolejích a jeřábem),
- manipulační vzdálenost (délka dráhy),
- doba manipulace a rychlost manipulace (m/min),
- přepravní výkon (součin celkového přepravovaného množství a manipulační vzdálenosti).

Samozřejmě je nutné také zjistit nejen tok materiálu daný výrobním postupem, ale také vztahy a činnosti, které jsou součástí základního toku materiálu. Jedná se o vztahy k pomocným a obslužným činnostem.

3.3 Analýza materiálových toků

Materiálový tok ve strojírenských závodech, zvláště u složitých výrobků a při velkém objemu výroby, je značně komplikovaný, proto k jeho zachycení a rozboru využíváme řady metod. Analýzu provádíme postupně v různých krocích a do různé hloubky zpracování, s ohledem na podmínky a účel konkrétního rozboru. Přednost se dává názorovým a přehledným metodám, které zachycují pohyb materiálu grafickou nebo tabulkovou formou. [1]

Při rozboru manipulace s materiálem by měl přehled obsahovat zpravidla tyto hlavní údaje:

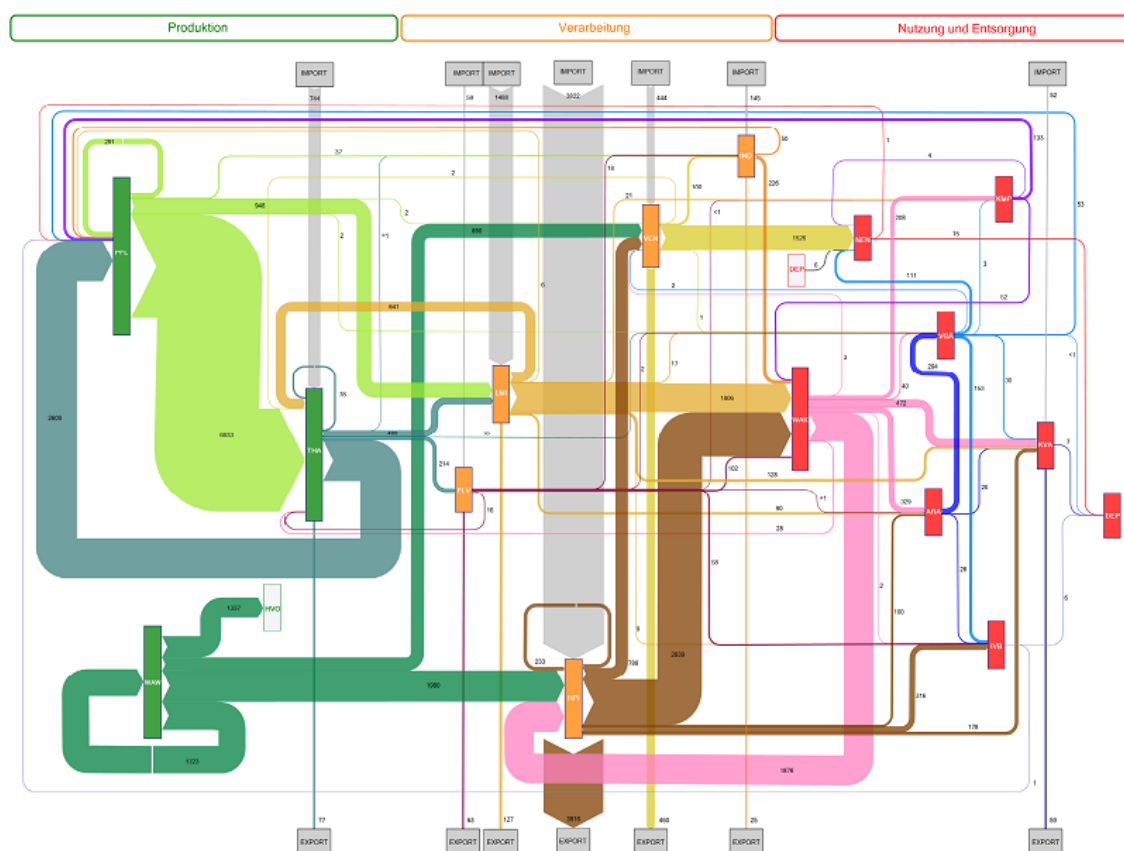
- seznam všech tras, jejich směry, průběh, vzdálenosti a fyzickou situaci na každé trase,
- pro každý pohyb (jednu materiálovou skupinu na jedné trase): intenzitu toku materiálu, přepravní výkon, podmínky jednotlivých pohybů materiálu, hodnocení relativního významu pohybu materiálu,
- pro každou trasu: celkovou intenzitu toku materiálu a rozdělení na jednotlivé materiálové skupiny, celkový přepravní výkon a rozdělení na jednotlivé materiálové skupiny, hodnocení relativního významu každé trasy,
- pro každou materiálovou skupinu: celkovou intenzitu toku materiálu a rozdělení do jednotlivých tras, celkový přepravní výkon a rozdělení do jednotlivých tras, hodnocení relativního významu každé materiálové skupiny
- celkovou intenzitu a přepravní výkon, vycházející z celkového rozboru,
- ostatní nutné údaje. [12]

V rámci racionalizace prostorového řešení výrobních systémů, kde je součástí analýza materiálového toku, pracujeme se softwarovou podporou, která nabízí grafickou podporu ve formě 2D a 3D. Materiálový tok znázorníme během návrhu prostorového řešení diagramy, schematickými diagramy, grafy s číselnými údaji (vzhlednost a intenzita), dále používáme šachovnicové tabulky a další metody. Několik metod bude následně stručně vysvětleno.

3.3.1 Sankeyův diagram

Jednou z nejdůležitějších grafických metod znázorňující materiálové toky je Sankeyův diagram. Zahrnuje údaje jako délku (vzdálenost), tvar (přímocharost), směr, druh materiálu a intenzitu materiálového toku. Existuje několika variant tohoto grafického nástroje. Jednou z nich je znázornění objemu materiálu procházející výrobním systémem. Tato varianta zobrazuje poměr manipulovaného materiálu procházející „meziobjektově“. Udává procentuální hodnoty materiálu vycházejícího ze skladu surovin, nakupované položky a odpad, na který musíme brát také ohled v rámci návrhu materiálového toku. Další variantou může být jen „meziobjektově“ znázornění materiálového toku ve výrobním systému. Softwarové produkty nám umožňují grafické zakreslení materiálových toků přímo do layoutu, který je předmětem návrhu. Díky tomu můžeme znázornit mezioperační materiálový tok výrobním systémem s jeho parametry. [7]

Na obrázku 3-1 je zobrazena jedna z možných variant Sankeyova diagramu.

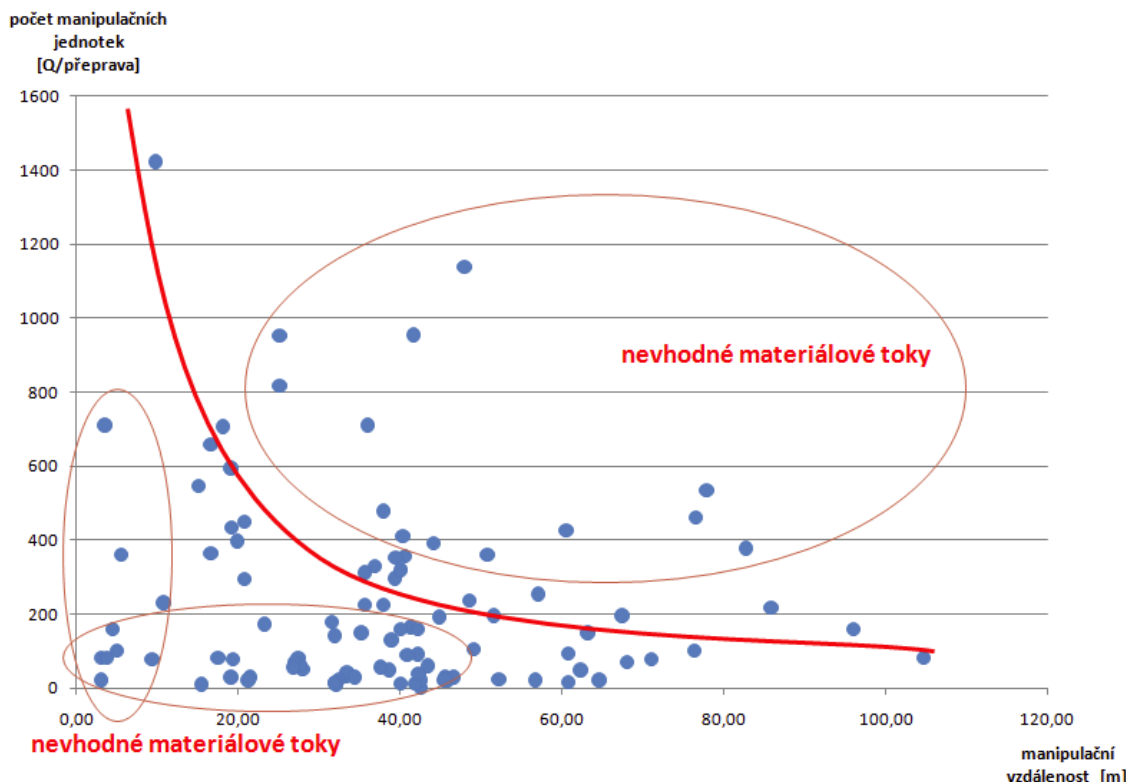


Obrázek 3-1: Sankeyův diagram [13]

3.3.2 I – D diagram materiálových toků

Další možností jak znázornit materiálový tok je graf závislosti dvou parametrů, intenzity přepravy (množství přepravovaného materiálu na dané pracoviště za jednotku času) a vzdálenosti mezi počátečním a koncovým bodem. V tomto grafu se na vodorovnou osu vynáší vzdálenost a na svislou osu se vynáší intenzita toku. Každý pohyb materiálu má určitou vzdálenost a intenzitu, je tedy znázorněn v grafu bodem. Pokud je malý materiálový tok (nízká hodnota intenzity) přepravován na krátkou vzdálenost nebo naopak pokud je velký materiálový tok přepravován na dlouhou vzdálenost, jsou materiálové toky neoptimálně vyvážené. V grafu existuje tzv. fiktivní optimální křivka, kde cílem je přiblížení jednotlivých bodů do její blízkosti. [7]

Na obrázku 3-2 můžeme vidět zobrazení příkladného I-D diagramu, kde jednotlivé materiálové toky jsou zobrazeny bodem a snahou je jejich přiblížení fiktivní červené optimální křivce.



Obrázek 3-2: I-D diagram materiálových toků [7]

3.3.3 Další metody

K rozborům materiálového toku můžeme také použít tabulku výrobního toku, kde jsou zachyceny pouze základní činnosti technologické i netechnologické. Rozbor zachycuje posloupnosti jednotlivých činností pouze vyznačených symbolů s uvedením dílčích informací, jako vzdálenost, čas trvání činnosti, frekvenci, atd. Pomocí uvedených symbolů můžeme analyzovat a graficky znázornit posloupnosti jednotlivých činností sledovaného výrobního (technologického) procesu.

Při rozboru materiálových toků širšího sortimentu (druhů) součástí (zejména tvarově a technologicky podobných) je vhodné každou položku (součást) sledovat zvlášť, ale na společném listě. Takto zpracované schéma výrobního postupu (toku materiálu) ukazuje přehledně jeho průběh a odlišnosti u jednotlivých dílů (výrobků) skupiny. Cílem tohoto rozboru je dosáhnout uspořádání operací a činností na celé skupině s minimem zpětných cest a nejmenší manipulací. Operace, mezi nimiž je největší intenzita materiálového toku, mají být umístěny co nejbližší k sobě. Jestliže je počet sledovaných výrobních položek vysoký (například počet větší než 30), zjednodušíme postup tím, že seskupíme položky tvarově a technologicky podobné, vybereme reprezentanta této skupiny a podrobíme jej rozboru z hlediska materiálového toku.

Souhrnné sledování materiálového toku je možné provádět také pomocí šachovnicové tabulky (princip odkud-kam). Tímto způsobem sledujeme intenzitu metrikových toků (t/rok, ks/směnu, dávky/měsíc, atd.) mezi jednotlivými pracovišti (stroji) určitého souboru pracovišť. Údaje zaznamenáváme do tabulky, kde můžeme také zaznamenat například četnost frekvence dopravních činností v rámci materiálového toku. [1]

4 Projektování výrobních systémů v konceptu digitálního podniku

V předešlých kapitolách, zejména ve druhé, byly vysvětleny základní teze problematiky projektování výrobních systémů doprovázené podrobným popisem oblastí, které se týkaly prostorového řešení výrobních systémů. Nepřímo se jednalo o klasický přístup návrhu výrobní dispozice. V této kapitole se zaměříme na moderní přístup dispozičního řešení výrobních systémů. S tímto přístupem by měla také více korespondovat praktická část diplomové práce.

I před digitální směřování tvorby výrobní dispozice jako moderního přístupu k projektování výrobních systémů, nadále zůstává klasický přístup návrhu využíván. Tento přístup se opírá o několik tradičních metod a postupů, které se však liší v několika projektech v rámci návrhu a zlepšení výrobní dispozice. Řešení projektu musí být komplexní, postupné, neměnné, musí dodržovat zásadu cílevědomosti, variability, flexibility, hospodárnosti a hlavně musí být zadaný projekt reálně splnitelný. Obecně jsou projekty výrobního systému zadávány z důvodu budování nového výrobního systému nebo racionalizace stávajícího dispozičního řešení z důvodu zlepšení a zlepšení materiálového toku, zvýšení bezpečnosti, snížení energetické náročnosti a podobně.

Klasický návrh řeší projekty prostorového uspořádání a tedy hlavně vztahy v navrženém objektu jako kapacity, dopravní vztahy, organizaci práce a řízení, náklady na realizaci, jakož i projekty detailních výrobních dispozic, jejichž návrhem se dosahuje optimálního prostorového uspořádání strojů, zařízení a pracovišť v jednotlivých provozech. [14]

Moderní podniky si v dnešní době uvědomují potřebu technologického projektování, jehož výsledkem již není výkres výrobní dispozice nakreslený perem, tužkou, ale koncept digitálního podniku (layoutu) v 3D zobrazení. Takový koncept je možné využít při projektování výroby na zelené louce, tak při racionalizaci již existující výrobní dispozice.

4.1 Postup tvorby prostorového řešení

Postup tvorby prostorové struktury výrobní dispozice musí být systematický a měl by procházet jednotlivými vývojovými etapami od hrubého řešení k detailnímu řešení. [15]

1) Úvodní etapa projektu

Etapa získávání základních údajů o výrobním sortimentu, pro který se má navrhnout nové prostorové řešení a o umístění nové výroby vycházející ze záměrů vedení podniku. V této etapě zjišťujeme například zákaznické požadavky (sortiment, množství, kvalitu, cenu, služby), dále nás zajímají výrobní technologie, investiční majetek podniku (stroje, manipulační zařízení, nářadí), pracovníci atd.

2) Analýza současného stavu

- a) V rámci této etapy provádíme analýzu výrobní základny. Každý projekt prostorového řešení výrobních systémů vychází ze dvou základních prvků, a to z produkce (tj. co se má vyrábět) a z množství (tj. kolik se toho bude vyrábět). V této etapě je velmi důležité definovat reprezentanty výrobních skupin, které můžeme využívat v dalších etapách projektování, zejména se jedná o hrubé a následně přesné kapacitní propočty, rozbor materiálového toku a další.
- b) Vedle analýzy výrobní základny provádíme analýzu a rozbor materiálových toků. Jedná se o klíčovou oblast při řešení prostorového uspořádání. Mezi těmito dvěma

faktory je důležitá vazba. Materiálový tok by měl být co nejehospodárnější a nejefektivnější. Této analýze bychom měli věnovat velkou pozornost.

- c) Jednou z posledních důležitých analýz současného stavu je analýza struktury podnikových ploch. V této fázi projektování jde o detailní mapování všech vnitropodnikových ploch, které jsou k dispozici pro další etapu projektování. Plochy by se měly efektivně využívat.
- d) V rámci racionalizace stávajícího prostorového uspořádání mohou průmysloví inženýři a projektanti využít k analýze stávajícího stavu také stavební výkresy podniku, výkresy prostorového uspořádání, pokud jsou k dispozici. Pokud ne, pracovníci jsou nuceni výrobní halu samostatně měřit (stavební prvky, výrobní stroje a zařízení, příslušenství, atd.)

3) Etapa statického přehodnocení výrobní dispozice

V této fázi jde o kapacitní prověření podnikových zdrojů, tvorbu koncepce variant řešení a o detailní řešení vybrané varianty řešení.

- a) Důležitou součástí řešení technologického projektu je objektivní stanovení kapacit potřebných pro zajištění výrobního procesu. Pomocí kapacitního výpočtu se zajišťují kapacity pro plnění plánované výroby v jednotlivých dílnách, provozech a závodech. Výsledkem kapacitního výpočtu je stanovení potřeby strojů a příslušenství, pracovníků (výrobních, pomocných, administrativních), dopravních a manipulačních zařízení, velikosti a počtu skladů, výrobních a pomocných ploch, energií, atd. Tyto výsledky slouží ke srovnání vzájemných relací mezi požadavky a současnými možnostmi podniku. Vyplývají z nich nezbytná opatření k zajištění výroby. Cílem kapacitních výpočtů je nejen zjistit nedostatek strojů a zařízení, ale i poukázat na nevyužívané stroje, aby mohly být přestavěny do jiné dílny nebo vyřazeny. [15]
- b) V rámci této etapy taktéž vytváříme varianty řešení výrobní dispozice. Výsledná varianta, která nejlépe koresponduje se stanoveným cílem projektu, je předmětem detailního rozpracování. Jednotlivé varianty můžeme mezi sebou na základně metod a kritérií porovnávat.
- c) Po vypracování těchto dvou fází a po potvrzení koncepce řešení, pokračujeme detailním řešením prostorového uspořádání výrobního systému. Zaměřujeme se již na konkrétní pracoviště, řešíme materiálové toky, vztahy mezi činnostmi, předepsané normy a hygienické předpisy v rámci pracovního prostředí. Dispoziční řešení se již týká konkrétních strojů a zařízení, jejich příslušenství (náradí, skříňky, pracovní stoly, židle, informační materiály, palety, boxy, regály, kontejnery, apod.). Nezapomínáme na dostatečný prostor pro pracovníka na pracovišti. [16]

4) Etapa 3D modelování prostorového řešení s podporou virtuální reality

Etapa dynamického prověření navrženého prostorového uspořádání pomocí konceptu "Digital Factory".

Pro podporu virtuálního projektování je třeba vytvořit 3D modely výrobních strojů a zařízení, které budou součástí navrhované výrobní dispozice. To co v současnosti řešením Digitálního podniku chybí je systém pro vytváření 3D výrobních dispozic a generování 3D modelů výrobních hal. [15]

5) Etapa realizace projektu a náběhu nové výroby

Obsahuje plán realizace projektových činností s plánem náběhu nové výroby. Součástí realizace projektu je velmi důležitý harmonogram realizace navržených projektových

činností. Tento harmonogram graficky znázorňuje v časové periodě pořadí a návaznost jednotlivých činností, které musí podnik provést při samotné realizaci projektu. [16]

4.2 Tvorba 2D/3D prostorového řešení výrobních systémů

Digitální projektování prostorového řešení výrobních systémů nenahrazuje klasický přístup k projektování, ale rozšiřuje možnosti projektanta. Tím zvyšuje kvalitu návrhu prostorového uspořádání. Softwarová podpora projektování a optimalizace uspořádání výrobních systémů je neodmyslitelnou součástí práce průmyslového inženýra. 3D prostředí umožňuje projektantovi si velmi názorně představit navrhovanou výrobní základnu, tím i celou výrobu již před její realizací. Tím je projektant schopen včas odstranit veškeré nedostatky a rizika, které jsou skryty ve 2D pohledu.

Na trhu se vyskytují již produkty určené k návrhu prostorového řešení. Od nenáročných jednoduchých softwarů až po komplexní systémy, které mají široké spektrum oblasti projektování. Vedle samotného návrhu mohou analyzovat materiálový tok, ergonomické analýzy, manipulaci s materiálem, přepravní výkony, atd. Pomocí těchto komplexních softwarů může projektant navrhnout celou výrobní halu (layout) a odstranit nedostatky ještě před samotným spuštěním výroby. Jednotlivé softwarové produkty poskytují už předdefinované algoritmy pro návrh a optimalizaci prostorového uspořádání vycházející z klasického přístupu k projektování. Moderní softwarové nástroje poskytují možnost 3D prezentace výrobního systému ve virtuálním prostředí. Na obrázku 4-1 vidíme schematický postup digitálního projektování výrobních systémů ve čtyřech fázích.



Obrázek 4-1: Postup digitálního projektování [16]

4.2.1 Příprava 3D modelů

Úvodní fází digitálního projektování výrobních systémů je příprava 3D modelů kompatibilních pro softwarový nástroj, ve kterém je zpracováván layout. Tyto 3D modely jsou základním stavebním prvkem představy o digitálním projektování. Tvoří náplň layoutu a pomocí nich je prostorové uspořádání vytvářeno. Modely v návrhu layoutu 2D taktéž použijeme a mohou sloužit k jednotlivým analýzám realizovaných v prostorovém uspořádání. Čím kvalitněji připravené modely jsou, tím výsledná vizualizace layoutu tvořená těmito modely lépe vypadá a je reálnější.

Mezi základní postupy tvorby modelů patří:

- využití softwarových produktů pro modelování,
- 3D laserové skenování,
- využití dostupných knihoven 3D modelů v rámci softwarových nástrojů.

Nutno podotknout, že většina softwarových nástrojů pro tvorbu dispozičního řešení je vybavena základní knihovnou, která modely již obsahuje a není nutností připravovat 3D modely. Ne vždy ale vybavenost knihoven softwarových nástrojů koresponduje s reálným prostředím prostorového uspořádání konkrétního podniku. Vybavenost knihoven zaujímá poměrně široké spektrum, nicméně v řadech případů se jedná pouze o náhradu daného prvku, čímž vizuální stránka nekopíruje již reálné prostředí, ale snaží se pouze přibližovat. V tomto případě je tedy nutností vytvoření modelů daných prvků, které kopírují reálnou podobu. Také samozřejmě záleží na typu a rozsahu projektované systému. Jiná důležitost připadá projektu, kde výstupem a náplní je vizualizace layoutu a jiná důležitost připadá projektu, kde výstupem jsou analýzy, a stránka vizuální není klíčová.

Pro tvorbu modelů používáme CAD softwarové nástroje. Tento software zahrnuje programy pro projektování ve 2D i ve 3D. Na trhu jsou obecné CAD programy určené pro všechny technické profese nebo specializované programy určené pro konkrétní profese. Nejčastěji používanými programy jsou Autodesk Inventor, CATIA od společnosti Dassault Systemes, NX Siemens PLM Software, Creo od firmy PTC, případně další programy.

U některých softwarových produktů je velkou výhodou, že společnost poskytuje vzájemnou kompatibilitu mezi nástrojem pro tvorbu 3D modelů a mezi nástrojem pro tvorbu layoutu, není třeba převod modelů mezi jednotlivými nástroji.

Modely jsou tvořeny na základě zjištěného současného stavu prostorového uspořádání a vybavenosti podniku, či na základě požadavků pro tvorbu nového prostorového uspořádání. Většinou se jedná o výrobní stroje a zařízení, příslušenství k těmto strojům, ostatní vybavení výrobních hal, jako například montážní pracoviště, montážní stoly, skladové hospodářství (regály, palety, boxy, přepravky, obaly), manipulační technika, apod. Dle metodického postupu zmíněného v předešlých kapitolách zjišťuje požadavky na modely již v úvodní fázi projektu a analýze současného stavu. Pokud se jedná o změnu a racionalizaci stávajícího prostorového uspořádání, výrobní prvky, které jsou předmětem modelování, zpracováváme na základě reálných rozměrů a designu, tyto parametry můžeme získat buď reálným změřením a fotografováním, nebo například z katalogů výrobců.

4.2.2 Návrh prostorového uspořádání a modelování výrobního systému

Návrh a optimalizace prostorového řešení výrobního systému je následující etapou digitálního projektování po přípravě a tvorbě 3D modelů. Prostorové uspořádání výrobního systému je buď sestaveno podle existujícího stávajícího stavu (reálného výrobního systému), případně je navrhnutý úplně nový výrobní systém podle zvoleného uspořádání projektantů a průmyslových inženýrů, založené na analýzách, metodách a nástrojích pro tuto oblast. Právě v této fázi návrhu a optimalizace je možné využít softwarovou podporu, která se vyskytuje dnes již ve větší nabídce na trhu.

Pro návrh výrobní základny a tím zajištění výše zmíněných požadavků, existuje celá řada metod a softwarových produktů - produktů digitálního podniku. I přesto, že většina těchto metod nabízí pouze statickou optimalizaci (na druhé straně méně náročné než dynamická simulace a většinou s dostatečně uspokojivými výstupy), přináší projektantovi během návrhu přes metodicky strukturované plánování včasné rozpoznání veškerých rizik, vystupující ze špatného návrhu výrobního layoutu, dispozice pracovišť a s tím i související materiálové toky. Včasná eliminace těchto rizik je díky možnosti detailního pohledu (a pohledu v 3D prostředí)

na výrobní systém již v počátečních fázích návrhu bez jakéhokoliv zásahu do reálné výroby. [17]

4.2.3 Softwarová podpora při návrhu prostorového uspořádání

V současnosti je na trhu nabídka mnoho softwarových produktů pro podporu projektování výrobní základny. Tyto softwarové nástroje se řadí do skupiny nástrojů "digitálního podniku". Jsou také označovány, jako nástroje digitální továrny, digitální fabriky, anglicky digital factory a nebo nově jsou zařazovány do nástrojů životního cyklu produktů (PLM softwarové nástroje). Jednotlivé softwarové nástroje můžeme rozdělit do tří skupin. První z nich jsou komplexní nástroje, které obsahují kromě nástrojů pro návrh a plánování výrobního systému i nástroje CAD, které byly zmíněny v předešlé podkapitole. Další skupinou jsou pak nástroje specializované pro návrh prostorového uspořádání výroby. Třetí používanou skupinou jsou nástroje univerzální, které jsou primárně určeny pro tvorbu výkresové dokumentace produktů a jsou v mnohých firmách používány i pro návrhy prostorového uspořádání. Přehled a rozdělení vybraných významných nástrojů je uveden v následujícím rozdělení. [7]

Komplexní nástroje digitálního podniku:

- Dassault Systemes Delmia,
- Tecnomatix: Siemens PLM Software,

Specializované nástroje:

- visTABLE,
- CEIT TABLE,
- Autodesk Factory Design Suite,
- Visual Components,
- EON Planner,
- MPDS4 Factory Layout,

Univerzální nástroje:

- AutoCAD,
- Varicad,
- MS Visio. [7]

4.2.4 Software visTABLE touch Software

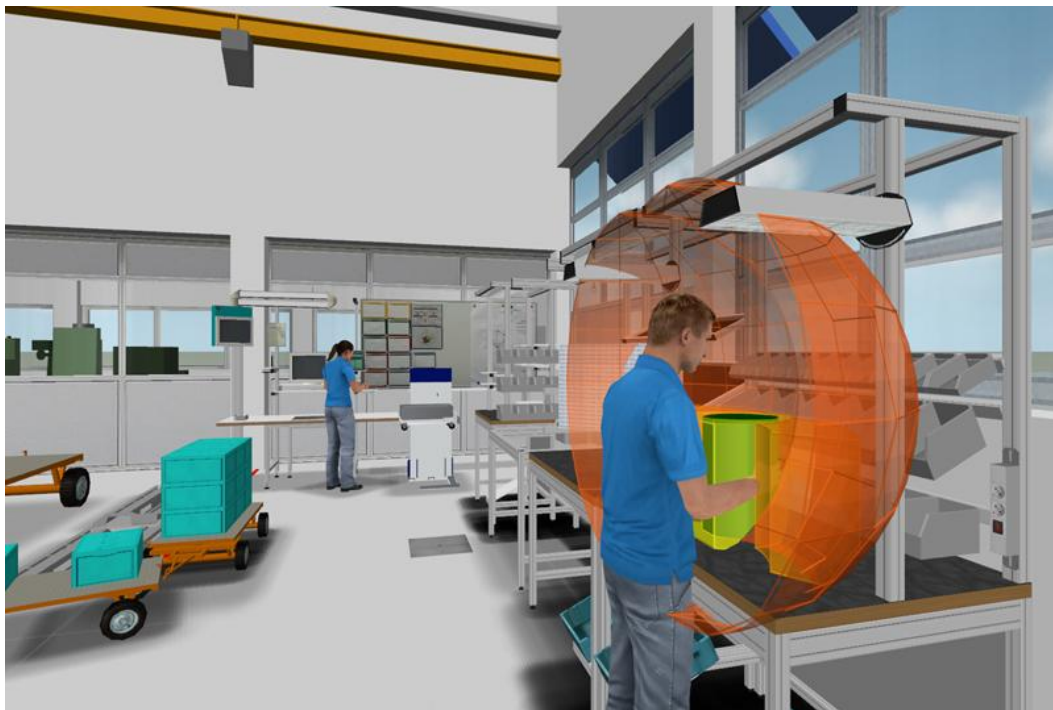
Praktická část diplomové práce se bude zpracovávat právě v tomto softwarovém nástroji pro prostorové řešení výrobního systému, proto bude tento nástroj popsán a budou charakterizovány hlavní atributy tohoto nástroje. Tento softwarový produkt je od německé společnosti Plavis GmbH. Poskytuje široké rozpětí funkcí, co projektant a průmyslový inženýr potřebuje k detailnímu vytvoření prostorového uspořádání. Nástroj visTABLE slouží jako podpůrná aplikace pro statický návrh výrobních systémů. Tento software je charakterizován zvláště jeho poměrně přehledným obsluhováním. Nicméně zahrnuje aplikace, které projektantovi usnadní práci a rozhodování při návrhu dispozice pracovišť a celého výrobního layoutu, ale i při návrhu ostatních prostor, jako například prostory kancelářské, veřejné atd. [8]

V aplikaci visTABLE jsou podporovány především následující aktivity:

- návrh prostorového řešení pomocí 2D zobrazení a 3D zobrazení navrhovaného systému,
- možná tvorba a vizualizace materiálových toků a přepravních vztahů, případně personálních toků,
- zlepšování dispozičního řešení z hlediska materiálových vazeb mezi jednotlivými prvky,
- analýza a vyhodnocení přepravních výkonů formou I-D diagramu, grafická forma Sankeyova diagramu
- zjištění možných kritických stavů z nevyhovujícího uspořádání, přezkoušení a dodržení minimálních vzdáleností, kontrola bezpečnosti,
- vyhodnocení a porovnání navrhovaných variant řešení, vyhodnocení layoutu.
- možnost nahrávání videa, možnost tvorby obrázku přímo ze 3D zobrazení. [16]

Cílem není popsat tento nástroj detailně, nicméně je třeba zmínit hlavní výhody tohoto nástroje. VisTABLE obsahuje výchozí knihovnu modelů, která je poměrně široká a je vhodná pro tvorbu prostorového řešení, široká škála prvků výrobního systému se vyskytuje v této knihovně. Jak bylo zmíněno v podkapitole týkající se tvorby 3D modelů, je možné do výchozí knihovny provést import těchto objektů v kompatibilním formátu přes správce objektů a tedy v rámci layoutu tyto importované objekty použít.

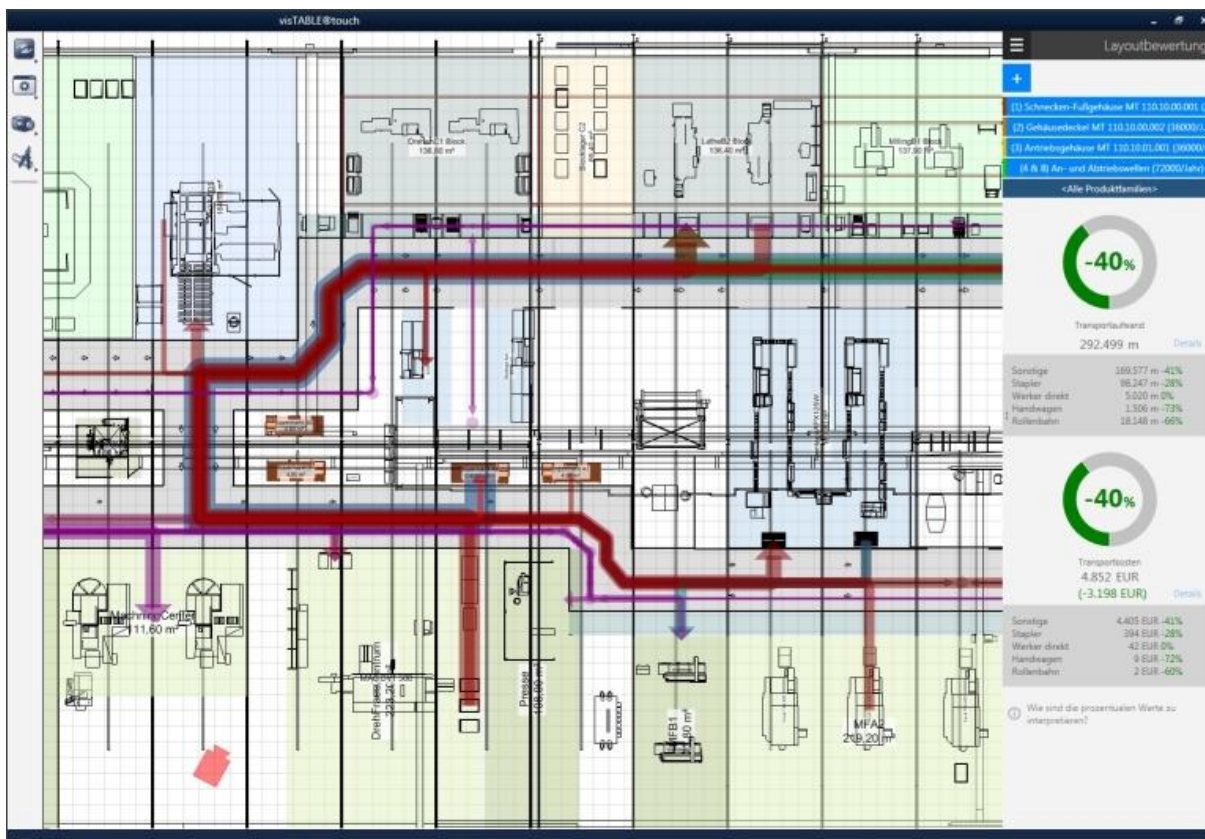
Na obrázku 4-2 je zobrazeno pracoviště v rámci layoutu tvořeného pomocí nástroje visTABLE.



Obrázek 4-2: 3D zobrazení pracoviště pomocí tvorby v nástroji visTABLE [18]

Předpoklad úspěšného využití nástroje visTABLE přináší vhodně vybavená knihovna 2D a 3D požadovaných objektů. Pomocí těchto objektů lze jednoduše vytvořit plánovaný obrazec reálné výroby.

Na následujících obrázcích 4-3 a 4-4 jsou ukázky pracovního prostředí v nástroji visTABLE.



Obrázek 4-3: Zobrazení pracovního prostředí v nástroji visTABLE [18]



Obrázek 4-4: Prostorové uspořádání pomocí nástroje visTABLE [7]

4.3 Určení základních parametrů výrobního systému

V předchozích kapitolách byla popsána postupná metodika aplikovaná při návrhu či změně prostorového uspořádání výrobního systému. V obecné metodice projektování výrobních systémů a i v metodice zaměřené detailně na prostorové řešení jsou zmíněny kapacitní výpočty podnikových zdrojů.

Výpočty jsou zpracované na základě konkrétních a pravdivých parametrů souvisejících s předmětem projektování v návaznosti na rozborovou práci a zadání. Kapacitní propočty řeší vztah mezi předepsaným (plánovaným) výrobním programem a výrobním profilem navrhovaného objektu (stroje, lidé, atd.). Pokud stanovujeme nový objekt, vypočtený výrobní profil jen realizujeme. V rámci racionalizace pak existující výrobní profil optimální změnou přizpůsobíme plánovanému výrobnímu programu. Kapacitním výpočtem si stanovíme teoretickou potřebu:

- strojů a zařízení,
- manipulačních prostředků,
- výrobních a pomocných dělníků,
- inženýrsko – technických a administrativních pracovníků,
- výrobních, pomocných, správních a sociálních ploch,
- energií dle jednotlivých druhů. [6]

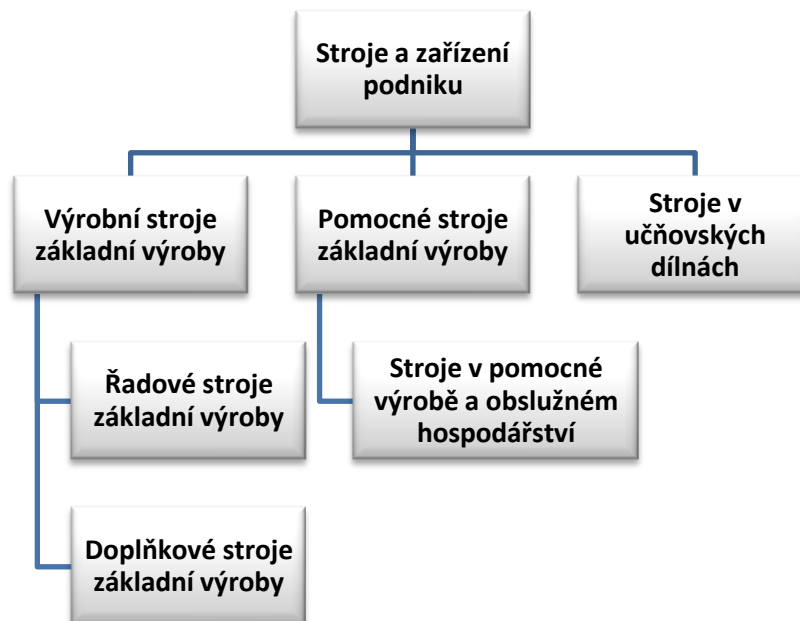
Kapacitním výpočtem stanovíme tedy potřebu strojů, ploch, lidí, atd. K projektování není třeba jen jejich celková hodnota, ale je důležité také znát jejich části dle zavedené kategorizace. V rámci praktické části budou uvedeny jednotlivé vzorce dle kategorií kapacitních výpočtů. V této podkapitole si ukážeme zejména klasifikaci jednotlivých kategorií. Metod a postupů kapacitních propočtů je dnes mnoho, v zásadě se rozeznávají dvě skupiny propočtů:

- hrubé (orientační) propočty,
- přesné kapacitní propočty,
- univerzální postupy (aplikovatelné na výpočet všech projektů),
- specifické (využitelné pro výpočet určité dílny, lakovny, apod.).

Pokud děláme kapacitní propočet na provoz (závod), vyrábějící málo druhů výrobků, provádíme kapacitní propočty jednotlivé pro každý druh. Pokud podnik vyrábí mnoho druhů výrobků, určuje se jeden nebo více představitelů a kapacitní propočet se poté provádí na technologii charakterizující daného představitele.

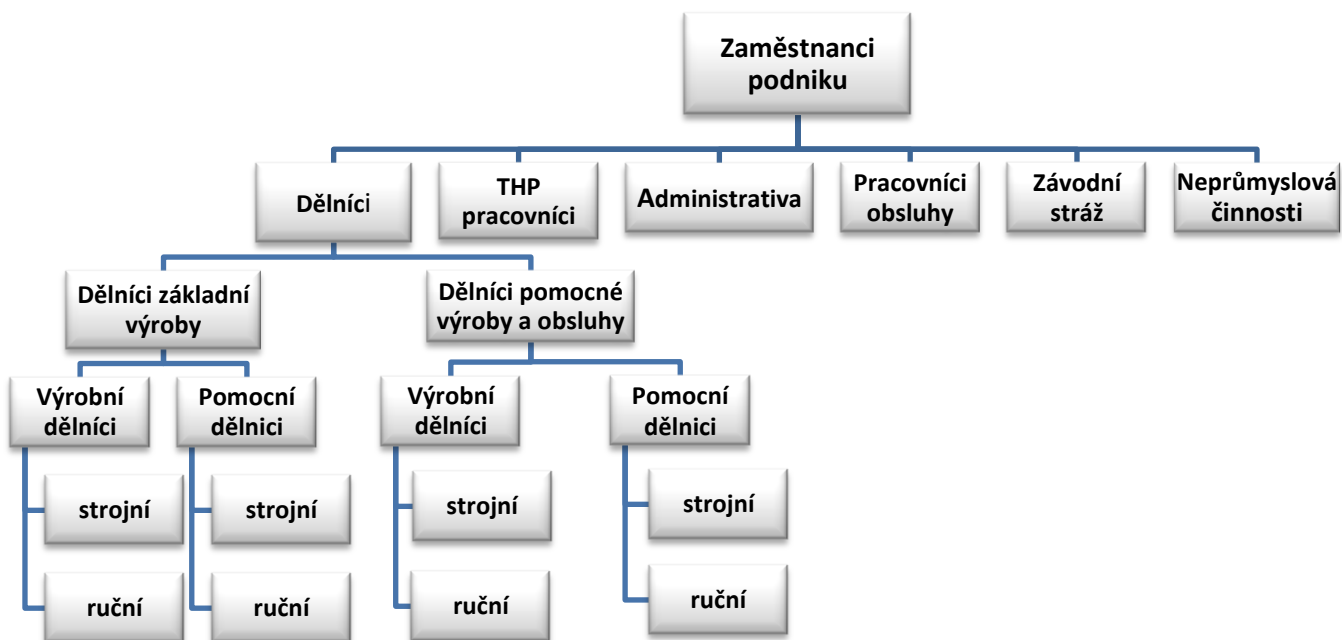
Na následujících schématech si ukážeme klasifikaci (strukturu) strojů, pracovníků a ploch podniku. Obrázek 4-5 popisuje základní dělení strojů a zařízení v podniku.

Stroje doplňkové základní výroby mají nízké využití (méně než 30% během 24 hodin). Toto rozdělení strojů je provedeno z hlediska celopodnikového. Pokud budeme navrhovat pomocný provoz, například obrobnu, pak budeme z hlediska prostoru obrobny také hovořit o řádových a doplňkových strojích. [6]



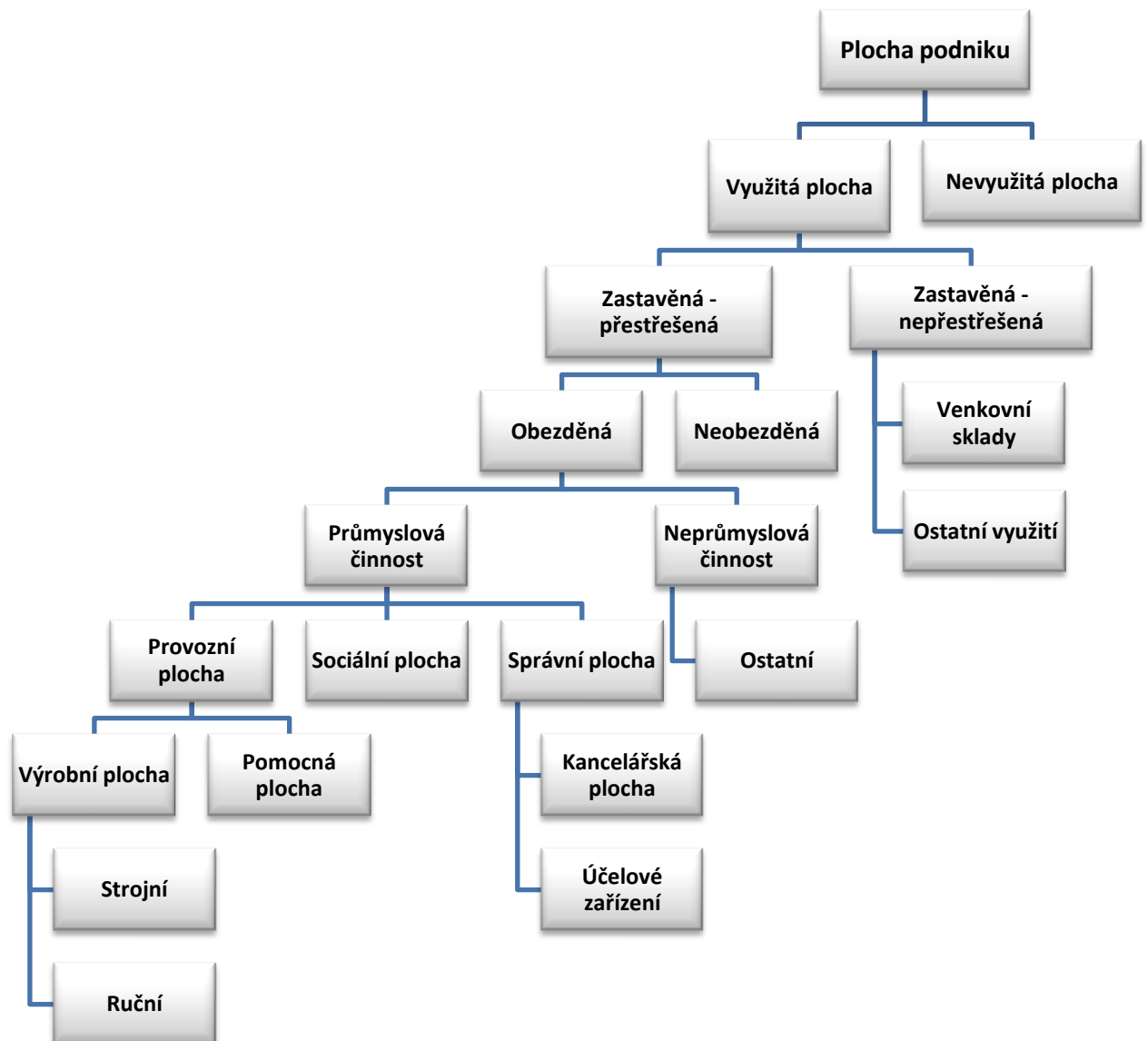
Obrázek 4-5: Dělení strojů [6]

Na obrázku 4-6 je rozdělení zaměstnanců podniku, přičemž první hlavní skupinou jsou dělníci, kteří se dále větví na dělníky základní výroby a pomocné výroby a obsluhy. Druhou skupinou jsou úředníci, do kterých můžeme zahrnout THP pracovníky a administrativní pracovníky.



Obrázek 4-6: Rozdělení pracovníků [6]

Na obrázku 4-7 je schéma rozdělení jednotlivých ploch podniku. Ze všech ploch je klíčové zmínit zejména plochy pro průmyslovou činnost, jedná se o provozní plochy, sociální plochy a správní plochy.



Obrázek 4-7: Rozdělení ploch [6]

V praktické části diplomové práce budou kapacitní výpočty rozděleny do třech hlavních kategorií. Nejprve se zaměříme na časové hledisko neboli časové propočty. Druhou kategorií budou kapacitní výpočty zaměřené na pracovníky a výrobní zařízení – kapacitní propočty a poslední skupinou budou propočty jednotlivých ploch podniku – prostorové propočty.

5 Praktická část – návrh prostorového uspořádání

Předmětem praktické části diplomové práce je návrh kompletní digitální továrny pro výrobu závodních monopostových vozů. Jak je z pojmenování patrné, jedná se o jednomístný sportovní, či závodní automobil formulového typu. Tento závodní okruhový monopost je označen jako Formula student (Formula SAE). Pro tento objekt řešení bude navrhováno kompletní prostorového uspořádání výrobního systému pro samotnou výrobu a také finální montáž. Jedná se o situaci, kdy je navrhován nový layout včetně nové haly. Na rozdíl od jiných typů návrhů, kdy se provádí jen přestavba současného layoutu nebo nový návrh layoutu ve stávajících prostorech, u tohoto typu návrhu je hlavní rozdíl v náročnosti a rozsahu. Vedle sestavování výrobní haly přibývají kroky potřebné pro návrh celého generelu podniku. Jedná se zejména o stavební projekt, který popisuje návrh samotné stavby (rozměry, technologie, rozvody energií, odvody odpadů, komunikace) a situování areálu do okolí, které se zabývá několika hlediska. V rámci této diplomové práce bude proveden kompletní návrh layoutu výrobních a montážních částí a stavební projekt a generel nebude uvažován.

Průběh návrhu nového layoutu bude proveden dle postupu a metodiky, která byla zmíněna v kapitolách teoretické části. V prvních krocích se zaměříme na samotný objekt řešení, který bude naplnit úvodní etapy zpracování, Formula SAE bude stručně popsána a postupně se kroky budou upínat k etapě sběru informací, analýzy současného stavu a rozboru vstupních dat a parametrů. V návaznosti na tuto analýzu a rozborovou práci je nutné z reálných parametrů zpracovat kapacitní výpočty, etapu můžeme pojmenovat jako statické hodnocení výrobní dispozice. Na základě kapacit je již možné navrhovat možné varianty řešení a po porovnání se na jednu z variant konkrétně zaměřit a zpracovat detailní návrh, tedy prostorového řešení výrobního systému a všech jeho prvků. Tento návrh bude probíhat v softwaru visTABLE, kde výstupem nebude jen samotný layout, ale také jednotlivé druhy analýz, porovnání a vizualizací.

5.1 Informace o soutěži a týmu pro Formula SAE

Formula student, resp. Formula SAE je mezinárodní soutěž pořádaná organizací SAE International (Society of Automotive Engineers), které se účastní přes 500 technických univerzit a má tradici již od roku 1979, kdy se konal první závod v USA. Po úspěšném začátku soutěže v USA byla myšlenka uspořádání těchto soutěží převzata i evropskými inženýrskými asociacemi a proběhla v roce 1998 pod názvem Formula Student, pod kterým vystupuje v Evropě do dnešní doby.



Obrázek 5-1: Sraz účastníků na závodě [19]

Tým složený ze studentů dané univerzity má za úkol navrhnout, vyrobit a postavit monopost formulového typu podle pravidel soutěže pro daný rok. V rámci návrhů a výroby musí tým respektovat určitá pravidla. Mezi ty základní patří například čtyřdobý motor o maximálním obsahu 610 ccm, bezpečnostní oblouky rámu nad hlavou a nohama jezdce a samozřejmě závodní nehořlavé oblečení řidiče podle homologace FIA. Řidič monopostu musí být také student, nemělo by se jednat o profesionálního jezdce. S takto navrhnutým závodním monopostem se studenti účastní vybraných soutěží v Evropě, kde jsou postupně prověřovány v několika oblastech.



Obrázek 5-2: Formula SAE na závodním okruhu [19]

Tým, který navrhne a postaví reálný závodní monopost, musí také prezentovat svůj monopost a záměr fiktivnímu investorovi a poté připravit fiktivní sériovou výrobu v objemu 1000 kusů za rok. Právě to se stalo impulsem pro náplň a řešení praktické části diplomové práce. Závod Formule SAE nejsou klasické závody kolo na kolo, ale měření sil týmů probíhá v několika disciplínách, které jsou rozděleny do statické a dynamické části.

Ve statické části závodů tým získává body za prezentaci projektu (business prezentace), konstrukční řešení (design prezentace) a výrobní cenu monopostu (cost report). Dříve než vůz může přejít do dynamické části závodu, ve které jsou disciplíny jako akcelerace na 75 metrů, kruhový test (skidpad), ovladatelnost vozu (autocross), či vytrvalostní hledisko a spotřeba na trati dlouhé 22 km, musí projít technickou přejímkou, testem brzd, hlučnosti a testem proti převrácení při náklonu 60°. Profil tratí klade důraz na dynamičnost vozu a ne na maximální rychlost. Trať je tvořena řadou retardérů a slalomu, přičemž nejdelší rovinka je dlouhá 77 metrů. Vítězem se stává tým, který z 1000 možných bodů získá nejvíce. [19]

Spolupráce na návrhu fiktivního layoutu pro výrobu monopostů formule probíhá s týmem UWB Racing Team Pilsen, sídlící na Západočeské univerzitě v Plzni. Tento tým je momentálně tvořen z téměř třiceti studentů bakalářského a magisterského studia. Většina členů jsou studenti z fakulty strojní, dále členové fakulty elektrotechnické, aplikovaných věd, ekonomické a designéři. Více členů se věnuje konstrukční části výroby formule, kde jednotlivci nebo týmy řeší vývoj daného systému, který si zvolili. Uplatnění najdou zde i studenti fakulty elektrotechnické, neboť elektronika je součástí monopostu. Studenti mechaniky se zaměřují na složitější výpočty pomocí speciálních programů, důležitou součástí je také PR oddělení pro vnější vztahy.

V rámci spolupráce na tomto návrhu fiktivního layoutu probíhaly konzultace s vedoucími členy týmu ohledně předávání dat a parametrů potřebných pro návrh.

5.2 Úvodní etapa zpracování – objekt řešení

Tato podkapitola se týká první etapy řešení a tedy získávání základních údajů o výrobku, pro který se bude navrhovat nový fiktivní layout. Objekt řešení, jak bylo zmíněno v předešle kapitole, je závodní monopost, Formula SAE, patřící týmu UWB Racing Team Pilsen.

Na obrázku 5-3 vidíme tento monopost Formula SAE, který je stavěn pro účast na závodech v sezóně 2016.



Obrázek 5-3: Formula SAE od UWB Racing Team Pilsen

Tento závodní monopost se jako celek skládá z mnoha částí a komponent. Řešení tohoto monopostu by mohlo být pro návrh bez určitého rozdělení celku poměrně komplikované. Proto po seznámení a proniknutí do problematiky byl monopost rozdělen na několik systémů tvořících celek. 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.

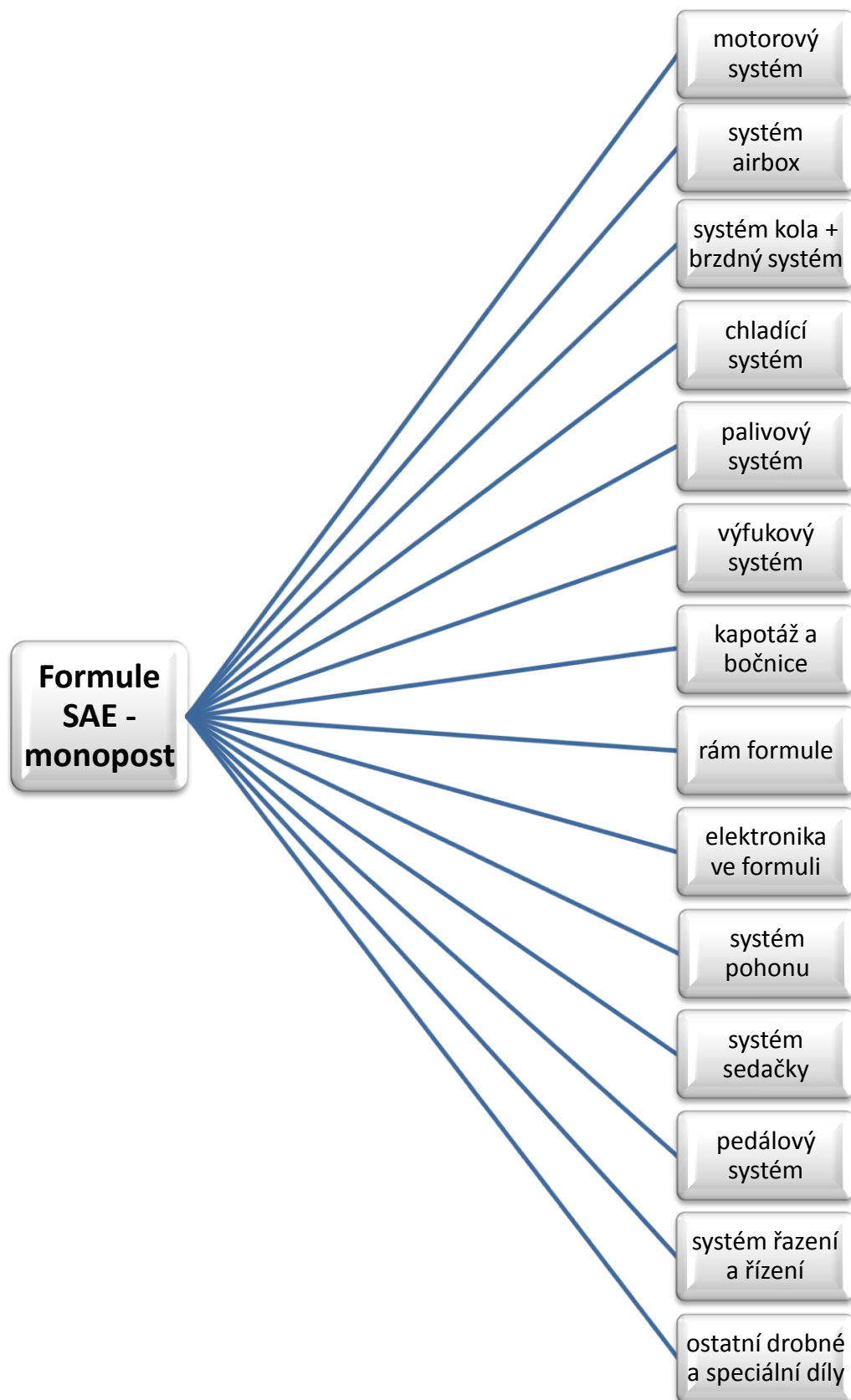
Vedle rozdělení jednotlivých systémů, které v sestaveném celku tvoří kompletní monopost, bylo důležité zjistit, jakým způsobem budou dodávány jednotlivé položky v rámci zmíněných podsystémů. Převážně část položek bude vyráběna.

Z hlediska výrobních procesů by se položky měly vyrábět těmito způsoby:

- svařování,
- laminování,
- obrábění.

U několika položek vyráběných svařováním a obráběním je závěrečnou etapou před montáží proces lakování. V navrhovaném layoutu se musí tedy počítat s těmito výrobními technologiemi včetně lakovny.

Na obrázku 5-4 je znázorněno schematické rozdělení monopostu dle jednotlivých systémů, názorně a přehledně.



Obrázek 5-4: Schematické rozdělení monopostu dle systémů

Zbylé položky tvořící systémy jsou nakupované. V rámci první etapy týkající se hlavních informací o objektu řešení byly získány v souhrnu tyto informace:

- 1) hlavní objekt řešení – Formula SAE,
- 2) hlavní parametry monopostu,
- 3) ze zadání soutěže požadavek objemu výroby 1000 kusů za rok,
- 4) rozdělení monopostu na hlavní podsystémy (znázorněno na obrázku 5-4),
- 5) sortimentní rozdělení, převážná část položek získaná vlastní výrobou, ostatní položky nakupované,
- 6) hlavní výrobní technologie a související používané technologie,
- 7) základní vybavení výrobními stroji a zařízeními bez konkrétních typů a označení strojů a výrobců (obráběcí stroje, vybavení svařovny, vybavení laminovny), hlavní příslušenství.

5.3 Rozbor a analýza vstupních dat a parametrů

V této rozborové etapě byl kladen důraz na získání vstupních dat a parametrů, které budou dále podrobeny analýze a základním rozborům. Tyto parametry budou sloužit jako vstupní data pro statické hodnocení navrhované layoutu – kapacitní výpočty.

Jedná se o tyto základní rozborů, které byly provedeny pro všechny definované systémy:

- 1) rozbor jednotlivých položek daného systému,
- 2) rozbor a seznam všech položek, které jsou vyráběné, zbylé nakupované,
- 3) rozbor výrobní technologie všech vyráběných položek,
- 4) rozbor vybavenosti výroby stroji a zařízeními,
- 5) rozbor vybavenosti speciálními přípravky, příslušenstvím a speciálním nářadím,
- 6) časové rozborů jednotlivých vyráběných položek,
- 7) postup montáže v rámci systému (jednotlivé položky, podsestavy),
- 8) časové rozborů jednotlivých montáží v rámci systému.

Na základně těchto rozborů sledujeme pro jednotlivý systém a jeho položky tyto konkrétní parametry:

- **název položky** – název položky v rámci jednotlivého určitého systému, odborný název,
- **počet položek** – počet jednotlivých položek pro výrobu jednoho kusu monopostu,
- **vyráběná/nakupovaná** – položku charakterizuje jeden z těchto dvou stavů, u nakupované položky nesledujeme ostatní parametry,
- **typ výroby** – u položky, která je vyráběná, se jedná o popis výrobní technologie,
- **výrobní zařízení** – přesný název a typ výrobního zařízení, pomocí něhož je jednotlivá položka vyráběna, musí korespondovat s výrobní technologií,
- **speciální nástroje a přípravky** – dodatečné vybavení výrobního zařízení a stroje, speciální příslušenství, které je nutné zahrnout mezi parametry.

Mezi základními rozborů byly i časové rozborů jednotlivých vyráběných položek a také rozborů montážních postupů a časových údajů montáží. Mezi hledané parametry patří:

- **čas hlavní T_h [min]** – určuje čas spotřebovaný na zpracování jednoho kusu na pracovišti (stroji),
- **čas vedlejší T_v [min]** – představuje čas upnutí, obsluhy a měření,
- **čas přípravy a zakončení T_{pz} [min]** – nastavení stroje, příprava nástrojů, úklid po zpracování dávky, atd.

Pro každý jednotlivý systém byla vytvořena tabulka, ve které jsou pro všechny položky vyplněny výše zmíněné hodnoty všech parametrů. U nakupovaných položek parametry nesledujeme. Vzhledem k počtu jednotlivých systémů a jejich rozsáhlému obsahu a počtu položek je znázorněna na ukázkou pouze tabulka pro motorový systém, ostatní tabulky jsou součástí příloh diplomové práce, jedná se přílohu č. 4. Vyplněná data jsou na stejném principu, jako tomu je u následujících tabulek.

Tabulka vzhledem k velikosti je rozdělena na dvě části, nejprve jsou zobrazeny parametry související s výrobou a technologiemi – tabulka 5-1. Jednotlivé sloupce tabulky charakterizují parametry jednotlivých atributů, které byly podrobeny vstupním rozborům.

	Jednotlivé vstupní parametry					
	Název položky	Počet dílů	Nakupovaná/ vyráběná	Typ výroby	Výrobní zařízení	Speciální nástroje, přípravky
Položky motorového systému pro výrobu	Motor YAMAHA R6	1	nakupovaná	-	-	-
	Polotovary suché olejové vany	1	vyráběná	frézování	MAS MCV 754 QUICK	-
	Závitové kostky do vany	2	vyráběná	řezání vodou	PTV Precise Jet	-
	-	2	vyráběná	frézování	MAS MCV 754 QUICK	-
	Držák trubky	1	vyráběná	řezání vodou	PTV Precise Jet	-
	Svařenec suché olejové vany	1	vyráběná	svařování	WSME 200 AC/DCPULSE	svařovací úpinky
	Čerpadlo oleje	1	nakupovaná	-	-	-
	Svařenec nádržky oleje	1	vyráběná	svařování	WSME 200 AC/DCPULSE	svařovací úpinky
	Krátká trubka nádržky	1	vyráběná	soustružení	MAS SP280 SY	-
	Dlouhá trubka nádržky	1	vyráběná	soustružení	MAS SP280 SY	-
	Mezivložka	1	vyráběná	soustružení	MAS SP280 SY	-
	Víka nádržky	2	vyráběná	řezání vodou	PTV Precise Jet	-
	Příruby nádržky	2	vyráběná	řezání vodou	PTV Precise Jet	-
	Závitová mufna varná	1	vyráběná	soustružení	MAS SP280 SY	-
	Středová trubka výtoku	1	vyráběná	soustružení	MAS SP280 SY	-
	-	1	vyráběná	frézování	MAS MCV 754 QUICK	dělicí zařízení
Hadice	1	nakupovaná	-	-	-	

Tabulka 5-1: Vstupní parametry motorového systému

Druhá část tabulky se týká časových údajů, konkrétně času hlavního, vedlejšího a času přípravy a zakončení – tabulka 5-2. Všechny časy je důležité mít ve stejných jednotkách, v tomto případě v minutách.

	Jednotlivé vstupní parametry			
	Název položky	Čas hlavní - Th [min]	Čas vedlejší - Tv [min]	Čas přípravy a zakončení - Tpz [min]
Položky motorového systému pro výrobu	Motor YAMAHA R6	-	-	-
	Polotovar suché olejové vany	52	60	47
	Závitové kostky do vany	5	6	6
	-	4	15	9
	Držák trubky	3	7	3
	Svařenec suché olejové vany	18	12	10
	Čerpadlo oleje	-	-	-
	Svařenec nádržky oleje	20	18	7
	Krátká trubka nádržky	8	15	5
	Dlouhá trubka nádržky	12	15	12
	Mezivložka	5	12	12
	Víka nádržky	2	4	5
	Příruby nádržky	4	6	5
	Závitová mufna varná	2	12	13
	Středová trubka výtoku	4	16	18
	-	2	48	18
	Hadice	-	-	-

Tabulka 5-2: Vstupní parametry motorového systému - časové údaje

Jednotlivé hodnoty parametrů slouží jako vstupní data pro kapacitní výpočty, které budou popsány v další etapě. Již z této analýzy jsme schopni popsat jednotlivá hlavní výrobní zařízení dle výrobních technologií. Mezi hlavní výrobní technologie, které budou součástí propočtu kapacit, patří:

- svařování a související doplňkové výrobní a pomocné technologie,
- laminování a související doplňkové výrobní a pomocné technologie,
- obrábění včetně dělení materiálů.

Lakování je vedlejší výrobní proces, který následuje u některých položek po výrobním procesu svařování a obrábění.

Na základě těchto výrobních technologií jsme schopni již určit ze vstupních dat hlavní stroje a zařízení, které budou uvažovány v návrhu prostorového uspořádání. Jedná se o tyto stroje a zařízení:

- 1) CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP280 SY,
- 2) vertikální obráběcí CNC centrum KOVOSVIT MCV 754 QUICK,
- 3) laserový stroj TRULASER 3030,
- 4) CNC stroj pro řezání vodním paprskem PTV Precise Jet,
- 5) ohraňovací CNC lis TRUBEND SERIES 3000,
- 6) pásová pila PEGAS 240X280 A-CNC-R,
- 7) rovinná bruska ACC-42SA IQ,
- 8) svařovací invertor WSME 200 AC/DCPULSE,
- 9) MIG/MAG svářečka COMPACT 428 WN,
- 10) Autoclave MK A-150,
- 11) vakuová pumpa VP4300.

Vedle těchto důležitých strojů a zařízení korespondující s výrobními technologiemi je nutné také uvažovat určité příslušenství a vybavení, jedná se o:

- 1) dílenské vybavení,
- 2) vybavení laminovny (pracovní stoly, řezací nástroj na tkaniny, stojany, odsávací zařízení),
- 3) vybavení svařovny (svařovací stolice, přípravky, nářadí a nástroje, odsávací zařízení, atd.).
- 4) vybavení lakovny (lakovací robot, odsávání, kompresor, stojany, odsávání lakovny).

Přesné a konkrétní vybavení bude popsáno v dalších kapitolách, hlavní výrobní zařízení budou předmětem kapacitních výpočtů a zjistíme jejich přesné teoretické a skutečné množství.

5.4 Statické hodnocení výrobního systému – kapacitní výpočty

Po analýze vstupních dat a parametrů metodický návrh směřuje ke statickému návrhu výrobního systému, tedy kapacitním propočtům. Na jejich základě bude možné určit teoretickou potřebu:

- výrobních strojů a zařízení, kde klíčové stroje dle výrobních technologií již známe,
- manipulačních prostředků,
- výrobních a pomocných dělníků,
- THP pracovníků a administrativních pracovníků,
- provozních ploch výrobního systému skládající se z ploch výrobních a pomocných.

Kapacitní výpočty jsou rozděleny do třech hlavních skupin. První skupinou budou výpočty týkající se efektivních časových fondů pracovníků, pracovišť, jednotlivých strojů a časové ohodnocení výroby. Tyto hodnoty nám slouží, jako vstupní data pro navazující fázi kapacitních propočtů pracovníků a pracovišť, počtu strojů. Nakonec jsou vypočteny kapacitní propočty prostorů, tj. jednotlivých ploch pracovišť, v tomto návrhu se jedná o plochy provozní a pomocné. Každé skupině kapacitních propočtů se věnuje samostatná podkapitola.

Ještě před samotnými výpočty je důležité zmínit, že kapacitní propočty vzhledem k velkému počtu vzorců jsou provedeny jen pro vybrané položky a výrobní zařízení, na kterých bude ukázán a vysvětlen postup výpočtů. Vždy po uvedení teoretického vzorce bude následovat ukázkový výpočet s parametry vybrané položky.

5.4.1 Roční časové fondy

V rámci časových propočtů začínáme s určením časových fondů, které se týkají dělníků, strojů a pracovišť. K určení potřebného množství těchto třech skupin potřebujeme znát jejich časové možnosti (disponibilní kapacitu). Časové fondy nám určují kolik minut (hodin) je k dispozici pracoviště nebo pracovník v určitém časovém období (rok, měsíc). Nejčastěji jsou používány roční časové fondy, protože sledované období u většiny projektů je minimálně jeden rok.

Při určení ročních časových fondů vycházíme z počtu kalendářních dnů v roce (365 dní), od kterých odečteme soboty (52 dní), neděle (52 dní) a státní svátky. Tuto hodnotu nazýváme počet pracovních dnů v roce. Obvykle se pohybuje okolo 250 dní. Pokud tuto hodnotu vynásobíme délkou pracovní doby – 7,5 hodiny, dostaneme nominální roční časový fond,

který neuvažuje dovolenou, nemocnost, poruchy strojů, atd., se kterými uvažují následující roční časové fondy. [17]

Roční časový fond dělníka

U ročního časového fondu dělníka musíme od všech pracovních dnů odečíst výši dovolené, předpokládanou nemocnost, hodiny strávené u lékaře, atd.

$$E_d = (d_p - d_d - d_a) \times H \quad (5.1)$$

E_d – efektivní časový fond dělníka,

d_p – počet pracovních dnů v roce,

d_d – průměrná výše dovolené,

d_a – průměrná neplánovaná absence ve dnech,

H – počet pracovních hodin při n-směnném provozu,

— jednosměnný provoz = 7,5 hodin,

— dvousměnný provoz = 15 hodin,

— třisměnný provoz = 22,5 hodin.

Následně je proveden výpočet časového fondu dělníka již s konkrétními vstupními hodnotami, které vidíme v tabulce 5-3.

Časový fond dělníka		
d_p	počet pracovních dní v roce	250
d_d	průměrná výše dovolené ve dnech	16
d_a	průměrná neplánovaná absence ve dnech	1
H	počet pracovních hodin při 1 směnném provozu [hod]	7,5
E_d	časový fond dělníka [min]	104850

Tabulka 5-3: Výpočet časového fondu dělníka

$$E_d = (d_p - d_d - d_a) \times H$$

$$E_d = (250 - 16 - 1) \times 7,5 = 104850 \text{ [min]}$$

Roční časový fond stroje

U ročního časového fondu stroje musíme od všech pracovních dnů odečíst celozávodní dovolenou, plánované i neplánované opravy.

$$E_{fs} = (d_p - d_{cd} - d_{op} - d_{np}) \times H \quad (5.2)$$

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.

Vzhledem k velkému počtu výrobních zařízení je uveden vzorový výpočet časového fondu stroje pro CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP280 SY. V tabulce 5-4 vidíme jednotlivé vstupní hodnoty pro výpočet. Pro stroj uvažujeme 3 - směnný provoz a počet hodin bude tedy 22,5. Celozávodní dovolenou neuvažujeme.

Časový fond stroje		
Stroj	CNC soustruh MAS SP280 SY	Hodnoty
d_p	počet pracovních dní v roce	250
d_{op}	počet dní v roce pro plánované opravy	1
d_n	počet dní v roce pro neplánované opravy	0
H	počet pracovních hodin při 3 - směnném provozu	22,5
E_{fs}	časový fond stroje [min]	336150

Tabulka 5-4: Časový fond stroje

$$E_{fs} = (d_p - d_{op} - d_{np}) \times H$$

$$E_{fs} = (250 - 1 - 0) \times 22,5 = 336150 \text{ [min]}$$

Roční časový fond pracoviště

U ročního časového fondu pracoviště musíme od všech pracovních dnů odečíst celozávodní dovolenou.

$$E_{fp} = (d_p - d_{cd}) \times H \quad (5.3)$$

E_{fp} – efektivní časový fond pracoviště,

d_p – počet pracovních dnů v roce,

d_{cd} – průměrná výše celozávodní dovolené,

H – počet pracovních hodin při n-směnném provozu,

- jednosměnný provoz = 7,5 hodin,
- dvousměnný provoz = 15 hodin,
- třisměnný provoz = 22,5 hodin.

Následně bude opět ukázán výpočet se vstupními hodnotami.

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

Pracovní doba je zde 7,5 hodin, protože pracoviště může pracovat jen v součinnosti s pracovníkem. V našem případě neuvažujeme s celozávodní dovolenou.

5.4.2 Časové ohodnocení

Dále je také nutné časově ohodnotit náročnost výroby – tj. kolik času je potřeba na vyrobení určitého počtu výrobků. Při určení spotřeby času vycházíme z normování práce. Každý druh nutného času se skládá ze tří složek:

- jednotkový čas,

- dávkový čas,
- směnový čas.

Jednotkové, dávkové, směnové časy označují nutné časy, jejichž spotřeba je úměrná buď počtu jednotek zpracovaného množství (ks, kg), dávek (sérií), nebo počtu odpracovaných směn, bez ohledu na počet kusů nebo dávek během směny zpracovaných. Způsobů určení spotřeby času existuje několik. Jednou z možností je určení všech složek spotřeby času jednotlivě. Další možnost je určit přesně jen čas na zpracování jednoho kusu a ostatní složky spotřeby času určit na základě koeficientu.

Čas hlavní

Představuje výchozí složku spotřeby času – určuje čas spotřebovaný na zpracování jednoho kusu na pracovišti (stroji).

$$t_h = t_{hs} + t_{hsr} + t_{hpn} \quad (5.4)$$

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.

Čas vedlejší

Představuje čas upnutí, obsluhy a měření. Značíme ho t_v .

Čas přípravy a zakončení:

Představuje čas přípravy a zakončení na jednu dávku – např. nastavení stoje, příprava nástrojů, úklid po zpracování dávky, atd. Volíme ho pro každý typ stroje samostatně. Značí se t_{pz} .

Popsané vzorce, které budou následně zmíněny, byly aplikovány na všechny položky jednotlivých systémů. Vzhledem k velkému počtu položek a jednotlivých systémů monopostu je uveden vzorový výpočet pro položku „víka nádržky“ patřící do motorového systému. Je popsán postup výpočtu, pod uvedeným vzorcem je aplikován výpočet na vybranou položku.

Hodnoty parametrů, které pro položku víka nádržky známe, a zajímají nás pro časové kapacitní propočty, jsou vypsány v tabulkách 5-1 a 5-2. Jedná se o parametry:

- počet položek n ,
- čas hlavní t_h ,
- čas vedlejší t_v ,
- čas přípravy a zakončení t_{pz} .

Čas operační

Představuje součet času hlavního a vedlejšího.

$$t_o = t_h + t_v \quad (5.5)$$

$$t_o = t_h + t_v = 2 + 4 = 6 \text{ [min]}$$

Čas kusový

Představuje čas na výrobu jednoho kusu výrobku na pracovišti.

$$t_k = k \times t_o \quad (5.6)$$

$$t_k = k \times t_o = 1,15 + 6 = 7 \text{ [min]}$$

k – koeficient překračování norem (volíme mezi 1,1 až 1,3).

Počet kusů

$$Q = n \times 1000 = 2 \times 1000 = 2000 \text{ [kusů]} \quad (5.7)$$

Q – počet kusů za sledované období.

Velikost výrobní dávky

Výrobní dávka je ucelený počet kusů součástí zadávaný společně do výroby. Po vyrobení posledního kusu dávky přijde na stroj jiný výrobek.

$$d_v = \frac{t_{pz}}{a \times t_k} \quad (5.8)$$

a – koeficient přípustných ztrát pro sériovou výrobu (volíme a = 0,05),

$$d_v = \frac{t_{pz}}{a \times t_k} = \frac{5}{0,05 \times 7} = 14,28 \cong 15 \text{ [kusů]}$$

Počet výrobních dávek

$$D = \frac{Q}{d_v} \quad (5.9)$$

D – počet dávek,

$$D = \frac{Q}{d_v} = \frac{2000}{15} = 133,33 \cong 134$$

Při výpočtu je vhodné velikost výrobní dávky d_v a počet dávek D vhodně zaokrouhlovat na celá čísla.

Čas celkový

Představuje celkový čas, který je třeba na vyrobení objemu výroby za určité časové období (např. rok).

$$T_c = D \times (t_{pz} + d_v \times t_k) \quad (5.10)$$

d_v – velikost výrobní dávky.

$$T_c = 134 \times (5 + 15 \times 7) = 14\,539 \text{ [min]}$$

Vzhledem k velkému počtu podsystémů a jejich položek je znázorněna jen tabulka 5-5 pro motorový systém s výslednými hodnotami časových údajů jednotlivých položek. Vysvětlený postup pro výpočet časových údajů byl vysvětlen krok po kroku a byl aplikován na všechny položky jednotlivého systému.

Ostatní tabulky pro zbylé podsystémy budou součástí příloh.

	Časové ohodnocení					
	To [min]	Tk [min]	Q [ks]	dv [ks]	D [ks]	Tc [min]
	-	-	-	-	-	-
	112	128,80	1 000	8	125	134 675
	11	12,65	2 000	10	200	26 500
	19	21,85	2 000	9	223	45 860,0
	10	11,50	1 000	6	167	12 024
	30	34,50	1 000	6	167	36 239
	-	-	-	-	-	-
	38	43,70	1 000	4	250	45 450
	23	26,45	1 000	4	250	27 700
	27	31,05	1 000	8	125	32 550
	17	19,55	1 000	13	77	20 493,6
	6	6,90	2 000	15	134	14 539
	10	11,50	2 000	9	223	24 195,5
	14	16,10	1 000	17	59	16 915,3
	20	23,00	1 000	16	63	24 318
	50	57,50	1 000	7	143	60 131,5
	-	-	-	-	-	-

Tabulka 5-5: Časové údaje položek motorového systému

5.4.3 Kapacitní výpočty strojů a pracovníků

Po časových údajích se dostáváme ke kapacitním propočtům týkajících se strojů a také zaměstnanců. Existuje více druhů výpočtů, možný je výskyt jiného označení jednotlivých parametrů, nicméně metodika zůstává stejná. Pro provedení výpočtů získáme počty:

- strojů a zařízení,
- výrobních a pomocných dělníků,
- inženýrsko-technických a administrativních pracovníků.

Počet strojů

Počet strojů je určen na základě poměru mezi celkovým časem – T_c , který je potřeba pro výrobu určitého počtu výrobků, a jeho efektivním časovým fondem – E_{fs} . [17]

$$P_s = \frac{T_c}{E_{fs}} \quad (5.11)$$

T_c – čas celkový [min],

E_{fs} – efektivní časový fond stroje, vzorec pro tuto hodnotu byl zmíněný v předešlé podkapitole.

Opět jako v předchozích kapitolách pro kapacitní výpočty je vzhledem k velkému počtu výrobních zařízení uveden pouze vzorový postup výpočtu počtu strojů pro CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP280 SY. Pro tento stroj jsme již počítali časový fond stroje.

Počet strojů		
Stroj	CNC soustruh MAS SP280 SY	Hodnoty
T_c	celkový čas pro daný typ stroje [min]	3012833,115
E_{fs}	časový fond stroje [min]	336150
P_s	počet strojů [ks]	8,96

Tabulka 5-6: Hodnoty parametrů pro určení počtu strojů

$$P_s = \frac{T_c}{E_{fs}} = \frac{3012833,115}{336150} = 8,96 \cong 9$$

- čas celkový – T_c pro tento stroj známe již z časových údajů, pro tento čas byl proveden součet v rámci všech systémů, kde se tento stroj vyskytuje,
- u časového fondu stroje uvažujeme s třisměnným provozem, tedy 22,5 hodiny,
- hodnoty je důležité mít ve stejných jednotkách, v tomto případě v minutách,
- výsledek výpočtu pro počet strojů zaokrouhlíme na vyšší celé číslo, v tomto případě se jedná o 9 strojů CNC soustruh MAS SP280 SY.

Stejným postupem pokračujeme pro ostatní stroje a výrobní zařízení.

Tabulky 5-7 a 5-8 znázorňují souhrnnou matici, kde jednotlivé řádky představují podsystém a jednotlivé sloupce výrobní stroje a zařízení. Je zde vidět, jakou teoretickou vypočtenou potřebu stroje či zařízení potřebuje jednotlivý systém.

Výrobní stroje a zařízení - počet P_s						
Jednotlivé systémy	MAS MCV 754 QUICK	MAS SP280 SY	TRULASER 3030	PTV Precise Jet	TRUBEND SERIES 3030	
	Motorový systém	0,72	0,36	0	0,23	0
	Airbox systém	0	0	0	0,03	0,01
	Systém kola + brzdový systém	16,44	7,67	0,36	0,46	0
	Chladicí systém	0	0,25	0	0,25	0
	Palivový systém	0,07	0,13	0	0	0
	Výfukový systém	0	0,24	0,48	0,00	1,02
	Kapotáž, bočnice	0	0	0	1,76	0
	Rám formule	0	0	1,62	0	0,78
	Elektronický systém	0	0	0	0	0
	Pohonný systém	0,27	0	0,02	0,27	0,02
	Systém sedačky	0	0	0	0	0
	Pedálový systém	0,21	0,30	0	0,62	0,07
	Systém řízení a řízení	0	0	0,01	0,23	0,08
	Ostatní drobné a speciální díly	0	0	0	0	0
	Celkový součet	17,71	8,96	2,49	3,84	1,98

Tabulka 5-7: Matice systém - výrobní zařízení, část 1

Výrobní stroje a zařízení - počet Ps					
Jednotlivé systémy	WSME 200 AC/DCPULSE	MIG/MAG 428 WN	Autoclave MK A-150	Vacuum Pump - 12FM	
	Motorový systém	0,24	0	0	0
	Airbox systém	0	0	1,42	0,33
	Systém kola + brzdny systém	0,70	0	0	0
	Chladicí systém	0,08	0	0	0
	Palivový systém	0,03	0	1,62	0,25
	Výfukový systém	0,57	0	0	0
	Kapotáž, bočnice	0	0	0,54	1,61
	Rám formule	0	3,90	0	0
	Elektronický systém	0	0	0	0
	Pohonný systém	0	0	0	0
	Systém sedačky	0	0	0,30	0,29
	Pedálový systém	0,30	0	0	0
	Systém řazení a řízení	0,04	0	3,72	0,67
	Ostatní drobné a speciální díly	0	0	0	0
	Celkový součet	1,95	3,90	7,58	3,14

Tabulka 5-8: Matice systém - výrobní zařízení, část 2

V tabulce 5-9 jsou souhrnné počty jednotlivých strojů pro všechny systémy. Jedná se o teoretickou potřebu a zvolenou skutečnou potřebu stoje.

Počty výrobních zařízení a strojů	
Stroj	Počet strojů [ks]
MAS MCV 745 QUICK	17,71 ≈ 18
MAS SP280 SY	8,96 ≈ 9
TRULASER 3030	2,39 ≈ 3
PTV Precise Jet	3,84 ≈ 4
TRUBEND series 3000	1,98 ≈ 2
WSME 200AC/DCPULSE	1,95 ≈ 2
MIG/MAG svářečka 428 WN	3,90 ≈ 4
Autoclave MK A-150	7,58 ≈ 8
Vacuum Pump - 12FM	3,14 ≈ 4

Tabulka 5-9: Skutečný počet strojů

Můžeme se setkat i s tímto vzorcem pro teoretický počet strojů:

$$P_{th} = \frac{t_k \times N}{60 \times E_s \times s_s \times k_{pns}} \quad (5.12)$$

P_{th} – teoretický počet strojů [ks],

t_k – kusový čas na danou operaci [Nmin],

E_s – efektivní časový fond stroje [min],

N – počet vyráběných kusů [ks],

s_s – směnnost strojních pracovišť,

k_{pn} – koeficient překračování norem.

Vypočtené teoretické množství strojů nebývá samozřejmě celé číslo. Při volbě skutečného množství strojů zaokrouhlujeme obvykle na vyšší celé číslo. Tím však snižujeme využití stroje. Mnohdy můžeme snížit toto využití jen nepatrně, ale při vyšší odchylce snižujeme jejich využití podstatně. V těchto případech se snažíme pomocným zařízením snížit potřebný kusový čas obrábění, nebo přesunout část práce na jiný stroj. Pro zjištění možných přesunů, jiných opatření a hodnocení nám slouží rozbor využití operace, skupin strojů a linky nebo dílny. [6]

$$\eta_{op} = \frac{P_{th}}{P_{sk}} \times 100 [100\%] \quad (5.13)$$

η_{op} – využití strojů dané operace [%],

P_{th} – teoretický vypočtený počet strojů [ks],

P_{sk} - skutečný počet strojů (zvolený) [ks].

Zaměstnanci

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

Počet výrobních dělníků

Počet výrobních dělníků je určen na základě poměru mezi celkovým časem – T_c , který je potřeba pro výrobu určitého počtu výrobků, a jejich efektivním časovým fondem – E_d . Za výrobní dělníky považujeme pracovníky, kteří se přímo podílejí na výrobě produktu (na technologických operacích). U výpočtu výrobních dělníků rozlišujeme, zda je v podniku jednosměnný nebo vícesměnný provoz. [17]

$$D_v = \frac{T_c}{E_d} \quad (5.14)$$

T_c – čas celkový [min],

E_d – efektivní časový fond pracovníka. Byl počítán v předešlé kapitole.

Ukázka výpočtu například pro stroj CNC soustruh MAS SP280 SY.

$$D_v = \frac{T_c}{E_d} = \frac{3012833,12}{104850} = 28,7 \cong 29$$

Takto počítáme počet výrobních dělníků pro každý stroj a zařízení a vychází nám teoretická potřeba, po zaokrouhlení na celé vyšší číslo dostáváme skutečný počet dělníků výrobních pro daný stroj. V tabulce 5-10 vidíme přehled, kolik je počet výrobních dělníků pro dané stroje systémů.

Celkový počet výrobních dělníků získáme se součtu všech výsledků skutečné potřeby pro jednotlivá výrobní zařízení.

$$D_v = 159$$

Kapacitní propočty zdrojů - lidé				
Stroj	Tc [min]	Efs [min]	Dv	Dv - skutečný
MAS MCV 745 QUICK	5928275,33	334800	56,5	57
MAS SP280 SY	3012833,115	336150	28,7	29
TRULASER 3030	839602	337500	8,0	8
PTV Precise Jet	1286415,8	334800	12,3	13
TRUBEND series 3000	655976,7125	332100	6,3	7
WSME 200AC/DCPULSE	659747,8325	337500	6,3	7
MIG/MAG svářečka 428 W	1317726	337500	12,6	13
Autoclave MK A-150	2539199,8	334800	24,2	25
Vacuum Pump - 12FM	-	-	-	-
Dílenské nářadí	-	-	-	-
Celkem pracovníci	-	-	154,89	159

Tabulka 5-10: Kapacitní propočty pracovníků

Pomocní dělníci

Počet pomocných dělníků je vypočítán na základě poměrového čísla a počtu výrobních dělníků - D_v . Do pomocných dělníků řadíme veškeré pracovníky zajišťující chod výrobního procesu - např. seřizovač strojů, skladník, řidič vysokozdvizného vozíku, atd. [17]

$$D_p = (0,3 - 0,4) \times D_v \quad (5.15)$$

$$D_p = 0,3 \times 159 = 47,7 \cong 48$$

Celkový počet dělníků

Představuje sumu výrobních a pomocných dělníků.

$$D_c = D_v + D_p \quad (5.16)$$

$$D_{celk} = 159 + 48 = 207$$

Celkový počet úředníků

Počet technickohospodářských a administrativních pracovníků je určen na základě poměrových čísel a celkového počtu dělníků. Do této kategorie patří všichni ostatní zaměstnanci podniku.

$$D_u = THP + A \quad (5.17)$$

Počet THP

$$THP = (0,09 - 0,16) \times D_c \quad (5.18)$$

$$THP = 0,15 \times 207 = 31,1 \cong 32$$

Počet administrativních pracovníků

$$A = (0,05 - 0,09) \times D_c \quad (5.19)$$

$$A = 0,09 \times 207 = 18,63 \cong 19$$

K celkovému počtu pracovníků se podle velikosti závodu připočítávají pracovníci středního a vysokého managementu.

Celkový počet úředníků

Skládá se z počtu technickohospodářských a administrativních pracovníků.

$$D_u = THP + A = 32 + 19 = 51$$

5.4.4 Montáž podsystémů

Vedle provedených rozborů vstupních dat a následujících kapacitních výpočtů pro výrobní části nesmíme opomenout také rozborů týkající se montáží. V návrhu layoutu se jedná o montáž jednotlivých podsystémů a montáž kompletního monopostu. Návrh a podoba montáže obou částí bude vysvětlena v dalších kapitolách, zde budou ukázány jednotlivé vstupní parametry, které byly podrobeny rozborům.

Pro jednotlivé podsystémy monopostu a jejich položky byly klíčové tyto parametry:

- čas montáže jednotlivých položek,
- postup montáže jednotlivých položek,
- podskupiny montáže v rámci podsystému,
- celkový čas montáže podsystému pro kompletaci jednoho monopostu.

Vzhledem k velkému objemu dat, jako tomu bylo podobně již v předchozích kapitolách pro uvedení vstupních parametrů, je ukázána tabulka 5-11 týkající se pohonného systému, na které jsou vidět jednotlivé parametry, ostatní tabulky podsystémů jsou součástí příloh. V rámci podsystému jsou uvedeny v posloupnosti montáže a příslušné časy pouze pro podskupiny (v tabulce je vidíme ve sloupci díly montované v následujícím pořadí), pro menší položky uvažujeme časy, které jsou zahrnuty do montáže vyšší podskupiny, nicméně na postupu montáže do podskupin nezáleží, proto nejsou tyto drobné položky uvedeny v tabulkách.

Pohonný systém	Popis montáže	Čas montáže položek [min]	Celkový čas montáže systému [min]
	Díly montované v následujícím pořadí		
	Diferenciál	9	114
	Tripod	30	
	Domek diferenciálu	12	
	Řetězové kolo	6	
	Řetěz	12	
	Kryt řetězu	3	
	Poloosy	31,5	
	Manžety	10,5	

Tabulka 5-11: Montáž pohonného systému

Součet jednotlivých časů pro položky či podskupiny poté tvoří celkový čas montáže. V tomto případě je celkový čas pro montáž kompletního celku u pohonného systému připraveného pro finální montáž monopostu 114 minut. Na stejném principu byly zpracovány takto všechny systémy.

5.4.5 Prostorové propočty

Celková plocha podniku se skládá z více druhů ploch s různým zaměřením. Ve čtvrté kapitole bylo provedeno schematické rozdělení jednotlivých ploch podniku. Plochy dělíme především na výrobní, pomocné, správní a sociální. Do pomocných ploch řadíme např. dopravní plochy, výdejnu náradí, atd, do správních patří kanceláře, do sociálních ploch patří sprchy, šatny, atd. [17]

Výrobní strojní plocha

Pro stroj MAS MCV 745 QUICK je proveden vzorový výpočet dle metodického postupu.

Tato plocha je vztažena k výrobnímu stroji.

$$S_Z = d_s \times š_s \text{ [m}^2\text{]} \quad (5.20)$$

d_s – délka stroje [m],

$š_s$ – šířka stroje [m].

$$S_Z = 2,59 \times 2,32 = 6 \text{ [m}^2\text{]}$$

Měrná plocha

$$S_M = S_Z \times k \quad (5.21)$$

S_Z – půdorysná plocha (zastavěná) plocha stroje v m^2 ,

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

$$S_M = 6 \times 3 = 18 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výrobní plochy

Pro stanovení výrobní plochy stroje a výrobních zařízení používáme součin měrné plochy a počtu strojů ve výrobním systému dle vztahu:

$$S_V = \sum_{i=1}^m S_{Mi} \times P_{stri} \quad (5.22)$$

S_V – celková výrobní plocha v m^2 ,

S_{Mi} – měrná plocha výrobního zařízení i – tého druhu v m^2 ,

P_{stri} – počet strojů i – tého druhu.

Pro stroj MAS MCV 745 QUICK vychází výrobní plocha následovně:

$$S_V = S_M \times P_{str} = 18 \times 18 = 324 \text{ [m}^2\text{]}$$

Pomocné plochy

V některých literaturách je uveden postup pro jednotlivé složky pomocných ploch, nebo je rovnou možné vypočítat pomocnou plochu z plochy výrobní. Ukážeme si oba vzorce.

$$S_P = S_{Phn} + S_{Pú} + S_{Pskl} + S_{Pdc} + S_{Pk} \quad (5.23)$$

$$S_P = (0,4 - 0,6) \times S_V \quad (5.24)$$

Rozložení jednotlivých pomocných ploch je následující:

S_{Phn} – pomocná plocha hospodaření s nářadím (14 – 16%),

$S_{Pú}$ – pomocná plocha údržby (14 – 16%),

S_{Pskl} – pomocná plocha skladová (17 – 30%),

S_{Pdc} – pomocná plocha vnitřních dopravních cest (32 – 35%),

S_{Pk} – pomocná plocha kontroly (7 – 9%). [6]

Pro stroj MAS MCV 745 QUICK vychází pomocná plocha následovně:

$$S_P = S_V \times 0,4 = 324 \times 0,4 = 129,6 \text{ [m}^2\text{]}$$

Celková provozní plocha

$$S_{PR} = S_V + S_P [m^2] \quad (5.25)$$

$$S_{PR} = 324 \times 129,6 = 453,6 [m^2]$$

Na stejném principu, na kterém byl ukázán výpočet jednotlivých ploch pro stroj MAS MCV 754 QUICK, jsou vypočteny plochy pro ostatní stroje. V tabulce 5-12 jsou hodnoty ploch pro ostatní stroje a zařízení.

Dispoziční řešení - prostory									
Stroj	délka stroje [m]	šířka stroje [m]	Sz - výrobní strojní	k	Sm - měrná	Počet [ks]	Sv - výrobní	Sp - pomocné	Sc - celkové provozní
MAS MCV 745 QUICK	2,59	2,32	6	3	18	18	324	129,6	453,6
MAS SP280 SY	3,875	2,122	8,2	3	24,7	9	222	88,8	310,8
TRULASER 3030	7	7,6	53,2	2,5	133	3	399	159,6	558,6
PTV Precise Jet	2,52	2,3	5,8	3	17,4	4	69,6	27,8	97,4
TRUBEND series 3000	3,527	1,5	5,3	3	15,9	2	31,7	12,7	44,4
WSME 200AC/DCPULSE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MIG/MAG svářečka 428 W	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autoclave MK A-150	4,1	2,45	10	3	30,1	8	241,1	96,4	337,5
Vacuum Pump - 12FM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celkové plochy	-	-	-	-	-	-	1287,4	515	1802,3

Tabulka 5-12: Dispoziční řešení - jednotlivé plochy

Z výrobních strojů a zařízení, které byly podrobeny kapacitním výpočtům, nejsou v dispozičním řešení uvažovány hodnoty pro zařízení MIG/MAG svářečku 428 W a WSME 200AC/DC Pulse. Jedná se o vybavení svařovny. Vliv na to mají 2 faktory. Jednak zařízení mají poměrně malé rozměry a výrobní plochy by byly zanedbatelné a dalším faktorem jsou specifika projektování dispozičního řešení svařovny, kdy se projektuje celé pracoviště. Podobným případem je zařízení Vacuum Pump – 12FM, které slouží pro vakuování v prostorách laminovny a rozměry jsou zanedbatelné.

Pro všechny stroje ve výsledném součtu vyšly tyto hodnoty:

$$S_V = 1287,4 [m^2]$$

$$S_P = 515 [m^2]$$

$$S_{PR} = 1802,3 [m^2]$$

Plocha správní

Tuto plochu počítáme z administrativních pracovníků a normované plošné potřeby na jednoho pracovníka určité kategorie. Na technika počítáme 5-6 m² a na administrativního pracovníka 4,5-5 m². Takto vypočtenou plochu ještě zvětšujeme o 35-40 %, což je plocha chodeb apod. [6]

$$S_{spr} = (THP \times 5 + A \times 4,5) \times 1,35 [m^2] \quad (5.26)$$

$$S_{spr} = (32 \times 5 + 19 \times 4,5) \times 1,35 = 331,4 [m^2]$$

Montážní plochy

Podíl montážních ploch k celkové produktivní ploše ve strojírenských podnicích se pohybuje v širokém rozmezí 10 až 70%. V malosériové výrobě je rozmezí 35 až 40%. [6]

Celková plocha útvaru

Tato plocha podniku se skládá z provozní, správní a sociální plochy. Sociální plochy nebudou do výsledné plochy podniku zahrnuty.

$$S_{PODNIKU} = S_{PR} + S_{SPR} + S_{SOC} [m^2] \quad (5.27)$$
$$S_{PODNIKU} = 1802,3 + 331,4 = 2133,7 [m^2]$$

Souhrnné informace

V průběhu podkapitoly 5-4 korespondující s úvodními etapami návrhu prostorového řešení bylo provedeno po seznámení s objektem řešení a analýze vstupních dat potřebných k řešení návrhu prostorového řešení několik kapacitních výpočtů, které byly rozděleny do třech hlavních skupin. Po vysvětlení metodiky a ukázky vzorců byly spočítány vždy hodnoty pro vybrané položky či stroje. Vzhledem k objemu dat jsou všechny systémy monopostu a příslušející kapacitní výpočty, zejména časové údaje, součástí přílohy č. 4.

Ze vstupních analýz a rozborů víme, že se v rámci navrhovaného layoutu budou vyskytovat konkrétní výrobní technologie jako svařování, laminování, obrábění a dělení materiálu. My jsme na základě znalosti výrobních technologií a příslušejících strojů a zařízení určili pro tyto výrobní procesy potřebné kapacity:

- časové údaje pro jednotlivé položky podsystémů,
- kapacitní potřeby strojů a zaměstnanců,
- provozní plochy podniku.
- vedlejší proces lakování nebyl podroben kapacitním výpočtům.

Vedle výrobních částí projektovaného layoutu také řešíme části týkající se montáží. Montáž zaujímá v návrhu layoutu důležitou roli a je třeba ji rozdělit na dvě části. První částí je montáž jednotlivých podsystémů tvořící kompletní monopost. Jednotlivé systémy složené z položek vyráběných a nakupovaných jsou kompletovány na samostatných pracovištích a složený kompletní díl systému putuje k finální montáži. Právě ta tvoří druhou část, na které jsou jednotlivé systémy montovány na monopost v určitém pořadí a v určitém čase. Konkrétní údaje týkající se obou částí montáží budou součástí další kapitoly.

6 Tvorba 3D prostorového řešení layoutu

Tato kapitola se již váže k návrhu prostorového řešení výrobního systému. Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách, postup tvorby prostorového uspořádání výrobní dispozice musí být systematický a měl by procházet jednotlivými vývojovými etapami, metodika zpracování je velmi důležitá. Byly již provedeny rozборы vstupních dat a jejich veškeré kapacitní výpočty, kde jsme určili základní výrobní technologie a pracoviště projektovaného systému, počty strojů a výrobních zařízení a jejich minimální prostorovou náročnost. To byly výchozí kroky pro samotný návrh layoutu. Ovšem před samotnou tvorbou 3D prostorového uspořádání je ještě nutné zpracovat jednotlivé koncepte variant řešení.

Právě těmto konceptům návrhu layoutu se budeme věnovat v první podkapitole, ty budou jednotlivě popsány včetně zmínění hlavních výhod a nevýhod a následně budou podrobeny rozhodovací analýze. Na základě výsledků této analýzy bude vybrána nejvhodnější koncepte varianty, která bude součástí detailního řešení prostorového uspořádání.

V rámci layoutu výrobní a montážní haly se budou vyskytovat také určité výrobní technologie, pro které existují určité zásady, pravidla a specifické vlastnosti, které by se měly dodržovat. Vedle toho musíme aplikovat do návrhu též obecná pravidla a normy, týkající se kompletního layoutu. Poté se již zaměříme na tvorbu 3D prostorového řešení v konkrétním softwaru, kde prvotními kroky bude popis modelů strojů a zařízení související s výrobními technologiemi, následně se kapitola bude věnovat jednotlivým částem layoutu. Řešení budou také materiálové toky a budou podrobeny různým analýzám.

6.1 Základní koncepty návrhu layoutu

Kompletní návrh layoutu je z hlediska pracnosti poměrně obsáhlý, musí respektovat mnoho prvků, které jsou vzájemně systematicky propojeny. Existuje určitá metodika a vzorové řešení, dle kterého tento návrh je zpracováván, nicméně snad žádný projekt týkající se návrhu layoutu není zcela opakovatelný. V této etapě se uplatňuje pohled řešitele a ten můžeme být v porovnání značně odlišný, přičemž ale musí respektovat stanovený cíl. Snahou této části je tedy vysvětlit, ačkoliv je stanovený konkrétní cíl pro návrh, layout může mít několik podob, přičemž splňuje všechny zásady a omezující kritéria.

V rámci prvotního návrhu layoutu byly vytvořeny čtyři základní koncepty prostorového uspořádání. Jedná se o základní koncepty vycházející z „filozofických“ návrhů, které byly navrženy po kapacitních propočtech. Ve všech konceptech návrhů layoutu jsou již zakomponovány tyto klíčové části:

- jednotlivé výrobní technologie (obrábění, dělení materiálu, svařování, laminování, lakování),
- montáže jednotlivých podsystémů (celkem 14),
- finální montáž monopostu (složená z jednotlivých podsystémů).

Vedle těchto hlavních částí také návrh obsahuje:

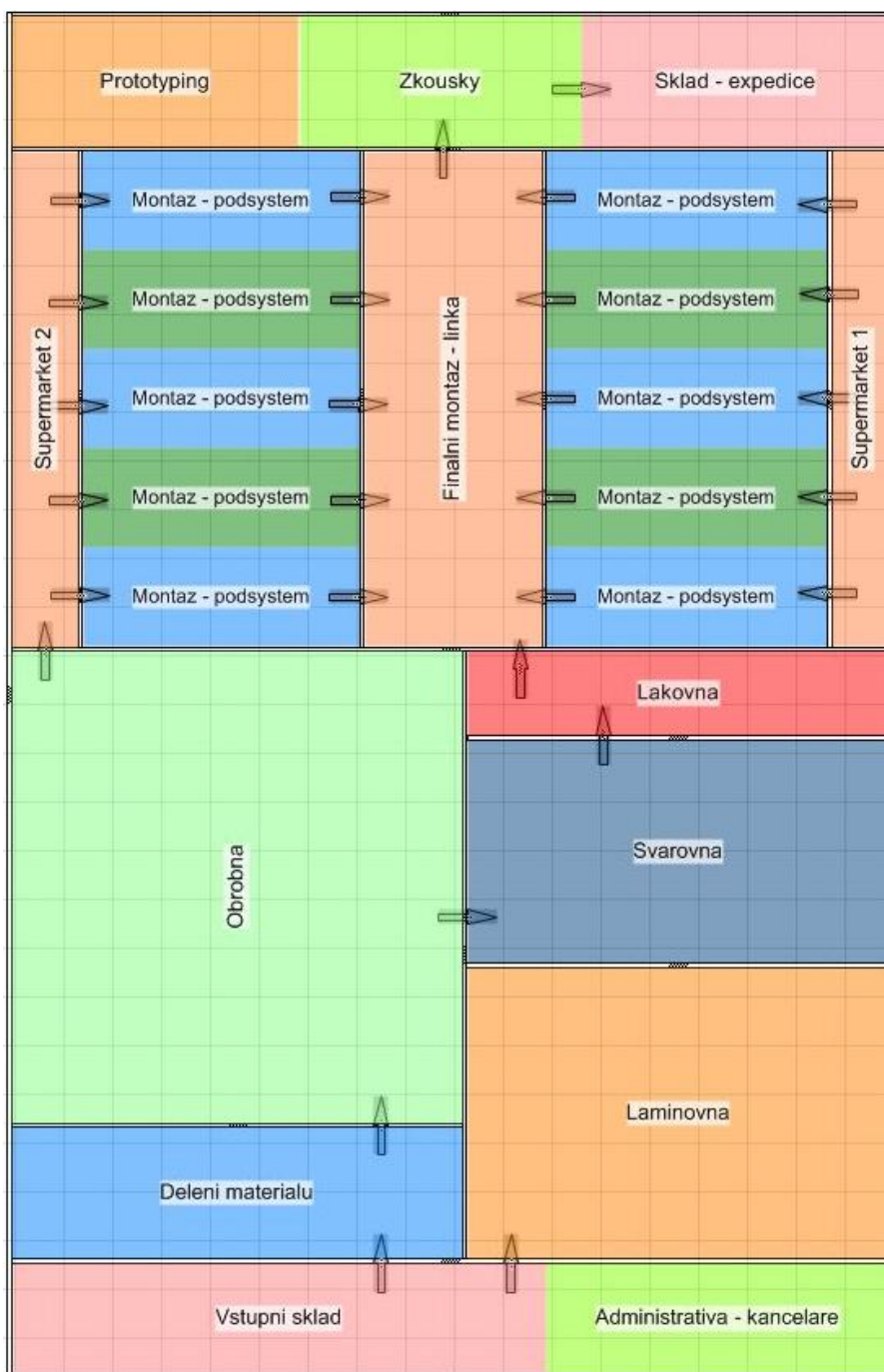
- vstupní sklad, expediční sklad,
- administrativní plochy,
- zkoušky po montáži před expedicí, prototyping.

Na základě těchto důležitých částí byly zpracovány varianty a ty budou jednotlivě představeny. Jejich cílem je zejména zřejmý princip typu návrhu na první pohled a vysvětlení základních vazeb, přičemž určitá modifikace v malém rozsahu by neměla mít zásadní vliv na

změnu uspořádání. Návrh konceptů je proveden pomocí jednotlivých ploch, které jsou pojmenovány a barevně rozlišeny od ostatních. Velikost jednotlivých ploch částí layoutu není ještě založena na konkrétních datech. Tyto základní hrubé koncepty by měly být porovnatelné pomocí určitých kritérií. Součástí návrhů konceptů jsou také stručně vyznačené materiálové toky v rámci layoutu.

6.1.1 Koncept 1 – technologické uspořádání výroby a montážní buňky

Tento koncept první varianty znázorněný na obrázku 6-1 vychází z určitého typu prostorové struktury, konkrétně z technologické struktury. Barevně jsou odlišeny jednotlivé plochy. Manipulační uličky či pomocné plochy nejsou v konceptu naznačeny, nejedná se o klíčové prostory z hlediska základního principu popisu konceptu.



Obrázek 6-1: Koncept 1 - technologické uspořádání a montážní buňky

Jak vidíme na obrázku 6-1, výrobní části pro dělení materiálu, obrobnu, svařovnu, laminovnu a vedlejší proces lakování, jsou oddělené a jsou separovány v samostatných prostorách. Před výrobními částmi se ještě nachází vstupní sklad a administrativní prostory. Přibližně druhá polovina haly se týká již montážních částí. Montáž se týká dvou oblastí, jednak montáže jednotlivých podsystémů tvořící monopost, a také montáže finální. Základní myšlenkou tohoto konceptu je montáž podsystémů v jednotlivých buňkách, které jsou uspořádány předmětně dle postupu montáže a následný vstup kompletního podsystému do finální montáže, která je ve formě pohyblivé řadové montáže. Montáže podsystémů by byly založeny na pohyblivé předmětné montáži, kde by pracovní postup v jednotlivých buňkách byl s volným taktem. Ze stran finální řadové linky budou vstupovat do kompletace jednotlivé hotové podsystémy dle postupu. Jedná se o proudovou montáž (synchronní), která je jednou z forem pohyblivé montáže, pro tuto linku je třeba zpracovat přesný časový rozbor technologie montáže a plnou synchronizaci. Po montážních částech jsou ještě navrženy prostory pro následné zkoušky monopostu a sklad pro expedici, případně prostory prototypingu.

Mezi hlavní výhody toho konceptu patří:

- lepší využitelnost strojů,
- zavedení více strojové obsluhy a lepší využití kapacit pracovníků,
- změna výrobního programu nenarušuje výrobní chod,
- kombinace obou montážních částí (podsystémy a finální linka),
- kombinací vzniklý minimální manipulační tok a minimální množství rozpracovanosti,
- rytmičnost montážních operací.

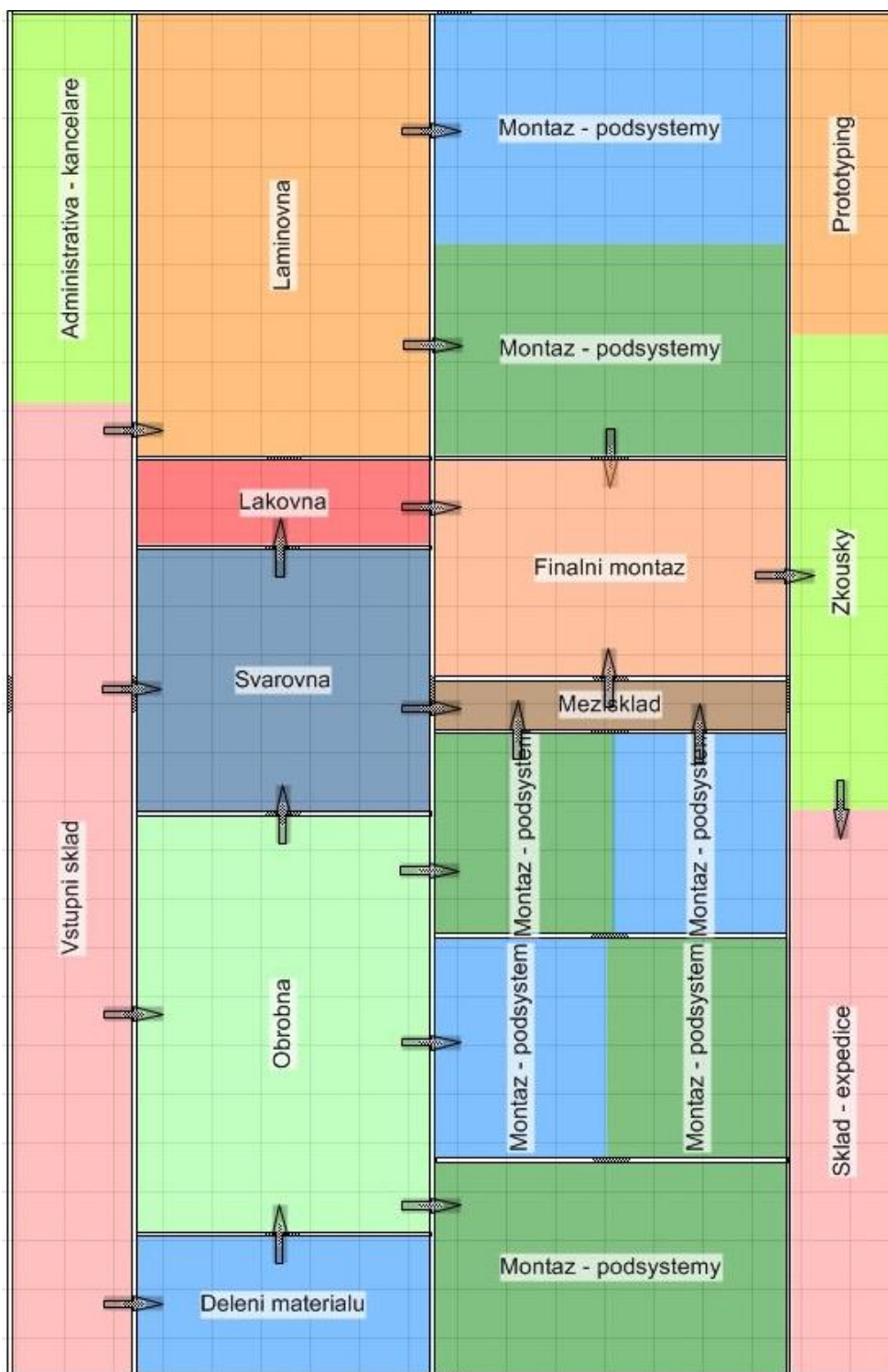
Nevýhody konceptu:

- v rámci výrobních částí komplikovanější materiálový tok,
- delší průběžná doba výroby a vyšší náklady na dopravu,
- komplikovaná montáž podsystémů,
- velmi komplikovaná synchronizace montáže podsystémů s finální linkou, nutné balancování linek obou částí, chybí časová koordinace.

6.1.2 Koncept 2 – technologické uspořádání výroby a oddělená montáž

Tento koncept je podobně jako předchozí návrh založen na technologickém uspořádání výroby, jednotlivé výrobní operace se provádějí v příslušných prostorách dané výrobní technologie, tj. v obrobne materiálu včetně jeho dělení, svařovně, laminovně a lakovně. Před těmito výrobními částmi je navržen vstupní sklad materiálů a administrativní prostory. Výrazná změna u tohoto konceptu nastává u montáže podsystémů a také finální montáže monopostu. Tyto části nejsou již řešeny linkovým uspořádáním. Montáže podsystémů jsou navrženy v samostatných prostorách v rámci výrobní a montážní haly. Snahou je v rámci návrhu tyto montáže situovat co nejbližší k výchozím výrobním operacím jednotlivých komponentů vstupujících do montáže daného podsystému. Finální montáž monopostu je stacionárního soustředěného montážního charakteru. Provádí se na jednom pracovním místě stejnou skupinou montážních pracovníků. K provedení montážních operací je určena norma času, ale časová návaznost operací není těsně ohraničena. Další otázkou je také plné vytížení jednotlivých pracovišť. Není zde řešena také rytmičnost prací na montáži.

Na obrázku 6-2 je znázorněn tento koncept s jednotlivými barevně rozlišenými plochami.



Obrázek 6-2: Koncept 2 - technologické uspořádání a oddělená montáž

Co se týká výrobních částí, tento koncept má podobné výhody jako předchozí koncept. Změny nastávají zejména u montáží. Hlavní výhody tohoto konceptu:

- lepší využitelnost strojů,
- zavedení více strojové obsluhy a lepší využití kapacit pracovníků,
- změna výrobního programu narušuje výrobní chod, změnou není ovlivněna ani montáž,

- nekomplikované řešení obou částí montáží (časové hledisko, využitelnost).

Nevýhody:

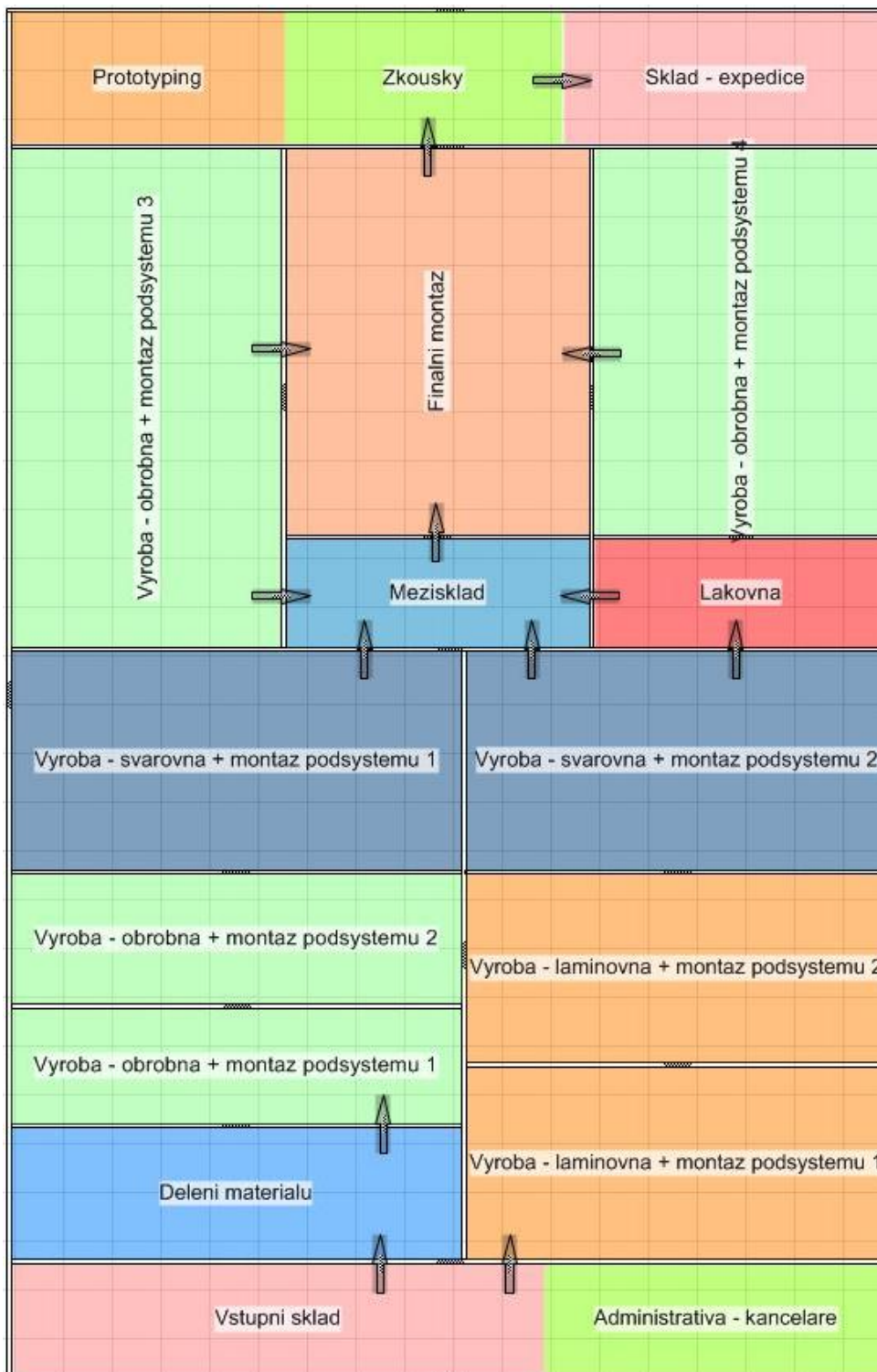
- v rámci výrobních technologií komplikovanější materiálový tok,
- delší průběžná doba výroby a vyšší náklady na dopravu,
- nároky na kvalifikaci a specializaci montážních pracovníků, zejména u finální montáže,
- poměrně větší nároky na plochu pracoviště,
- delší průběžná doba montáže, nezajištěna rytmičnost.

6.1.3 Koncept 3 – předmětné uspořádání výroby a montáží

Ve třetím konceptu návrhu prostorového uspořádání nastává největší změna u výrobních technologií. Ty jsou na rozdíl od předešlých konceptů předmětného charakteru. Je zde vzájemná kombinace výrobních a montážních částí. Předmětem, podle kterého je navržen koncept se základním principem, je tedy určitý podsystém, který se skládá z vyráběných položek. Pro podsystém je vstupním prvkem výroba na určitých strojích a výrobních zařízeních a přísluší mu jejich teoretický počet a potřebná kapacita. Pracoviště pro podsystém je tedy kombinováno z výrobních technologií a následné montáže, tyto dvě části jsou sloučené. Vzhledem ke specifickým vlastnostem některých výrobních technologií nelze u všech podsystémů samostatně slučovat výrobu a montáž. Jedná se zejména o výrobu laminováním, případně svařováním. Například stroje a zařízení obrobny mohou být rozděleny dle předmětu podsystému a bezproblémově sloučeny s příslušející montáží, v určitém případě je to možné také u svařování. Zde nevýhodou jsou rozdílná specifika, které zahrnuje výroba svařováním. Finální montáž je řešena opět jako stacionární soustředěná na jednom místě stejnou skupinou montážních pracovníků. K provedení montážních operací je určena norma času, ale časová návaznost operací není těsně ohraničena.

Samozřejmě součástí návrhu je jako u předešlých konceptů také vstupní sklad, administrativní prostory, sklad pro expedici, zkoušky po provedení finální montáže monopostu a případný prototyping.

Na obrázku 6-3 je ukázán základní princip, podle kterého by mělo být zřetelné, jakým způsobem je proveden a myšlen tento návrh.



Obrázek 6-3: Koncept 3 – předmětné uspořádání výroby a montáží

Hlavními výhodami tohoto konceptu:

- zkrácení manipulace vyráběných komponentů pro následnou montáž (sloučené pracoviště pro podsystém),
- zřetelný a jednoduchý materiálový tok, kratší mezioperační časy,
- větší přehlednost a řešení krizových situací v rámci pracoviště.

Mezi hlavní nevýhody patří:

- větší potřebné množství kapacitních potřeb strojů a zařízení, případně pracovníků,
- menší využitelnost strojů a zařízení,
- nároky na kvalifikaci montážních pracovníků, zejména u finální montáže,
- poměrně větší nároky na plochu pracoviště (větší počet strojů a zařízení),
- delší průběžná doba montáže, nezajištěna rytmičnost.

6.1.4 Koncept 4 – technologické uspořádání a pohyblivá linková montáž

U poslední konceptu je zásadním prvkem změna návrh montáží, zejména pro jednotlivé podsystémy. Výrobní technologie jsou technologické charakteru, tj. dělení materiálu, obrábění, svařování, laminování a lakování jsou uspořádány v jednotlivých prostorách. Montáž daných podsystémů je založena na předmětném uspořádání a každý systém je montován v samostatné části. Na rozdíl od prvního konceptu nevstupují montáže podsystémů přímo do finální linky monopostu. Tyto podsystémy jsou dodávány do určitých meziskladů před finální linkou a montážní pracovník si kompletní díl již odebírá v pravou chvíli. Není zde potřebná časové synchronizace montážní linky podsystému a finální linky monopostu, která je komplikovaná a byla hlavní nevýhodou u prvního konceptu. Finální linka monopostu je proudová (synchronní) a je jednou z forem pohyblivé montáže, pro tuto linku je třeba zpracovat přesný časový rozbor technologie montáže. Ze stran finální řadové linky budou vstupovat do kompletní jednotlivé hotové podsystémy dle montážního postupu. Je zde určena přesná kapacita odváděných montážních celků za určitou časovou jednotku.

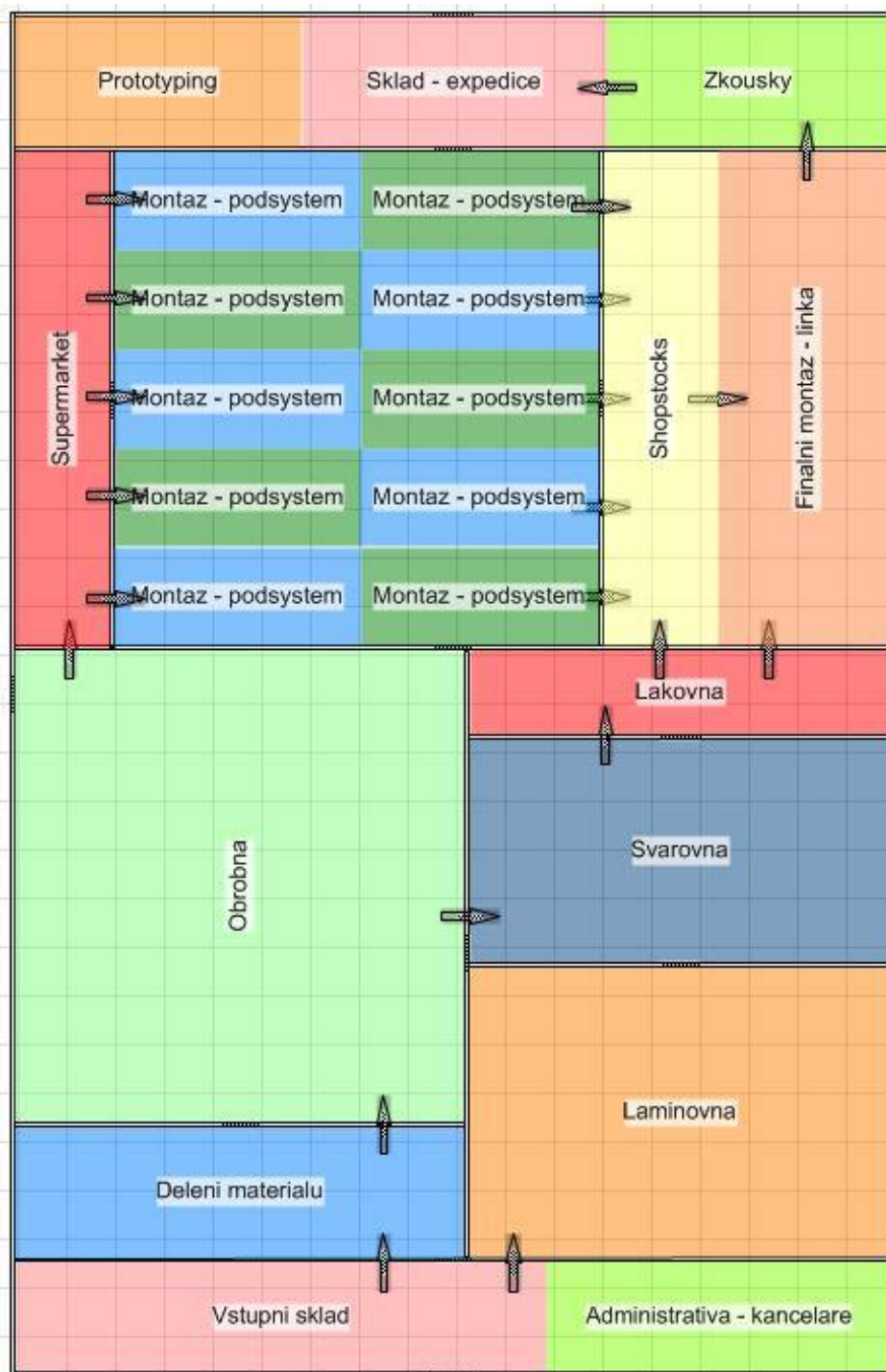
Mezi hlavní výhody tohoto konceptu podobně jako u prvního návrhu patří:

- lepší využitelnost strojů,
- zavedení více strojové obsluhy a lepší využití kapacit pracovníků,
- změna výrobního programu nenarušuje výrobní chod,
- kombinace obou montážních částí bez nutné časové synchronizace (u finální linky časový sled operací nutný),
- mezisklad mezi výrobou a montáží podsystémů a mezisklad mezi finální linkou a montáží podsystémů,
- rytmičnost montážních operací.

Nevýhody konceptu:

- v rámci výrobních technologií komplikovanější materiálový tok,
- delší průběžná doba výroby a vyšší náklady na dopravu,
- možné větší nároky na plochy u montážních částí vzhledem k návrhu meziskladů.

Na obrázku 6-4 vidíme jednoduché schéma tohoto konceptu a barevně rozlišené plochy layoutu.



Obrázek 6-4: Koncept 4 - technologické uspořádání a pohyblivá linková montáž

6.1.5 Rozhodovací analýza a výběr konceptu

Po návrhu a popsání jednotlivých základních konceptů bylo důležité jejich vzájemné porovnání pro následný výběr nejvhodnější varianty, která se stane předmětem detailního návrhu prostorového uspořádání. Pro toto rozhodnutí byla použita rozhodovací analýza, která plnila funkci pomocného prvku k dosažení nejvýhodnější varianty. Během rozhodování bylo sestaveno několik kritérií, jedná se tedy o více kritériální rozhodování. Postup této analýzy byl proveden v několika krocích, nejdříve byly sestaveny kritéria, kterých bylo celkem osm. Následovalo stanovení jejich vah, které bylo provedeno pomocí párového porovnávání. Dále

byly bodově ohodnoceny jednotlivé varianty se všemi kritérii. Po stanovení těchto kroků bylo možné dospět k výběru nejvýhodnější varianty.

Stanovení vah kritérií

Pro hodnocení jednotlivých konceptů jsou vybrána základní kritéria, podle kterých budou jednotlivé koncepty mezi sebou porovnávány. Vybraná kritéria jsou stanovena z několika parametrů, které koncepty obsahují. V rámci návrhu prostorového uspořádání výrobního systému existuje mnoho kritérií, která by mohla být podrobena hodnocení, aby výsledek byl co nejvíce objektivní. Celkem bylo navrženo osm kritérií, se kterými se dále pracovalo pro stanovení vah. Jedná se o následující kritéria.

1) Využitelnost strojů a výrobních zařízení.

V tomto kritériu se jedná o procentuální využitelnost jednotlivých strojů.

2) Manipulace a přeprava.

Tímto kritériem jsou myšleny manipulační cesty, přepravní vzdálenosti, komplikovanost manipulace apod. Délka materiálového toku ovlivňuje logistické náklady.

3) Prostorová náročnost layoutu.

Kritérium souvisí s velikostí a nároky na jednotlivé plochy. Zmenšením plochy snížíme investiční náklady.

4) Poměr teoretického a skutečného počtu strojů.

Dle kapacitních výpočtů jsme schopni určit teoretickou potřebu strojů. Uspořádáním dle konceptů se teoretický a skutečný počet mění a musíme u některých konceptuálních uspořádání volit větší počet strojů, než je teoretická potřeba. Tím zvyšujeme investiční náklady.

5) Reakce na změnu výrobního programu.

Změna výrobního programu vyvolá určitou potřebu změn, které mohou být většího rozsahu u jednotlivých konceptů.

6) Montážní komplikovanost.

Komplikovanost montáže se mění jejím druhem a uspořádáním. U stacionární montáže není uvažováno časové hledisko a balancování, u pohyblivé montáže musíme řešit časovou synchronizaci a návaznost, nicméně má jiné výhody.

7) Štíhlost podniku.

Toto obecné kritérium integruje do návrhu jednotlivé prvky štíhlého layoutu. Jedná se například o návrhy myslící na techniku tažného toku výroby a návrhy snižující některé druhy plýtvání, především z dopravy a nadměrných zásob, zbytečného pohybu apod.

8) Specializace pracovníků.

Toto kritérium se mění dle rozsahu pracovní náplně pracovníků. Například musí mít pracovník vyšší specializaci u stacionární montáže, kde součástí je montáž celého monopostu, než pracovník, který se zaměřuje jen na určitý podsystém v rámci pohyblivé linky. Podobné je to též u výrobních částí.

Stanovení vah kritérií je výchozím bodem pro objektivní vícekritériální hodnocení. Nejdůležitější kritérium by mělo mít největší váhu. Je několik způsobů stanovení vah, pro náš případ byla vybrána metoda párového porovnávání. Tato metoda porovnává vždy jen dvě

kriteria proti sobě z hlediska důležitosti, porovná se každé kritérium s každým. Důležitý je počet preferencí jednotlivých kritérií. Pro párové porovnávání byla použita tabulka, kde se porovnávají kriteria v daném řádku a kriteria v daném sloupci. Pokud je kritérium v řádku významnější, než kritérium ve sloupci zapíše do pole jedničku, v opačném případě nulu.

Dále je důležitý počet preferencí, což je číselné vyjádření výskytu konkrétního kritéria. Normovanou váhu dále získáme podílem počtu preferencí daného kritéria s počtem porovnání.

V tabulce 6-1 je zpracováno párové porovnávání všech kritérií.

	Využit. strojů a zařízení	Manipulace a přeprava	Prostorové nároky	Teoret./skuteč. počet strojů	Změna výrob. programu	Montážní komplikov.	Štíhlost layoutu	Specializace pracovníků
Využit. strojů a zařízení	1	1	1	0	1	0	1	1
Manipulace a přeprava	0	1	1	0	1	0	0	1
Prostorové nároky layoutu	0	0	1	0	1	0	0	1
Teoret./skuteč. počet strojů	1	1	1	1	1	1	1	1
Změna výrob. programu	0	0	0	0	1	0	1	0
Montážní komplikov.	1	1	1	0	1	1	1	1
Štíhlost layoutu	0	1	1	0	0	0	1	1
Specializace pracovníků	0	0	0	0	1	0	0	1

Tabulka 6-1: Párové porovnání kritérií

V tabulce 6-2 jsou již spočtené procentuální váhy z hlediska důležitosti jednotlivých kritérií. Vidíme, že jedny z nejdůležitějších kritérií jsou poměr teoretického a skutečného počtu strojů, montážní komplikovanost či využitelnost strojů a zařízení.

Kritérium	Váha
Využitelnost strojů a zařízení	16,70%
Manipulace a přeprava	11,10%
Prostorové nároky layoutu	8,30%
Teoretický/skutečný počet strojů	22,20%
Změna výrobního programu	5,60%
Montážní komplikovanost	19,40%
Štíhlost layoutu	11,10%
Specializace pracovníků	5,60%

Tabulka 6-2: Váhy jednotlivých kritérií

Hodnocení variant a výběr nejvýhodnější varianty

Po výsledku hodnot vah kritérií bylo dalším krokem stanovení hodnot kritérií pro jednotlivé varianty. Jak bylo zmíněno před popisem zvolených kritérií, v této oblasti je počet kritérií poměrně velký a v této části nemohou být všechna hodnocena s jednotlivými koncepty z hlediska rozsahu. Nicméně aby měla rozhodovací analýza více objektivní vypovídající hodnoty, je nutné stanovit určité opěrné body kritérií s jejich hodnocením vůči konceptu. Jednotlivé hodnoty charakterizují přidělené body na stupnici od 0 do 100 bodů, kde 100 bodů je maximální hodnota. Nutné je podotknout, že bodové hodnocení konceptů je založené na teoretických základech získaných během zpracování teoretické části diplomové práce a také na základě konzultací.

1) Využitelnost strojů a zařízení

U tohoto kritéria se hodnotí procentuální využitelnost. Nejvyšší hodnota ideálního využití (100%) je ohodnocena 100 body.

2) Manipulace a přeprava

Toto kritérium je založeno na manipulačních a dopravních cestách, a pokud jsou komplikované, zvyšují logistické náklady a tím také celkové výrobní náklady. Na základě teoretických podkladů dle typu prostorové struktury byly koncepty ohodnoceny, kde nejméně komplikované jsou ohodnoceny vyšší hodnotou.

3) Využití ploch layoutu

Jednotlivé koncepty představují různé využívání plochy. Dle teoretických podkladů pro prostorové struktury jsou koncepty bodovány a v tabulce 6-3 vidíme, že bodové ohodnocení je poměrně vyrovnané a u žádného z nich nedosáhneme ideálního stavu.

4) Teoretický/skutečný počet strojů

Tímto kritériem chceme říci potřebu jednotlivých strojů na základě provedených kapacitních výpočtů. Ty nám říkají určitý teoretický počet a například pro předemné uspořádání v našem návrhu layoutu je skutečná potřeba velice rozdílná od vypočtené hodnoty. Rozdělujeme stroje mezi jednotlivé podsystémy. Maximální počet bodů získává koncept, kde je minimální odchylka od skutečného a teoretického počtu.

5) Změna výrobního programu

Rychlost reakce na změnu výrobního programu. Dle teoretických podkladů bylo podle typů prostorových struktur bodově ohodnoceno 100 body řešení s nejlepší reakcí na změnu výrobního programu.

6) Montážní komplikovanost

Komplikované synchronizace montážních linek jsou ohodnoceny nízkou hodnotou, pro jejich komplikovanost.

7) Štíhlost podniku

Layout založený na jednotlivých prvcích štíhlé výroby je ohodnocen 100 body, je zde praktikován tažný princip a jsou naznačeny typy skladování a zásobování. Koncept praktikující některé prvky je ohodnocen 50 body.

8) Specializace pracovníků

S jednotlivými typy montáží se zvyšuje či snižuje specializace, kterou musí být pracovníci vybaveni. U zaměřených montáží na jeden předmět je nižší specializace a tím vyšší bodové ohodnocení, neboť specializace klesá a snižujeme nároky.

Hodnocení probíhalo bodováním kombinací kriterií a variant, maximální hodnota byla 100 bodů. Bodové ohodnocení vidíme v tabulce 6-3. Toto ohodnocení bylo dalším krokem k získání užitenosti jednotlivých variant.

	Koncept č. 1	Koncept č. 2	Koncept č. 3	Koncept č. 4
Využitelnost strojů a zařízení	80	75	30	85
Manipulace a přeprava	50	45	85	60
Prostorové nároky layoutu	60	55	75	60
Teoretický/skutečný počet strojů	75	80	20	85
Změna výrobního programu	60	85	60	75
Montážní komplikovanost	20	60	55	75
Štíhlost layoutu	75	60	50	80
Specializace pracovníků	60	20	15	70

Tabulka 6-3: Bodové ohodnocení kriterií a variant

Před vyhodnocením ještě zmíníme, o jaké se jednalo koncepty.

Koncept č. 1 – technologické uspořádání výroby a montážní buňky.

Koncept č. 2 – technologické uspořádání výroby a oddělená montáž.

Koncept č. 3 – předmětné uspořádání výroby a montáží, oddělená finální montáž.

Koncept č. 4 – technologické uspořádání a linková finální montáž.

	Koncept č. 1	Koncept č. 2	Koncept č. 3	Koncept č. 4
Využitelnost strojů a zařízení	13,33	12,5	5	14,17
Manipulace a přeprava	5,56	5	9,44	6,67
Prostorové nároky layoutu	5	4,58	6,25	5
Teoretický/skutečný počet strojů	16,67	17,78	4,44	18,89
Změna výrobního programu	3,33	4,72	3,33	4,17
Montážní komplikovanost	3,89	11,67	10,67	14,58
Štíhlost layoutu	8,33	6,67	5,56	8,89
Specializace pracovníků	3,33	1,11	0,83	3,89
Užitnost	59,44%	64,03%	45,56%	76,25%

Tabulka 6-4: Vyhodnocení variant rozhodovací analýzy

Po stanovení vah kritérií v tabulce 6-2 a po bodovém ohodnocení v tabulce 6-3 je možné provést vyhodnocení rozhodovací analýzy. V tabulce 6-4 jsou již procentuální výsledky užítkovosti jednotlivých konceptů rozhodovací analýzy.

Naší snahou je vybrat variantu, která se nejvíce přibližuje stavu ideálnímu layoutu, který by měl užítlost 100%. Vidíme, že největší užítlost 76,25 % a tedy největší přiblížení stavu ideálnímu má koncept č. 4 - technologické uspořádání a linková finální montáž.

Tento koncept layoutu bude předmětem detailního uspořádání výrobního systému.

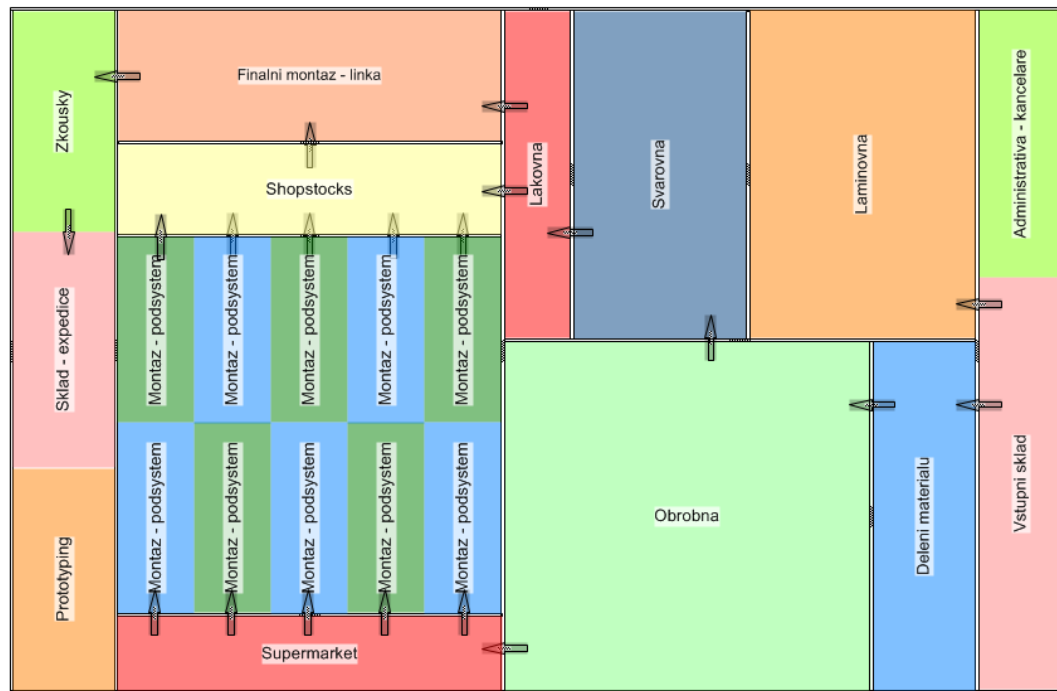
6.2 Výrobní technologie a zásady tvorby layoutu

V projektovaném layoutu se vyskytují zejména výrobní a montážní prostory, na které bereme při návrhu největší ohled. Jedná se o mechanicko – montážní souborové části. Při projektování layoutů může být jiný stanovený cíl pro různé objekty řešení, můžeme mít různé vybavení strojového parku a výrobních zařízení různého typu, atd., nicméně při tvorbě layoutů a příslušných částí (dílů) platí určitá pravidla a zásady, které se musí plošně dodržovat bez ohledu na konkrétní podobu dílny a vybavení. Jsou to obecné poznatky, které mohou být ještě doplněny určitými specifickými vlastnostmi různého charakteru dle výrobní technologie. V této podkapitole budou zmíněny hlavní zásady a pravidla při projektování výrobních technologií, které se vyskytují v navrhovaném layoutu. Z výrobních částí se jedná především o dělení materiálu, obrábění, laminování a svařování. Proces lakování nebyl podroben kapacitním výpočtům, ale do návrhu layoutu je zakomponován, přičemž se jedná o vedlejší proces výroby. Vedle výrobních částí jsou také předmětem návrhu montážní části, proto i u této oblasti budou zmíněny hlavní poznámky.

Navrhovaný layout bude tedy obsahovat tyto části:

- vstupní sklad,
- administrativní prostory (kanceláře),
- dělení materiálu,
- laminovnu,
- svařovnu,
- obrobnu,
- lakovnu,
- supermarket (regály, gitterboxy, palety, apod.),
- montážní pracoviště pro podsystémy,
- „shopstocks“,
- finální linka monopostu,
- zkoušky monopostu po montáži,
- expediční sklad,
- prostory pro prototyping.

Na obrázku 6-5 je znázorněna hrubá struktura layoutu s barevně vyznačenými vyjmenovanými částmi, z této struktury poté vycházelo detailní řešení layoutu.



Obrázek 6-5: Hrubá struktura jednotlivých ploch layoutu

Dělení materiálu

Na základě kapacitních výpočtů víme, jaké výrobní stroje a zařízení budou do této oblasti zahrnuty a v jakém počtu. Tato oblast layoutu bude projektována jako samostatná část a bude situována do výrobního úseku mezi vstupní sklad surovin a část obrobny, můžeme vidět na obrázku 6-5 jako světle modrou plochu. Touto částí layoutu projde velké množství materiálu, proto je nutné brát velký ohled na manipulaci materiálu. Ten se bude v našem návrhu layoutu vyskytovat zejména ve formě tyčového materiálu či plechů větších rozměrů. Z hlediska výrobních technologií se bude v návrhu vyskytovat řezání na pásové pile, řezání středně silných plechů laserem a řezání vodním paprskem. Převážně u poslední zmíněné technologie je důležité do návrhu počítat s doplňujícími zařízeními vodního paprsku, konkrétně vodní hospodářství a jednotlivá zařízení situovat na vhodné místo.

Obrábění materiálu

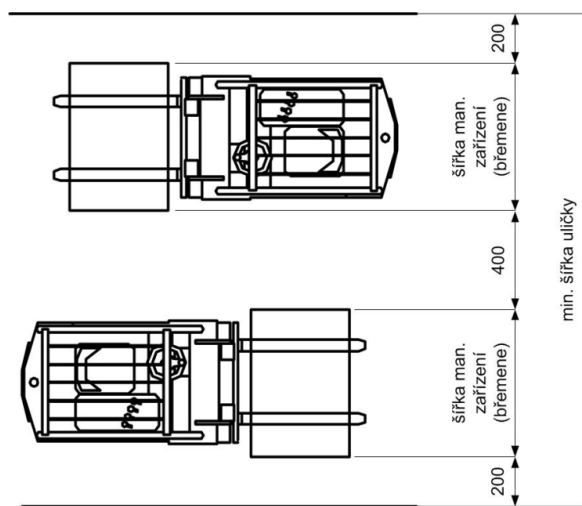
Obrobna tvoří v layoutu z výrobních částí největší oblast, na obrázku 6-5 je vyznačena světle zelenou plochou. Umístěna je za část dělení materiálu a je zde dodržena manipulační vazba děleného materiálu. Obrábění je výrobních technologie, do které můžeme zařadit poměrně širokou škálu výrobních strojů a zařízení, které mohou mít různý vliv na prostorové řešení. V našem layoutu se vyskytují tyto technologie:

- soustružení,
- frézování,
- vrtání,
- ohýbání,
- broušení.

Dle technologií jsou součástí layoutu související stroje a zařízení, kde jejich množství, potřebu ploch, apod. známe již z kapacitních výpočtů. U obrobny byla zvolena kombinace jednotlivých prostorových struktur. Celá obrobna je technologické struktury, přičemž v jejím

rámci byly navrženy skupinové oblasti stejných či podobných strojů, nebo je zde zakomponována posloupnost jednotlivých operací položek, podle které jsou stroje umístěny.

Vzhledem k velikosti plochy obrobny, počtu jednotlivých výrobních prvků a rozborům parametrů vstupních dat, je důležité brát velký ohled na manipulační stránku obrobny. Manipulace v obrobně by měla obsahovat zejména dostatečné dopravní uličky. A to jak z hlediska jejich šířky, tak také z hlediska jejich počtu, vzájemné propojitelnosti a návaznosti a přehlednosti. Bezproblémové zajištění zásobování materiálem jednotlivých strojů a zajištění odsunu odpadu je samozřejmostí. Proto jednotlivé manipulační uličky v rámci obrobny jsou obousměrné (šířka 3200 mm) a je zde dodržena norma ČSN 26 9010 - Manipulace s materiálem. Obousměrný provoz je dodržen v celém layoutu mezi jednotlivými částmi a na obrázku 6-6 vidíme, jak byla šířka uličky stanovena.



Obrázek 6-6: Obousměrná manipulační ulička [19]

Manipulační uličky nejsou jedinými zásadami, které musíme v návrhu dodržovat. Rozsah zásad a pravidel je poměrně značný, proto budou jen stručně uvedeny. Obrobna tvoří největší část layoutu a vyskytuje se v ní velký počet obráběcích strojů, které jsou samozřejmě doplněny dalšími souvisejícími prvky. Návrh je projektován tak, abychom zabrali co nejmenší plochu, ale při rozmístování musíme dodržovat zvyklosti a normy, které jsou také vhodné z hlediska bezpečnosti a hygieny. Jednotlivý stroj či zařízení umístíme s ohledem na jeho krajní polohy a dbáme především na dostatečné rozměry strojů a zařízení umístěných za sebou, či natočením strojů k sobě čelem, zadními stěnami a bočními stěnami. Dalším prvkem při rozmístění dle norem je uvažování jedno strojové, či více strojové obsluhy, dodržení vzdálenosti od dopravních cest, vzdálenosti strojů od stěn (opět v několika variantách natočení stroje) a postavení strojů u sloupů.

Svařovna

Svařovna je částí layoutu, která obsahuje určité specifické vlastnosti technologie svařování. Opět je celá řada zásad, pravidel, které bychom měli v návrhu layoutu dodržovat. Svařovna je dle obrázku 6-5 umístěna ve druhé části lodě výrobně montážní haly. Z hlediska prostorových struktur je možné označit uspořádání za technologické, neboť svařovna tvoří jedno velké pracoviště. Nicméně v rámci této části jsou navrženy předmětné uzavřené celky pro jednotlivé podsystémy.

Rozměry svařovaných celků jsou poměrně rozměrné a obtížně se s nimi manipuluje, proto bychom měli opět brát velký zřetel na manipulační uličky a jejich dostatečnou velikost a jednoduchost (nevytvářet komplikované uličky a křižovatky). Kompletní materiálový tok

svařovnou by měl být usměrněný a co nejkratší. Na jednotlivých svařovacích pracovištích se musí řešit ochrana před oslňováním okolních částí. Technologií svařování je doprovázena vznikem určitých plyných zplodin, proto důležitou zásadou při návrhu je řešit odsávání těchto nežádoucích prvků. Jednotlivé uzavřené celky mohou mít vlastní odvětrávání a je možné celou svařovnu také odvětrávat kompletně.

Laminovna

Podobně jako u svařovny, je laminovna částí layoutu, která obsahuje určitá specifika výroby, které musíme do návrhu prostorového uspořádání začlenit. Laminovna se dle obrázku 6-5 nachází ve druhé části lodě výrobně montážní haly před svařovnou, je vyznačena oranžovou plochou. Z hlediska prostorových struktur se jedná o technologické uspořádání.

V našem návrhu layoutu je v laminovně důležité zajistit minimální možnost výskytu cizorodých částecek. Proto je celé pracoviště uzavřeno stěnami a je zastřešené z lehkých konstrukcí pro zajištění čistoty ovzduší. Uvnitř pracoviště je také řešeno odvětrávání.

Lakovna

Vedlejším procesem výroby je u některých podsystémů monopostu také lakování. Jedná se zejména o podsystém rámu a jednotlivé položky podsystémů, kde probíhá výroba laminováním, zejména se jedná o podsystémy kapotáže, nádrže a sedadla. Lakovna nebyla podrobena kapacitním výpočtům, nicméně v návrhu layoutu je obsažena a zmíníme stručně určité zásady při projektování. Lakovna je navržena formou dvou lakovacích boxů umístěných vedle sebe. Důležitý je dobře navržený manipulační přístup k boxům a dostatečně velké prostory pro odkládání lakovaných položek a snadná manipulace. V lakovacích boxech podobně jako u svařovny se vytvářejí nezdravé zplodiny a mechanické nečistoty, proto bychom měli zahrnout do návrhu účinné odsávání a větrání. Uvnitř boxů zajistit dostatečné osvětlení. Dle obrázku 6-5 je lakovna umístěna vedle svařovny a za ní se již vyskytuje montáž finální. Je tedy také situována z důvodu, že rám je lakovaný a vstupuje do montáže finálního monopostu jako první.

Montážní části

Vedle výrobních částí v rámci layoutu musíme také vhodně projektovat montážní prostory. Určité zásady a pravidla k projektování montážních pracovišť jsou poměrně rozsáhlá. Pracoviště musí být uspořádáno a vybaveno tak, aby pracovník mohl podávat co největší výkon při minimální námaze fyzické i psychické. Proto hlavně při projektování montážních pracovišť vyšších typů výroby řešíme kromě technologických, manipulačních a organizačních problémů i podmínky a požadavky z oblasti psychologie, fyziologie, antropometrie, estetiky, atd. [3] Samozřejmě ne všechny tyto požadavky na zmíněné oblasti můžeme do návrhu layoutu zahrnout.

Na základě výběru konceptu z předešlé kapitoly bude montáž rozdělena na dvě části. První částí je montáž jednotlivých podsystémů. Struktury montáže jsou předmětného charakteru, neboť na pracovištích se montuje vždy daný podsystém. Zde je montáž řešena bez časového hlediska. Pracoviště pro jednotlivé podsystémy by měla být přehledná, vhodně vybavená příslušejícím nářadím apod. a jeho umístěním v blízkosti použití. Před těmito montážními částmi se nachází jak je vidět z obrázku 6-5 supermarket pro zásobování. Je tedy v návrhu nutné opět zajistit dostatečně vhodné a jednoduché manipulační uličky pro zásobování a napojení na pracoviště.

Druhá část montáže se týká finálního monopostu. Montáž je zde typu pohyblivé proudové. Jedná se o nejvyšší formu montáže, která vyžaduje plnou synchronizaci jednotlivých

pracovišť. Při tomto typu montáže by měla být cesta montovaného monopostu i jeho základních dílů co nejkratší a bez zbytečného křížení. Roli zde hrají také časová ohodnocení.

Pracoviště, na kterých se montují sestavené podsystémy do monopostu, jsou situovány mezi finální linku a mezisklady nazývané „shopstocks“. Do nich jsou umísťovány sestavené podsystémy a komponenty, které pracovník odebírá právě, kdy potřebuje v daný okamžik. Výhodou shopstocků vzhledem k layoutu jsou kratší montážní linky a menší potřeba montážní plochy. Opět je potřeba zajistit dostatečně prostorově vhodné pracoviště pro pohyb pracovníka, který bude operovat u finální linky. Vedle prostorů jde také o manipulační uličky navrženými z každé strany shopstocků, tzn. mezi finální linkou a mezi pracovišti podsystémů. Při linkové montáži musíme řešit také možnost odstavení výrobků z linky, při jeho zdržení na některém stanovišti, aby celá linka nemusela stát.

Ostatní části layoutu

Další části, které jsou navrženy v rámci layoutu:

- vstupní sklad,
- administrativní prostory (kanceláře),
- expediční sklad,
- zkoušky finálního monopostu.

Tyto části nebyly podrobeny detailním rozborům, nicméně do layoutu jsou začleněny. Jsou součástí každé výrobně montážní haly a zejména u obou typů skladů je zřetelný materiálový tok. Vstupní sklad a administrativní prostory jsou vedle sebe a jsou situovány do krajní části layoutu, ve druhé krajní části je podobně umístěn druhý sklad – expediční a vedle umístěné zkoušky jsou následujícím pracovištěm po hotové finální montáži monopostu a navazují na sebe.

V souhrnu v této podkapitole byly popsány jednotlivé výrobní a montážní technologie s vazbou na tvorbu prostorového uspořádání – layoutu. Obsahují širokou škálu doporučení, zásad a pravidel, striktně je potřeba dodržovat ČSN normy. Základní hlediska byly zmíněny a popsány a do návrhu layoutu byly postupně integrovány. Nyní můžeme přejít k tvorbě 3D prostorového řešení.

6.3 Detailní řešení 3D layoutu

Při návrhu layoutu postupujeme dle metodiky a tato podkapitola by měla korespondovat s etapou 3D detailního prostorového řešení. K vytváření layoutu budeme používat již popisovaný software visTABLE. Tato softwarová podpora pro tvorbu layoutu rozšiřuje možnosti. Díky 3D prostředí si velmi dobře můžeme představit layout a hledat snadněji případné nedostatky. Tvorba detailního layoutu vychází z nejlépe ohodnoceného konceptu technologického uspořádání výrobních částí a pohyblivé linkové finální montáže. Známe již tedy hrubou strukturu podoby layoutu a hlavní zásady a pravidla pro jednotlivé projektované části layoutu.

U výrobní – montážní haly volíme půdorysný tvar, v našem případě je hala obdélníkového tvaru. Základním hlediskem pro volbu půdorysného tvaru haly je technologický tok. Pokud bychom měli zvolený tvar haly konkrétněji charakterizovat, je obdélníkového typu, o dvou podélných lodích a dvou krajních příčných lodích. Loď je určitého rozpětí a také je navrženo sloupové pole s určitou roztečí. Šířku lodi volíme s ohledem na rozmístění strojů a zařízení, velikosti manipulačních zařízení a dalším bezpečnostním podmínkám. Po volbě šířky lodi můžeme dle kapacitních výpočtů orientačně stanovit potřebnou délku lodi, kterou můžeme

postupně upravovat a definitivní délku stanovíme až po detailním rozmístění jednotlivých prvků výrobního systému. Tato praktická část diplomové práce nepopisuje kroky stavebních částí layoutu, jedná se o návrh výrobně – montážní haly a jejího uspořádání a stavební prvky haly nejsou její součástí. Nicméně pro detailní prostorové řešení je nutné určit alespoň tyto základní kroky týkající se tvaru haly, počtu lodí (podélné, příčné), jejich rozpětí a délky lodí.

V této podkapitole bude popsána detailní tvorba layoutu v softwaru visTABLE a budou znázorněny (3D pohledy) a popsány jednotlivé části layoutu. Výstupem bude také 2D layout, který je součástí přílohy č. 1.

6.3.1 Tvorba 3D modelů

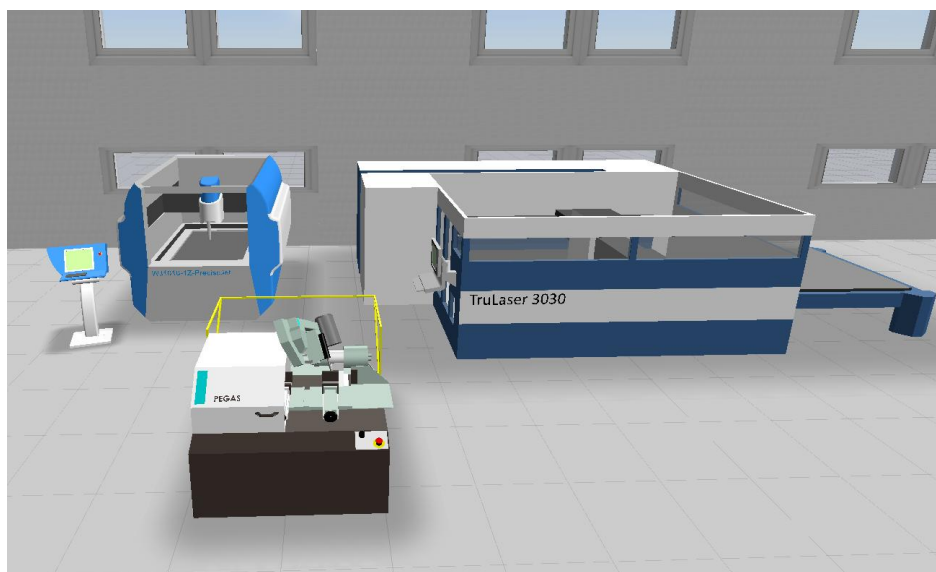
Software visTABLE obsahuje v knihovně modelů poměrně široké spektrum prvků výrobního systému. Ty jsou pro snadnější práci rozděleny do jednotlivých složek. Hlavní výrobní procesy našeho objektu řešení jsou charakterizovány stroji a výrobními zařízeními, které se v knihovně modelů nevyskytují a je potřebné tyto modely vytvořit. Pro tvorbu modelů používáme CAD softwarové nástroje. Výrobní stroje a jejich příslušenství je vytvářeno v softwaru pro počítačové konstruování CATIA V5. Modely uložené ve vhodném formátu jsou následně importovány do knihovny modelů visTABLE přes aplikaci Object Manager, podporující volbu pohledů, rozměrů či názvů. Jednotlivé modely bude možné vidět v navrženém 3D layoutu. Nyní pro každou výrobní část layoutu budou ukázány jednotlivé tvořené 3D modely.

Dělení materiálu

Zde se jedná o tyto stroje a zařízení:

- laserový stroj TRULASER 3030,
- pásová pila PEGAS 240X280 A-CNC-R,
- CNC stroj pro řezání vodním paprskem PTV Precise Jet s ovládacím stojanem.

Jednotlivé stroje jsou vidět na obrázku 6-7.

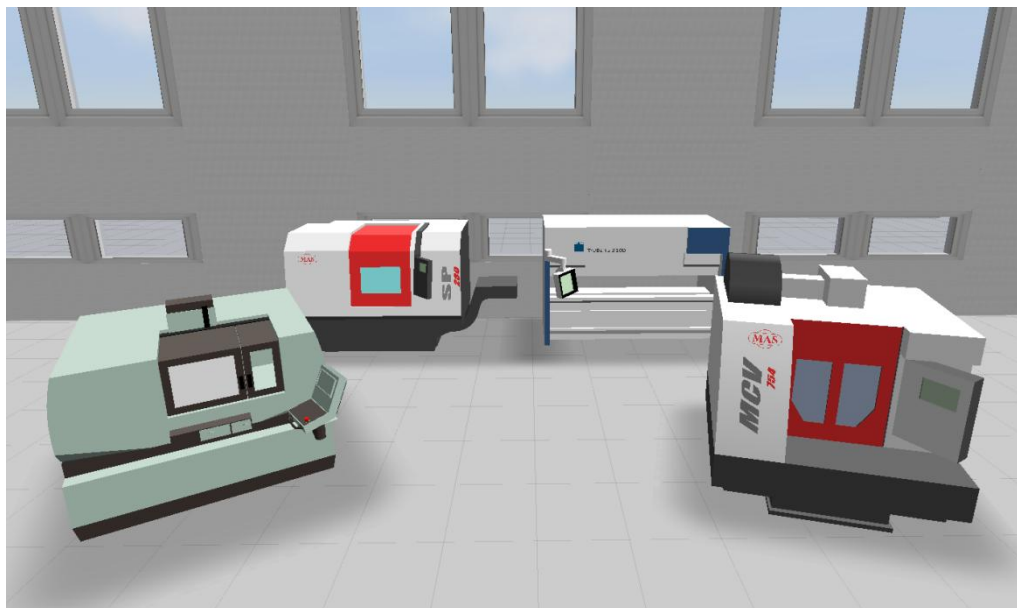


Obrázek 6-7: Modely strojů pro dělení materiálu

Obrobná

Pro vybavení obrobný stroji a zařízeními, viz obrázek 6-8, bylo třeba dle rozboru vstupních a kapacitních výpočtu modelovat tyto stroje a zařízení:

- CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP280 SY,
- vertikální obráběcí CNC centrum KOVOSVIT MCV 754 QUICK,
- ohraňovací CNC lis TRUBEND SERIES 3000,
- rovinná bruska ACC-42SA IQ.



Obrázek 6-8: Modely strojů pro obrobnu

Svařovna

Pro pracoviště svařovny byly dodělané modely svářeček, ty jsou znázorněny na obrázku 6-9.

- svařovací invertor WSME 200 AC/DCPULSE,
- MIG/MAG svářečka COMPACT 428 WN.

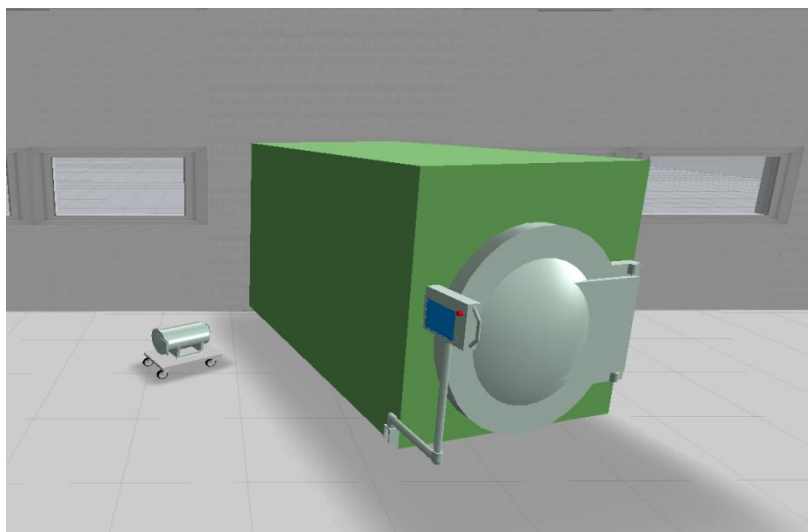


Obrázek 6-9: Modely pro svařovnu

Laminovna

Do prostorů laminovny byly zpracovány modely, které můžeme vidět na obrázku 6-10. Přesnými typy strojů jsou:

- Autoclave MK A-150,
- vakuová pumpa VP4300.



Obrázek 6-10: Modely laminovna

Vedle těchto důležitých strojů a zařízení pro návrh layoutu byla také výchozí knihovna doplněna modely různého druhu. Například v prostorách laminovny jsou dále modely forem, sedačky, nádrže či volantu a odvětrávání. Ve svařovně jsou to modely svařovacího přípravku, rámu, či výfukového systému.

Následně budou představeny jednotlivé části layoutu včetně znázornění pracoviště ve 3D zobrazení. Součástí bude také popis návrhu jednotlivého pracoviště, vybavení jednotlivými zařízeními a ostatními prvky výrobního systému. V návrhu jsou součástí také pracovníci jednotlivých částí. Po ukázkách jednotlivých pracovišť bude znázorněn kompletní 3D layout celé haly.

6.3.2 Vstupní sklad

Vstupní sklad nebyl součástí kapacitních výpočtů, nicméně do návrhu layoutu je vytvořen. Ve vstupním skladu je uložen materiál (polotovary, nakupované díly, apod.) ve formě zásob. Je situován do krajní příčné lodě haly a je obdélníkového tvaru. Zajištěn je vjezd do střední části výrobní haly mezi jednotlivými podélnými loděmi, kde vede hlavní dopravní cesta. Ve vstupním skladu se nachází zejména regály, převážně se jedná o konzolové regály jednostranné (stroměčkové), dále paletové regály a regály na gitterboxy, regály na KLT přepravky či ostatní drobnější materiál. Mezi vstupní polotovary pro obrábění a svařování můžeme zmínit především tyčový materiál či plechy. Vzhledem k tomu, že bude docházet k časté manipulaci a tyčový materiál je větších rozměrů, je vstupní sklad propojený s následnou částí layoutu v návazné posloupnosti – dělením materiálu a ve sdílené stěně je vytvořen otvor pro dopravník a vzniklé možnosti dopravy tyčového materiálu přímo k pásové pile, která následně dělí tento materiál. Ve skladu se celkem nachází tyto 2 dopravníky pro tyčový materiál. Myšleno je také na přejímání vstupního materiálu a umístěny jsou v této části layoutu čtecí zařízení a terminály. Manipulační uličky a dopravní cesty jsou navrženy dle pravidel a norem, je dodržena šířka pro provoz manipulačních prostředků a manipulaci mezi umístěnými regály. Speciálně pro skladování nakupované položky motoru, vážícího přibližně 58 kg, je ve skladu umístěn sloupový jeřáb pro manipulaci. Zabýváno je také třískovým hospodářstvím a vedle vstupní části do skladu jsou umístěny kontejnery na třísky z obráběcích strojů a ostatní odpad.

Na následujícím obrázku 6-11 můžeme vidět komplexní 3D pohled na navržený vstupní sklad.



Obrázek 6-11: Vstupní sklad - celkový pohled

6.3.3 Administrativní prostory – kanceláře

Dalšími částmi, které se nacházejí v příčné lodi layoutu, jsou administrativní prostory, zejména se jedná o kanceláře, ve kterých se nachází větší počet pracovníků. Tyto prostory byly podrobeny kapacitním výpočtům a zjistili jsme přibližnou potřebu jednotlivých ploch a kapacitní zajištění pracovníků. Byly navrženy čtyři části těchto prostor, mezi kterými je obsažena kancelář a oddělení vedoucího výroby, oddělení plánování a řízení výroby, tiskové centrum a oddělení inženýrství a technologie. Jednotlivé kanceláře jsou vybaveny základním kancelářským vybavením (kompletní nábytek, výpočetní technika, ostatní příslušenství). Na následujícím obrázku 6-12 je ukázána kancelář vedoucího výroby.



Obrázek 6-12: Administrativa - vedoucí výroby

6.3.4 Dělení materiálu

V návrhu layoutu je dělení materiálu navrženo jako samostatná část, jedná se o technologickou prostorovou strukturu. Je situována do podélné lodě haly a navazuje na vstupní sklad. Výchozí vstupní materiál pro dělení materiálu je dopravován vysokozdviznými vozíky k jednotlivým výrobním zařízením, které jsou součástí těchto prostorů layoutu. Jedná se o tyto stroje v tomto počtu:

- 3x laserový stroj TRULASER 3030,
- 2x pásová pila PEGAS 240X280 A-CNC-R,
- 4x CNC stroj pro řezání vodním paprskem PTV Precise Jet s ovládacím stojanem.

To jsou hlavní zařízení části dělení materiálu a k nim dále navrhujeme ostatní prvky výrobního systému. Primárně je nutné konstatovat, že umístění v prostorách dělení materiálu pro jednotlivé zařízení je provedeno na základě norem, pravidel a zásad tvorby layoutu. Jedná se především o rozměry rozestavění zařízení od stavebních prvků (sloupů) a ostatních zařízení. Respektovány jsou jednotlivé bezpečnostní vzdálenosti. Dodržen je také dostatečně velký prostor pro pracovníka. V rámci této části jsou navrženy obousměrné manipulační uličky o šířce 3200 mm a je zajištěna bezproblémová manipulace s manipulačními jednotkami jednak s umístěním k jednotlivému zařízení, a také s odebráním z pracoviště a následným odvozem do jiné části layoutu. Manipulačními jednotkami jsou zejména gitterboxy (evropská kovová čtyřcestná ohradová paleta) s kovovým rámem a stěnou z drátěného pletiva. U řezacích laserových strojů je vstupní materiál (plech) umístěn na klasických paletách. Mezi umístěné příslušenství do layoutu jsou zahrnuty regály, skříňky s nářadím, klasické skříňky, pracovní stoly, vozíky pro třísky a odpad a součástí je také celé pracoviště s pracovním stolem s výpočetní technikou. Manipulačními prostředky jsou různé vysokozdvizné vozíky, případně paletové vozíky dle druhu a množství materiálu.

Jak bylo zmíněno u popisu vstupního skladu, pásové pily Pegas jsou napojeny na dopravník, který dopravuje tyčový materiál ze skladu otvorem ve stěně. U krajní stěny podélné lodi jsou umístěny zařízení PTV umožňující řezání vodním paprskem. Zejména u těchto strojů je nutné také v rámci umístění polohy řešit vedlejší, nicméně nutné záležitosti vodního hospodářství (čištění, lokální recyklace abraziva, apod.). Proto jsou tyto stroje umístěny u stěny a sdílejí zařízení vodního hospodářství. Posledními stroji v této části layoutu jsou řezací laserové stroje Trulaser, které jsou poměrně velikostně náročné na umístění.

Celá část dělení materiálu se zmíněnými a popsányými prvky je znázorněna na následujícím obrázku 6-13.



Obrázek 6-13: Dělení materiálu - komplexní pohled

6.3.5 Obrobna

Pokud budeme uvažovat nejen určitou technologickou návaznost a podobnost, ale také posloupnost výroby, další popisovanou částí layoutu je obrobna. Obrobna tvoří jednu z největších částí navrhované layoutu, zejména z výrobních částí je plochou největší. Je umístěna do podélné lodě haly a navazuje na dělení materiálu. Z hlediska prostorových struktur je technologického uspořádání, nicméně v jejím návrhu jsou některé stroje umístěny do určitých skupin. Jedná se o skupiny strojů seřazené z hlediska podobnosti, či posloupnosti výroby. Podobně jako u dělení materiálu zde prostorové uspořádání respektuje určité zásady, pravidla a normy rozmístění. Jedná se především o rozměry rozestavení strojů od stavebních prvků (sloupů) a zejména od ostatních zařízení. Dle kapacitních výpočtů se v obrobně nachází velký počet strojů, a proto je nutné u všech zajistit tyto předpoklady vhodného rozmístění. Manipulační uličky v obrobně jsou všechny obousměrné o šířce 3200 mm. Pro zásobování materiálem strojů umístěných v horní části obrobny je také použita hlavní středová dopravní ulička stejné šířky. Mezi příslušenství, které je součástí návrhu obrobny podobně jako u předešlé části, můžeme zařadit:

- manipulační jednotky vstupních materiálů či polotovarů (gitterboxy, klasické palety, KLT přepravky),
- skříně na nářadí, klasické skříně,
- pracovní stoly se skříňkami, pracovní ponky,
- regály,
- vozíky pro odvoz třísek a odpadů, malé kontejnery na třísky a odpad pro soustruhy,
- ostatní položky (cedule, tabule, terminály, koše, apod.).

Doprava v rámci této části layoutu je zajišťována pomocí vysokozdvíhových vozíků či paletových vozíků, záleží také na druhu a množství materiálu. Součástí návrhu jsou také pracovníci, zejména v obrobně je možné využít více strojové obsluhy.

Mezi jednotlivé obráběcí stroje a zařízení obrobny patří:

- CNC soustruh MAS SP280 SY,
- vertikální obráběcí CNC centrum MCV 754 QUICK,
- ohraňovací CNC lis TRUBEND SERIES 3000,
- rovinná bruska ACC – 42SA IQ.

Hlavně soustruh a frézka se vyskytuje v obrobně ve velkém počtu. Proto první skupinou strojů umístěných v obrobně je skupina frézek. Jedná se o osmičlennou skupinu, u které je také možné zavést více strojovou obsluhu. Jednotlivé stroje jsou natočeny čelem k sobě ve dvou řadách po čtyřech strojích a zásobování skupiny je zajišťováno ze zadní strany strojů. Jen u krajních frézek je možné zásobovat také z podélných krajních uliček. Uprostřed skupiny jsou umístěny pracovní ponky (jeden ponk sdílený pro dva stroje) a spolu s nimi také skříně s nářadím a vybavením, také případně montážně pracovní stoly.

Další skupinou je středová skupina soustruhů a frézek. Stroje jsou umístěny stranou k sobě a čelem ke středové uličce haly ve dvou řadách po čtyřech strojích. Skupinu rozděluje ještě středová manipulační ulička v rámci obrobny a zásobování je zajišťováno více způsoby. U této skupiny podobně jako u frézek jsou součástí skříně na nářadí a pracovní stoly (sdílená skříň a stůl pro 2 stroje). U soustruhů je umístěn malý kontejner na třísky a odpad vzniklý obráběním.

Poslední skupinu tvoří stroje rozmístěné spíše na základě technologické podobnosti, neboť zde vyráběné položky neprochází více stroji v určité posloupnosti výroby. Vedle soustruhů a frézek se zde situují také ohýbačky a rovinná bruska. Stroje jsou rozmístěny k sobě stranami a ve čtyřech řadách, čtyři stroje vedle sebe, řady jsou k sobě natočeny zadními stranami. Skupinu rozděluje ještě středová ulička stejně jako předešlou skupinu, vybavení příslušenstvím (skříňky) je též podobné.

V rámci obrobny jsou také ještě navrženy části týkající se kontroly a pracoviště vedoucích pracovníků (mistra). Kontrolní stanoviště jsou umístěna u krajní stěny a vedle měřících zařízení jsou zde také dva typy pracovních stolů, skříně s vybavením pro měření a regály. Tyto kontroly jsou v obrobně dvě, druhá je přidružená pro třetí skupinu, kde se vyskytuje největší počet strojů. Pracoviště vedoucího pracovníka je umístěno u krajní stěny haly u skupiny frézek, pracoviště je vybaveno výpočetní technikou apod.

Na následujícím obrázku 6-14 vidíme pracoviště obrobny, jedná se o komplexní pohled na celé pracoviště.



Obrázek 6-14: Obrobna – kompletní pracoviště

6.3.6 Laminovna

Laminovna je již z jednou z výrobních technologií, jejíž pracoviště je umístěno na druhé straně výrobní haly. Pracoviště je technologické prostorové struktury, v předešlé kapitole jsme zmiňovali určité zásady při prostorovém řešení a specifické vlastnosti u této technologie výroby. Do laminovny je zajišťováno zásobování materiálu vraty a vcházení samo otevíracími dveřmi ze všech stran pracoviště. Stěny laminovny jsou prosklené a pracoviště je celé zastřešeno. Manipulace s materiálem zde není takového rozsahu jako u obrobny a manipulační uličky je zde jednosměrná o šířce 2500 mm. Navíc manipulačními prostředky jsou zde zejména u větších forem paletové vozíky či klasické transportní vozíky.

Navrhované pracoviště laminovny musí respektovat vedle určitých zásad a pravidel také posloupnost výroby jednotlivých položek pro podsystémy. Vyrábějí se zde položky jako sedadlo, nádrž, volant, bočnice, atd.

Výroba probíhá v těchto hlavních operacích:

- 1) příprava a stříhání tkanin,
- 2) kladení tkanin dovnitř formy,
- 3) vakuování,
- 4) vytvrzování – autokláv,
- 5) finální úpravy, případné opravy, kontrola.

Těchto pět hlavních kroků musí na sebe navazovat, každé operaci náleží určité pracoviště a jednotlivá manipulace mezi nimi musí být nekomplikovaná. První částí je příprava a stříhání tkanin. Pracoviště je složeno z jednotlivých stolů, na kterých probíhá stříhání jednotlivých vzorů pro určité položky. Pracovník kombinuje pracovní polohu ve stoje a vsedě na židli se zvýšeným sedadlem. Vedle stolu je umístěn stojan na tkaniny, z druhé strany stolu jsou skříňky na nástroje a nářadí a koše na zbylé tkaniny. Další skupinou pracoviště korespondující

s druhou operací je kladení tkanin. Zde pracovník vyplňuje formu, která má negativní tvar vyráběné položky. Pracoviště opět tvoří pracovní stoly, na kterých pracovník vyplňuje položenou formu a může kombinovat pracovní polohu ve stoje a vsedě na židli se zvýšeným sedadlem. Vedle stolů jsou skříně s nástroji a náradím. Náplní třetí operace a tedy souvisejícího pracoviště je vakuování, kde hlavní výbavou je vakuová pumpa (VP 4300). Probíhá zde odsávání vzduchu pro lepší přilnavost materiálu k formám. Na pracovištích jsou opět skupiny stolů, pod kterými jsou umístěny pumpy pro vakuování, a pracovní poloha pracovníka je opět v kombinaci. Čtvrtou operací je vytvrzování, které probíhá v zařízeních zvaných autoklávy (Autoclave MK A - 150). Poté přichází na řadu finální kontrola a úprava, pro kterou jsou celkem navrženy čtyři pracovní stoly.

Součástí laminovny jsou také pracovní stoly pro vedoucí pracovníky, které jsou vybaveny výpočetní a další technikou. Dále se zde nacházejí další prvky pracoviště:

- pracovně – montážní stoly,
- regály, skřínky na náradí, klasické skříně,
- odvětrávání na krajní stěně haly.

Na obrázku 6-15 je znázorněno pracoviště laminovny, kde vidíme jednotlivé stoly pro jednotlivé operace a také zařízení pro vytvrzení – Autoclave.



Obrázek 6-15: Laminovna - kompletní pracoviště

6.3.7 Svařovna

Poslední částí layoutu, kde se vyskytuje hlavní výrobní proces, je svařovna. Je to podobně jako u laminovny část výroby, která má určité specifické vlastnosti, které musíme během návrhu začlenit do prostorového uspořádání. Je situována vedle svařovny a ze všech výrobních částí zaujímá nejmenší plochu. Svařováním se vyrábí menší počet položek. Svařovna je navržena jako jedna velká část layoutu, přičemž v jejím rámci jsou vytvořeny samostatné předmětné uzavřené celky pro jednotlivé podsystémy. Mezi hlavní svařované podsystémy patří hlavně rám. Jelikož právě rám je položka větších rozměrů, je zde třeba

dodržen jednoduchou manipulací bez překážek a proto je navržena opět obousměrná manipulační ulička. Jednotlivé svařovací buňky jsou uzavřené stěnou, zastřešení zde není.

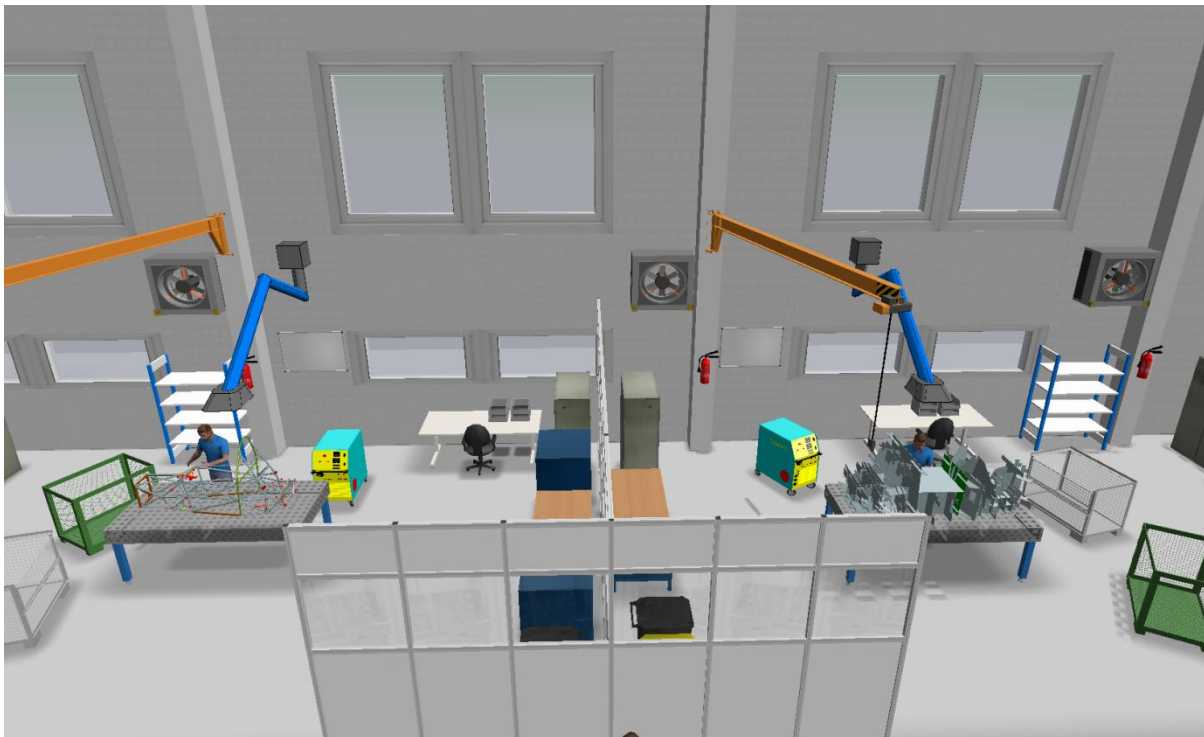
Speciálně pro svařování rámu jsou vytvořena čtyři buňková pracoviště, kde probíhá kompletní svařování rámu ve speciálním přípravku. Ten je položen na speciálním svařovacím stole a postupně se na přípravek dávají trubky připravených rozměrů a svařují. Probíhají zde tedy kompletní operace (výrobní + montážní) spojené s rámem a ten opouští buňku ve stavu možnosti pokračovat rovnou do lakovny. Jelikož rám je poměrně rozměrově náročnější na manipulaci, součástí buňky je sloupový jeřáb. Výrobu svařováním doprovází vznik plyných zplodin a nečistot, proto je součástí buňky také odvětrávání. To je jednak řešeno klasickým větrákem umístěným na stěně a také speciálním odvětráváním uchyceným též na stěně, které dosahuje vzdálenosti až ke svařovacímu stolu. Hlavní zařízení pracoviště je svářečka typu MIG/MAG Compact 428 WN. Svařování doprovází často broušení, či podobná technologie na úpravu svarů, proto je nutné mít také toto na zřeteli a do návrhu začlenit pracovní stoly a nástroje.

Dalším příslušenstvím pracoviště jsou například:

- manipulační přepravky (gitterboxy, palety),
- pracovní stoly s náradím, skříně s náradím a nástroji, klasické skříně,
- regály, odpadkové koše, apod.

Dalším pracovištěm u svařování je společná uzavřená buňka pro ostatní položky podsystémů. Jejich počet není velký a buňky je menších plošných rozměrů. Podobně jako u předchozích částí je uzavřená stěnou bez zastřešení. Hlavním zařízením je zde svařovací invertor WSME 200 AC/DCPULSE. Ostatní příslušenství je podobné jako u buněk pro podsystém rámu.

Svařovací pracoviště pro podsystém rámu vidíme na obrázku 6-16, na kterém je vidět svařovací přípravek pro rám.



Obrázek 6-16: Svařovací pracoviště pro podsystém rámu

6.3.8 Lakovna

Celý podsystém rámu a některé položky vyráběné laminováním dále po hlavních výrobních procesech pokračují do lakovny. Právě ta je jednou z posledních částí výrobní haly a je umístěna vedle svařovacích pracovišť. Její návrh není založen na kapacitních propočtech vzhledem k chybějícím vstupním datům, nicméně během konzultací s vedoucím členem týmu UWB Racing Team Pilsen byl zařazen návrh lakovny do layoutu a byly předány informace o vyráběných položkách pokračujících do lakovny. Hlavní položkou je kompletní svařovaný rám a většina laminovaných položek (kapotáž, bočnice, atd.). Lakovna je navržena formou dvou lakovacích boxů umístěných vedle sebe zadní stranou ke krajní stěně haly. Jeden z těchto boxů bude zejména pro lakování kompletních rámu. Proces lakování je podobně jako svařování doprovázen vznikem nečistot ovzduší, proto je nutné řešit také odvětrávání. V jednotlivých boxech jsou umístěny větráky. Po lakování může být různá dlouhá doba schnutí, před boxy je poměrně velký prostor pro umístění jednotlivých položek a podskupin. Ty poté putují do částí montážní haly.

Obrázek 6-17 je ukázkou vytvořených lakovacích boxů umístěných vedle sebe.



Obrázek 6-17: Lakovací boxy s manipulační plochou

6.3.9 Montážní hala – podsystémy

Vedle výrobních částí je také součástí návrhu layoutu montážní oblast podsystémů monopostu. Montáže můžeme rozdělit do dvou částí. Jedná se jednak o montáž podsystémů na samostatných pracovištích a také o finální montáž celkového monopostu z jednotlivých celků podsystémů. Tento návrh byl již popsán v seznámení s jednotlivými koncepty.

Montáže podsystémů byly navrženy jako samostatná pracoviště, která jsou situována do druhé poloviny výrobní haly. U některých podsystémů je u položek nutná manipulace pomocí jeřábu vzhledem k velké hmotnosti. Na pracovištích se nachází základní vybavení a příslušenství:

- montážní stoly,

- pracovní stoly s nářadím,
- skříně s nářadím,
- ostatní pomocné vybavení pro manipulaci (vozíky, jeřáby, plošiny).

Balancování pracovišť

Vedle návrhu prostorového uspořádání jednotlivých pracovišť pro montáž podsystémů bylo provedeno také balancování pracovišť. Po předání vstupních dat týkajících se postupu a času montáže od týmu UWB Racing Pilsen byl proveden rozbor a v rámci tvorby layoutu se navrhlo řešení, které samozřejmě mělo vliv na prostorové uspořádání. Důležité je podotknout, že propočty kapacitních propočtů montáže koresponduje s výpočty pro výrobní části, proto jednotlivé vzorce již nejsou uvedeny.

Každý podsystém monopostu je charakterizován operačním časem montáže. Podobně jako u kapacitních výpočtů je vypočten časový fond.

$$E_{fp} = 250 \times 22,5 \times 60 = 337500 \text{ [min]}$$

Vzhledem k časovému fondu, který je 337 500 minut pro třisměnný provoz a vzhledem k celkovému času T_c vychází pro každý podsystém poměrně malé využití pracoviště. V tabulce 6-5 vidíme jednotlivé hodnoty pro každý podsystém:

- čas operační montáže podsystému [min],
- čas přetypování [min],
- čas celkový T_c pro daný objem výroby (100 kusů),
- využití pracoviště [%],
- časový fond pro pracoviště uvažujeme stejný (337 500 minut).

Název podsystému	Čas operační (montáže podsystému) [min]	Čas přetypování [min]	T_c [min]	Využití pracoviště [%]
Rám formule	0	-	-	-
Motorový systém	95	17	113 730	33,7%
Airbox systém	35	10	42 250	12,5%
Výfukový systém	98	14	117 025,25	34,7%
Palivový systém	168	31	200 605	59,4%
Chladicí systém	66	18	79 500	23,6%
Pohonný systém	115	15	137 236,43	40,7%
Systém kola a brzdny systém	256	0	293 825	87,1%
Pedálový systém	177	30	213 689,03	63,3%
Systém řazení a řízení	130	40	156 911,11	46,5%
Systém sedačky	81	12	97 632,38	28,9%
Elektronický systém	98	24	117 500	34,8%
Ostatní a speciální díly	4	16	5 070	1,5%
Kapotáž, bočnice	0	-	-	-

Tabulka 6-5: Parametry montáže podsystémů

Po této analýze a propočtech bylo navrženo řešení ve formě sloučení pracovišť, aby došlo k co největšímu využití pracoviště. Pracoviště byla sloučena do určitých skupin, kde byla uvažována určitá kritéria:

- využití pracoviště podsystému,

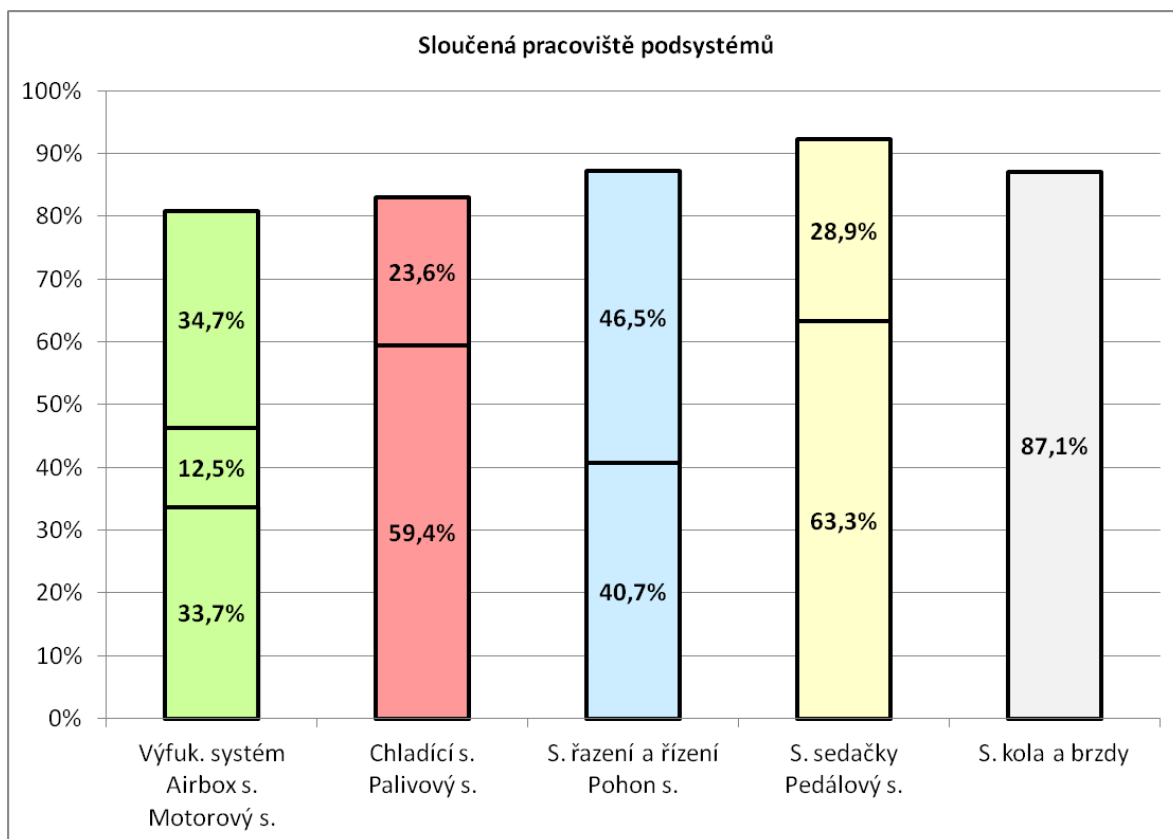
- podobnost podsystémů,
- vybavenost pracoviště podsystémů příslušenstvím (nářadí, manipulace),
- podobnost výrobní technologie a zásobování dílů ze supermarketu.

V následující tabulce 6-6 jsou zřetelná navržená řešení, kde pracoviště jsou sloučena do skupin a po jejich součtu celkových časů T_c se dostáváme k jinému využití pracoviště.

Skupina	T_c celkový [min]	Využití	Využití podsystémů		
Motorový systém Airbox systém Výfukový systém	273 005,25	80,9%	33,7%	12,5%	34,7%
Palivový systém Chladicí systém	280 105	83,0%	59,4%	23,6%	-
Pohonný systém Systém řazení a řízení	294 147,54	87,2%	40,7%	46,5%	-
Systém sedačky Pedálový systém	311 321,40	92,2%	63,3%	28,9%	-
Systém kola a brzdový systém	293 825	87,1%	87,1%	-	-

Tabulka 6-6: Parametry sloučených podsystémů

Přiložen je také graf (obrázek 6-18), kde jsou názorně vidět změněná využití po sloučení přibližující se ideálnímu stavu 100%.



Obrázek 6-18: Využití pracovišť montáží podsystémů po sloučení

Na následujícím obrázku 6-19 již vidíme komplexní 3D pohled na sloučená pracoviště podsystémů, celkem pěti montážních skupin, jak byly navrženy do layoutu.



Obrázek 6-19: Pracoviště montáže podsystémů

Montážní pracoviště navazují na navrhnutý supermarket, který je situován po celé délce těchto pracovišť a slouží k zásobování dílů potřebných k montáži. Může se jednat o vyráběné díly ve výrobní části, které dále putují do supermarketu, či nakupované položky potřebné k montáži podsystému. Supermarket je tvořen regály, gitterboxy, drobnými manipulačními přepravkami apod. Manipulační uličky jsou pro zavážení velkých přepravek záměrně široké, aby zde platila norma pro manipulaci vysokozdviznými vozíky, u menších regálů plněných KLT boxy jsou uličky menší pro manipulaci malými vozíky. Obrázek 6-20 znázorňuje navržený supermarket, na který navazují jednotlivá pracoviště montáže podsystémů.



Obrázek 6-20: Supermarket před montáží podsystémů

6.3.10 Montážní hala – finální linka

Další oblastí montážní části haly je finální montáž monopostu z jednotlivých podsystémů. Její popis byl již proveden v předvedeném konceptu, zde si popíšeme její prostorové uspořádání. Finální linka je situována do druhé poloviny haly u krajní stěny a navazuje na proces lakování. Pracoviště jsou vybavena těmito prvky:

- montážní stoly,
- pracovní stoly s nářadím,
- skříně s nářadím a regály pro spojovací materiál a drobné díly podobného druhu,
- u některých pracovišť je umístěn jeřáb pro lepší manipulaci celého podsystému,
- každé stanoviště může používat různá manipulační zdvihací zařízení, řešit lze pojízdnou plošinou či zavěšením s případným usazením do fixní polohy pro montáž.

V rámci návrhu finální linky opět probíhaly konzultace s týmem a byly předány tyto základní parametry nutné k rozborům:

- postup finální montáže monopostu z jednotlivých podsystémů,
- čas montáže jednotlivého podsystému [min].

Finální linka monopostu je proudová (synchronní) a je jednou z forem pohyblivé montáže, pro tuto linku je třeba zpracovat přesný časový rozbor technologie montáže.

V návrhu layoutu bylo tedy také věnováno oblasti vyvažování linky, kde byl v jednotlivých krocích stanoven takt linky, minimální počet pracovišť a dále vyvážení linky.

Jednotlivé kroky návrhu montáže:

- 1) Na lince musíme vyprodukovat 1000 kusů monopostu za 1 rok. V našem návrhu uvažujeme, že rok má 250 pracovních dní. Počet vyrobených monopostů za jeden den by tedy měl být $1000/250 = 4$ kusy. Uvažujeme jednosměrný provoz, nicméně v našem návrhu linky byla doba montáže snížena pro potřebnou rezervu na 7 hodin. Při uvážení těchto parametrů se dostáváme k časové potřebě 1,75 hodiny na montáž jednoho kusu, v převodu se jedná o 105 minut. Při dvousměrném provozu by se jednalo o 210 minut, při třisměrném provozu 315 minut. Minimální takt linky by měl být při uvažování jednosměrného provozu 105 minut, tento čas snižujeme na 90 minut, tím se vytvoří kapacitní rezerva.

- 2) Minimální počet pracovišť na lince

Celková pracnost (neboli součet všech montážních časů) dělíme stanoveným taktem 90 minut a dostáváme minimální počet pracovišť.

$$P_{min} = \frac{505}{90} = 5,6$$

Na základě propočtů volíme 6 pracovišť.

- 3) Vyvážení linky

Vyvážení probíhalo sloučením jednotlivých pracovišť, abychom dosáhli nejbližší hodnoty taktu pracoviště ke stanoveným 90 minutám. U finální montáže monopostu na rozdíl od slučování pracovišť pro podsystémy musíme dodržovat určitou technologickou posloupnost montáže. Ve výsledné tabulce vidíme časy jednotlivých montáží a čas po sloučení do určitých skupin. Příložený jsou také grafy, které mají větší vypovídající hodnotu. Na prvním grafu týkající se stavu před vyvážením vidíme jednotlivé časové

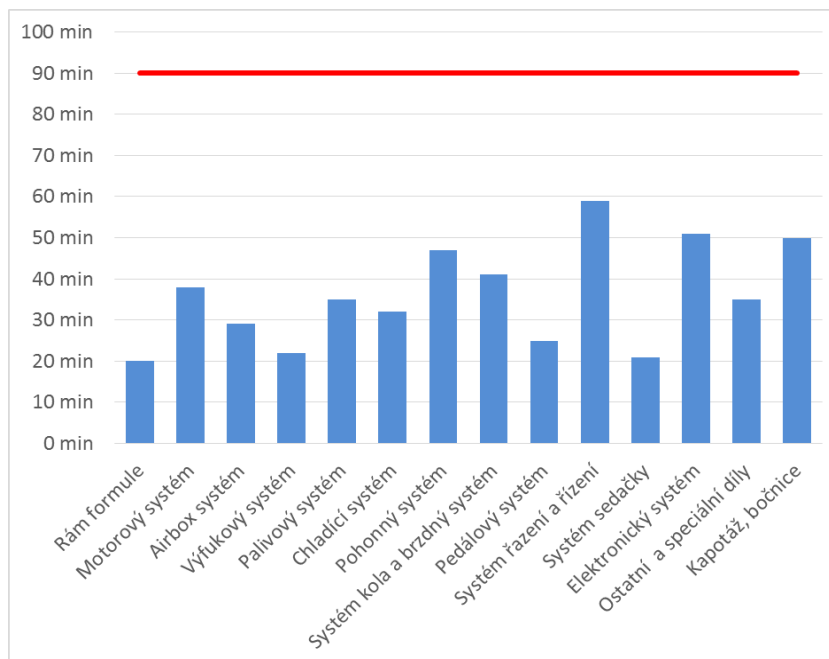
hodnoty pro podsystémy. Další graf je již vázaný k balancování montáže. Vidíme na něm stav po balancování a přibližující se sloučené časové hodnoty ke stanovenému taktu 90 minut.

V následující tabulce 6-7 jsou jednotlivé vstupní parametry, které sloužily pro návrh finální linky. Podsystémy jsou již seřazené dle posloupnosti montáže, tzn. první operací je montáž rámu, finální linka končí montáží kapotáže a bočnic. Jednotlivé montážní operace jsou také vyjádřeny časem v minutách.

Název podsystému	Čas montáže [min]	Čas po sloučení montáží [min]
Rám formule	20	87
Motorový systém	38	
Airbox systém	29	
Výfukový systém	22	89
Palivový systém	35	
Chladicí systém	32	
Pohonný systém	47	88
Systém kola a brzdny systém	41	
Pedálový systém	25	84
Systém řazení a řízení	59	
Systém sedačky	21	72
Elektronický systém	51	
Ostatní a speciální díly	35	85
Kapotáž, bočnice	50	

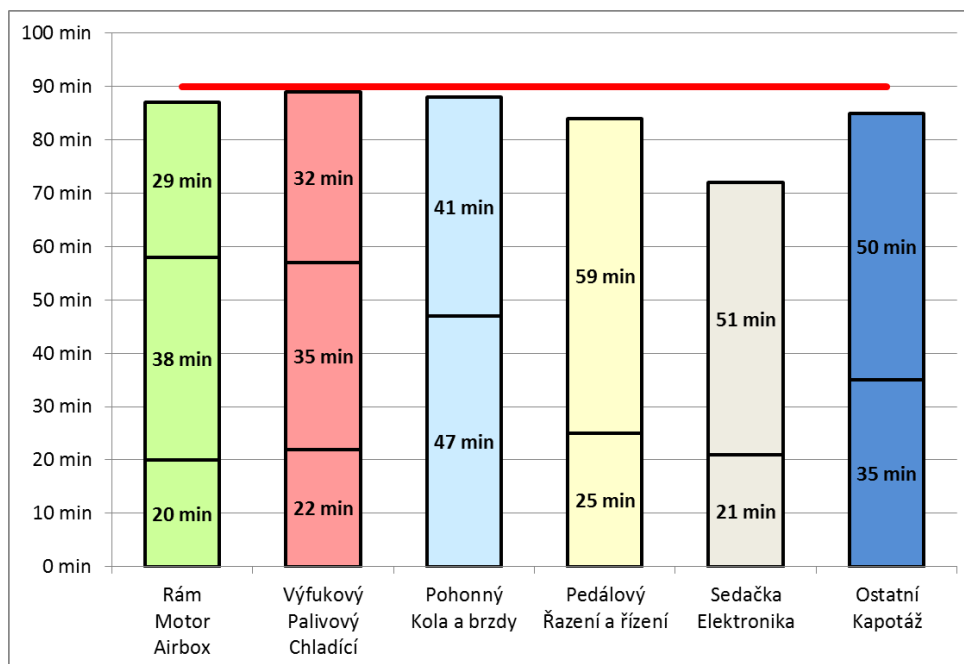
Tabulka 6-7: Parametry pro finální montáž

Graf znázorněný na obrázku 6-21 je charakterizující pro stav, kdy montáž jednotlivých podsystémů probíhá na každém pracovišti, a vidíme, že mezi časem montáže a stanoveným taktům 90 minut je velký časový rozdíl. Každý sloupeček charakterizuje podsystém monopostu a červeně je vyznačena hranice taktu.



Obrázek 6-21: Stav finální montáže před balancováním

Tento nedostatek se stal impulsem pro jiný návrh podoby finální montážní linky a na základě rozboru a jednotlivých kroků balancování, které byly popsány, můžeme již v tabulce 6-7 vidět navržená sloučená pracoviště s časem montáže celé jejich skupiny. Názorněji návrh vysvětluje grafická podoba na obrázku 6-22, kde vidíme stav po balancování finální linky a po sloučení pracovišť. To samozřejmě musí respektovat posloupnost montáže monopostu. V grafu (obrázek 6-22) jednotlivé sloupečky charakterizují již sloučená pracoviště do skupin s časovými údaji. Vyznačena je opět červeně hranice taktu 90 minut, ke které se na rozdíl od stavu předešlého více přibližujeme, a u žádných ze skupin se nenachází výrazné odchylky.



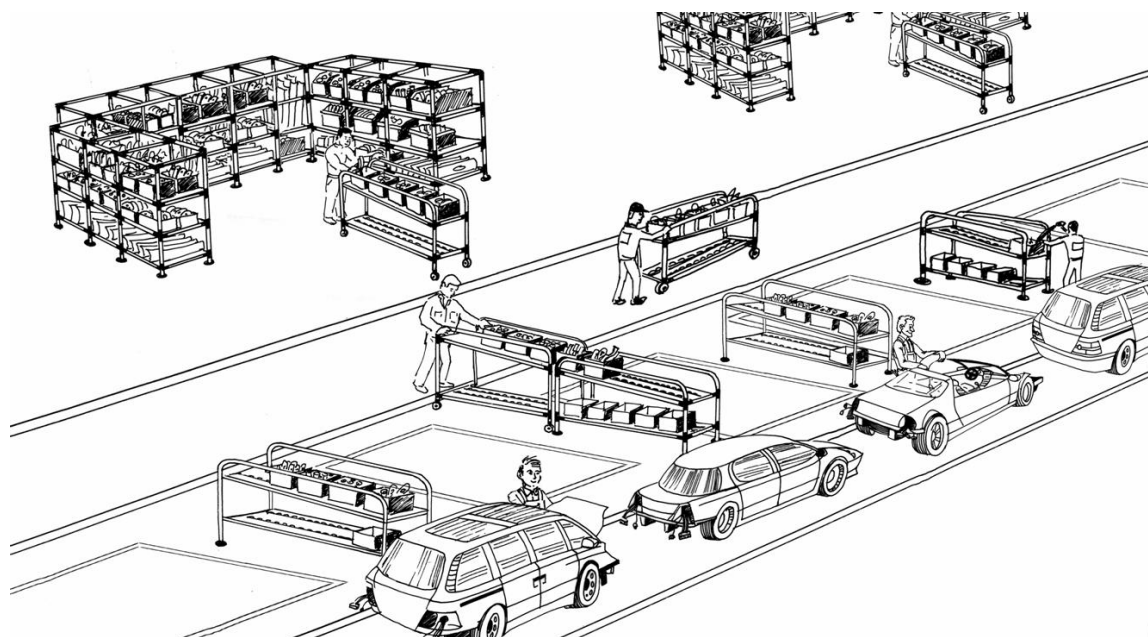
Obrázek 6-22: Stav finální montáže po balancování

Na následujícím obrázku 6-23 již vidíme komplexní pohled na sloučená pracoviště podsystémů, celkem 6 montážních skupin pro finální linku monopostu.



Obrázek 6-23: Finální montážní linka

Finální linka monopostu navazuje na navržené mezisklady materiálu, tzv. shopstocky. Jedná se o tzv. logistiku vedle linky. Materiál je dovážen pracovníkem, který v přesně určeném výrobním mixu umísťuje materiál z tzv. „shopstocku“ do skluzů vedle linky. Inspirací pro tento navržený systém byl interní materiál společnosti Trilogiq, která se zabývá návrhem, stavbou a montáží modulárních skladovacích a regálových řešení. Na následním obrázku 6-24 je vidět inspirativní řešení. [20]



Obrázek 6-24: Shopstocks [20]

V návrhu layoutu jsou tyto shopstocky umístěny mezi pracovišti podsystémů a finální linkou. Jsou do nich umísťovány kompletní díly vycházející z montážních pracovišť a také díly

nakupované či vyrobené, které jsou součástí finální linky a tedy nevstupují do montáží podsystémů. Manipulace mezi shopstocky a finální linkou můžeme probíhat jak pomocí vysokozdvížných vozíků pro těžké podskupiny, či pojízdnými regály pro menší položky. Položky jsou umísťovány k montážní lince, kde pracovník je odebírá pro kompletaci. V navrženém layoutu mají shopstocks podobu, která je znázorněna na obrázku 6-25.



Obrázek 6-25: Zásobování finální linky – „Shopstocks“

6.3.11 Výsledný 3D model layoutu

V předešlých podkapitolách byly popsány jednotlivé části kompletního layoutu. Vedle popisu bylo také pracoviště znázorněno na obrázku, který byl přímo exportován z programu visTABLE pomocí funkce screenshot. Dostáváme se již k ukázce kompletního layoutu ve 3D zobrazení. Vzhledem k velikosti navrženého layoutu byl pohled rozdělen na dvě části. První část (obrázek 6-26) se týká výrobních částí haly, druhá část se váže k montážní oblasti situované do druhé části haly.



Obrázek 6-26: Pohled na výrobní část haly

Další obrázek 6-27 se týká montážní části haly.



Obrázek 6-27: Montážní část haly

Přehledným výstupem může být 3D letecký pohled na kompletní výrobně – montážní halu. Tento pohled bude součástí přílohy č. 2.

6.4 Materiálové toky

Pro navrhnuté prostorové uspořádání výrobního systému jsou také zpracovány jednotlivé materiálové toky. Materiálový tok spojuje jednotlivé výrobní operace. Jeho součástí nejsou jen výrobní technologie, ale také části netechnologického charakteru. V našem navrhnutém layoutu souvisí materiálový tok s těmito částmi:

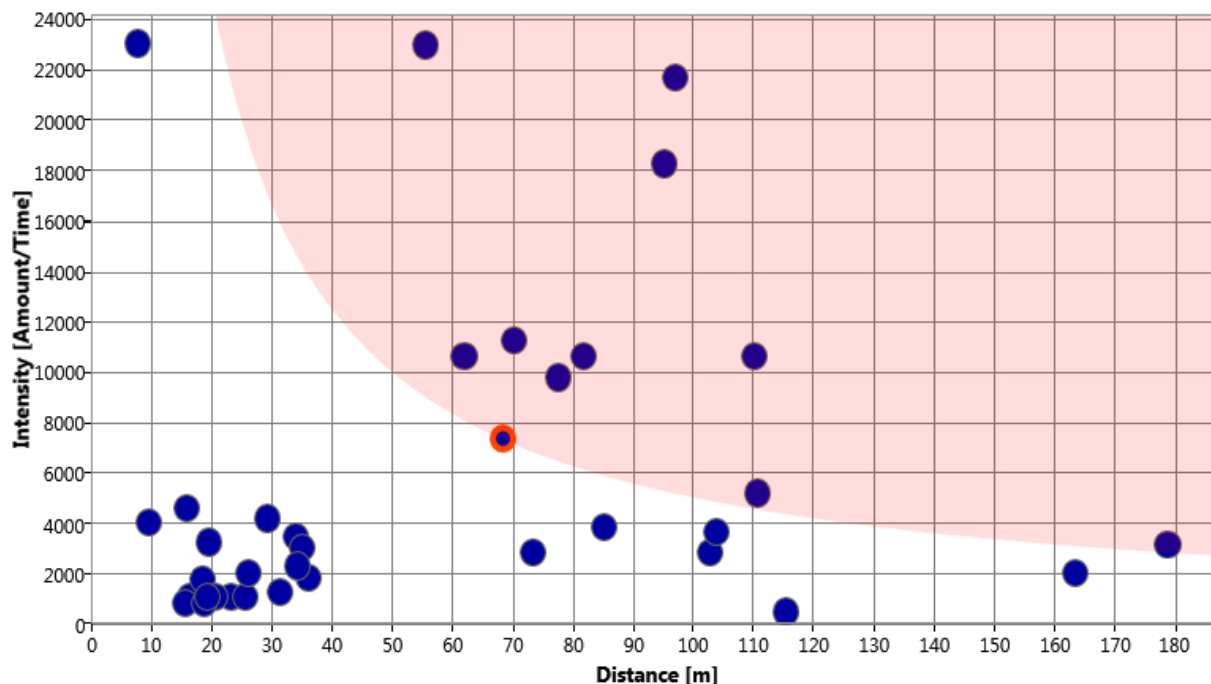
- vstupní sklad,
- dělení materiálu (rozděleno na řezání laserem – Trulaser 3030 a řezání vodní paprskem PTV Precise Jet),
- obrobna,
- laminovna,
- svařovna,
- lakovna,
- supermarket – regály a gitterboxy,
- montážní pracoviště podsystémů,
- „shopstocky“,
- finální montážní linka,
- zkoušky monopostu,
- expedice.

Pro zpracování materiálového toku jsou nutná určitá vstupní data. Tyto data souvisí s parametry, které byly již součástí kapacitních výpočtů a byly také použity pro zpracování materiálového toku. Známe výrobní technologie pro jednotlivé položky všech podsystémů a jejich posloupnost výroby v rámci layoutu, vedle toho je také důležitý jejich počet. Nutné je podotknout, že vzhledem k velkému počtu těchto položek a velikosti jednotlivých výrobních částí by byl materiálový tok značně komplikovaný, proto došlo v rozbořech vstupních parametrů k určitému zjednodušení, kdy byly uvažovány zejména sdružené výrobní skupiny, nicméně posloupnost výroby byla dodržena.

Po zpracování materiálových toků dle vstupních dat a jejich zakomponování do layoutu můžeme vidět Sankeyův diagram ve zjednodušené formě pro jednotlivé sdružené výrobní skupiny. Jedná se grafickou metodu znázorňující materiálové toky, které procházejí jednotlivými hlavními zmíněnými částmi.

Sankeyův diagram ve zjednodušené formě vzhledem k velikosti bude součástí přílohy č. 3, která je ve formátu A3.

Další analýzou, která byla také vysvětlena v teoretické části, je I-D diagram. Jedná se o graf závislosti dvou parametrů, intenzity přepravy (množství přepravovaného materiálu na dané pracoviště za jednotku času) a vzdálenosti mezi počátečním a koncovým bodem.



Obrázek 6-28: I-D diagram pro materiálové toky

Každý pohyb materiálu má určitou vzdálenost a intenzitu a je tedy znázorněn v grafu bodem. Pro náš navržený layout je I-D diagram znázorněn na obrázku 6-28. Vidíme velký výskyt materiálových toků s nízkou intenzitou a krátkou vzdáleností, jedná se zejména o toky týkající se montážních částí. Naopak toky s vyšší intenzitou a vzdáleností se týkají zejména částí výrobní haly, konkrétně obrobny a s ní souvisejících částí.

6.5 Zhodnocení navrhovaného řešení

V této podkapitole se zaměříme na hodnocení navrhovaného řešení prostorového uspořádání výrobního systému. Cílem bylo navrhnout nejvhodnější uspořádání výrobní a montážní haly pro výrobu monopostu Formula SAE. Jedná se o návrh pro nový výrobní program. Výchozím

krokem byl sběr dat a informací o hlavním objektu řešení, pro který je layout navrhován. Jednotlivé vstupní parametry byly podrobeny kapacitním propočtům a na jejich základě jsme byli již schopni určit hrubou strukturu prostorového uspořádání. To bylo důležitým krokem, neboť byly navrženy čtyři základní koncepty uspořádání.

- 1) Koncept č. 1 – technologické uspořádání výroby a montážní buňky.
- 2) Koncept č. 2 – technologické uspořádání výroby a oddělená montáž.
- 3) Koncept č. 3 – předmětné uspořádání výroby a montáží, oddělená finální montáž.
- 4) Koncept č. 4 – technologické uspořádání a linková finální montáž.

Pro tyto koncepty byla zpracována rozhodovací analýza, při které jsme hodnotili užitnost jednotlivých konceptů s vlivem určitých kritérií. Na základě této analýzy pro výběr varianty byl vybrán jako nejvhodnější koncept č. 4 – technologické uspořádání a linková finální montáž.

Tento koncept se výslednou užitností nejvíce přibližuje stavu ideálního layoutu, a proto se stal předmětem detailního prostorového návrhu layoutu. Výrobní části jsou technologického charakteru, jedná se o tyto technologie:

- dělení materiálu,
- obrobna,
- laminovna,
- svařovna,
- lakovna.

Vedle výrobních oblastí jsou také předmětem návrhu montážní části, které jsou založeny na předmětném uspořádání. Vedle návrhu uspořádání montážních pracovišť bylo provedeno také balancování z hlediska využitelnosti pracoviště a dospěli jsme k závěru, že pro tento výrobní program není vhodné, aby pro každý podsystém bylo navrženo samostatné pracoviště. Proto díky balancování bylo navrženo, že pracoviště podsystémů budou sloučena, aby dosahovaly již dostatečného procentuálního využití. Další oblastí, která je do návrhu layoutu zakomponována, je finální linka monopostu. Ta byla také podrobena určitým rozborům a po stanovení taktu linky bylo provedeno balancování. Z příložených grafů jsme si mohli všimnout, že po balancování a sloučení operací dle technologické posloupnosti jsme docílili zlepšení a přibližujeme se taktu 90 minut pro 6 stanovišť. Zde jsou pracoviště sloučena dle postupu, nicméně nemusíme brát zde již takový ohled na určitou technologickou podobnost jako u pracovišť podsystémů, neboť zde se jedná jen o finální kompletaci do monopostu.

Součástí návrhu montážních oblastí jsou také dvě části týkající se zásobování vyrobených dílů, nakupovaných položek, či ostatních položek vstupujících jednak do pracovišť podsystémů, a také do finální montáže. Jedná se jednak o supermarket a také o tzv. shopstocky pro finální linku. V návrhu layoutu jsou také zařazeny ostatní části, jako například vstupní sklad, administrativní prostory, zkoušky monopostu, expedice či prototyping. Všechny tyto oblasti jsou obsaženy v návrhu layoutu, který byl zpracován v softwaru visTABLE a výstupem je 2D layout s možností 3D zobrazení. Zpracován je také materiálový tok, kde výstupem je Sankeyův diagram, který je součástí přílohy č. 3.

Výhody navrženého řešení:

- zvolen nejmenší počet strojů a zařízení dle kapacitních výpočtů na základě poměru teoretického a skutečného počtu strojů, dochází ke snížení investičních nákladů,

- sloučená pracoviště pro montáž podsystémů s docíleným dostatečným využitím pracovišť dle technologické podobnosti,
- balancování finální linky, kde proběhlo sloučení do šesti stanovišť se snahou docílit vyrovnaného taktu,
- rytmičnost jednotlivých operací pro finální montáž,
- určená přesná kapacita odváděných montážních celků za určitou časovou jednotku,
- návrh supermarketu pro zásobování pracovišť podsystémů,
- zavedení inspirace na základě tzv. „shopstocků“ jako mezičlánku mezi montáží podsystémů a finální montážní linkou, díky kterému bychom měli získat větší prostory na lince, snížení některých druhů plýtvání, především z dopravy a nadměrných zásob.

V souhrnu lze připomenout, že v praktické části pro návrh layoutu byly zpracovány tyto klíčové části:

- rozbor vstupních dat a kapacitní výpočty (součást přílohy č. 4),
- návrh konceptů a výběr nejvhodnější varianty,
- detailní prostorové uspořádání a tvorba 3D modelu výrobně – montážní haly,
- balancování a návrh montáže podsystémů,
- balancování a návrh finální montáže monopostu,
- zpracované materiálové toky (součást přílohy č. 3),
- 2D layout (součást přílohy č. 1),
- 3D model layoutu (součást přílohy č. 2).

Návrh detailního prostorového uspořádání nebyl hodnocen dle ekonomického charakteru. Ekonomické zhodnocení výrobního layoutu vychází z ekonomického zhodnocení všech procesů vyskytujících se v daném výrobním systému. Musí být definovány náklady na jednotlivé procesy, tedy jak na technologické (náklady spojené přímo s výrobou, jsou dány výrobními procesy, technologií výroby, použitými výrobními stroji a jejich parametry), tak i na netechnologické procesy (manipulační náklady, náklady na prostory layoutu, apod.). Náklady by se daly spočítat například dle materiálového toku. Základními vstupními daty by musely být vedle výrobního postupu také sazby jednotlivých pracovišť, přepravní prostředky, apod. Tyto data nebyla v rámci zpracování praktické části diplomové práce k dispozici, a proto ekonomické hodnocení není součástí.

Závěr

Prostorové uspořádání výrobního systému je poměrně širokou oblastí a její vliv na funkčnost výrobního systému je značný. Jednotlivé podniky by se měly touto problematikou zabývat a hledat vhodnou variantu uspořádání, neboť dobře navržený layout výrobního systému přináší řadu výhod ve formě minimalizovaných nákladů na manipulaci s materiálem, efektivního využití veškerých prostor layoutu, redukováných časů výrobního cyklu, eliminování nadbytečných pohybů, snazšího umístění materiálu a mnoha dalších.

Pro návrh prostorového uspořádání kombinujeme dva základní přístupy projektování, jednak klasický a také digitální moderní přístup se softwarovou podporou. Právě s těmito přístupy souvisí také zpracování této diplomové práce. Jejím cílem je návrh prostorového uspořádání výrobně – montážní haly pro objekt řešení, kterým je monopost Formula SAE. Na základě teoretického zpracování této široké problematiky bylo provedeno seznámení s jednotlivými metodickými kroky postupu, které byly později aplikovány v praktické části práce. Klasický přístup byl kombinován se softwarovou podporou programu visTABLE, který je vhodným prvkem pro zpracování layoutu. Do výsledného layoutu jsou zakomponovány výrobní, montážní i ostatní části. Jedním z výstupů diplomové práce je tedy kompletní 2D layout, který je součástí přílohy č. 2.

Tento návrh výrobně – montážní haly se také stává případným potenciálem pro kombinaci s jinými oblastmi, které s prostorovým uspořádáním přímo souvisí a týkají se výrobních systémů. Právě jedním z prvků systémů jsou pracovníci, u nich lze hodnotit například nejrůznější ergonomické aspekty. Další širokou oblastí je například logistika, na základě které můžeme řešit návrh skladového systému, zásobování, apod.

Výsledný návrh layoutu pro výrobu a montáž monopostu Formula SAE je zejména využit týmem UWB Racing Team Pilsen, neboť layout bude představen na mezinárodní soutěži studentských formulí, kde je součástí jedné z klíčových disciplín a musí respektovat určitá kritéria zadání. Tento fakt byl hlavním impulsem pro zpracování praktické části diplomové práce.

Seznam použité literatury

- [1] ZELENKA, A., KRÁL, M. *Projektování výrobních systémů*. 1. vyd.. Praha: 1995. ISBN 80-10-01302-2.
- [2] KOŠTURIÁK, J. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000, 397 s. ISBN 80-7100-553-3.
- [3] FIALA, Petr. *Modelování a analýza produkčních systémů*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN 80-86419-19-3.
- [4] KRÁL, M., VIGNER, M., ZELENKA, A. *Metodika projektování výrobních procesů*, SNTL, Praha, 1984, ISBN 04-246-84.
- [5] ŌNO, Taiichi. *Toyota production system: beyond large-scale production*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, c1988. ISBN 0915299143.
- [6] HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty*. I. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 197 s. ISBN 80-214-2871-6.
- [7] 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.
- [8] *Digital Factory: Tvorba prostorového uspořádání* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni/tvorba-prostoroveho-usporadani>.
- [9] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006, 237 s. Management studium. ISBN 80-86851-38-9.
- [10] KOPEČEK, P., MALAGA, M. *Plánování a řízení výroby a DP*. 1. vyd. Plzeň : SmartMotion, 2012, ISBN: 978-80-87539-14-9
- [11] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: teorie a praxe*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 315 s. Business books (CP Books). ISBN 80-251-0573-3.
- [12] Němec, J.: *Projektování manipulace s materiálem*, Plzeň: ZČU, 1998
- [13] *Sankey Diagrams: Swiss Biomass Sankey Diagrams* [online]. 2009 [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.sankey-diagrams.com/category/publications/>
- [14] KOVÁČOVÁ, D., ŠTEFÁNIK, A., KRAJČOVIČ, M. 2008. *Tvorba 3D layout-u v prostředí digitálního podniku*. In *Metody i techniki zarządzania : Rocznik II*. Bielsko-Biala : Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2008. ISBN 978-83-60714-32-4. s. 127-132.
- [15] FURMANN, Radovan. *Návrh algoritmu pre tvorbu výrobných dispozií vo virtuálnom prostredí*. Žilina, 2007. Dizertační práce. Žilinská univerzita.
- [16] GABAJ, Ivan. *Projektovanie výrobných systémov s využitím rozšírenej reality*. Žilina, 2011. Dizertační práce. Žilinská univerzita.
- [17] 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
- [18] *VisTABLE: visTABLE@touch Software* [online]. 2016 [cit. 2016-03-025]. Dostupné z: <http://www.vistable.de/vistabletouch-software>
- [19] ČSN 26 9010. *Manipulace s materiálem: Šířky a výšky cest a uliček*. Praha: Institut pro technickou normalizaci, 1993.

[20] *Modulární a stavebnicová regálová řešení*. Trilogiq CZ s.r.o. Propagační materiál, 2006

Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Výrobní systém a jeho podsystémy [2]	13
Obrázek 1-2: Schéma výrobního procesu.....	14
Obrázek 1-3: Systémový přístup při návrhu výrobního systému [7].....	21
Obrázek 2-1: Layout - 2D zobrazení	23
Obrázek 2-2: Layout - 3D zobrazení	23
Obrázek 2-3: Layout - 3D zobrazení leteckého pohledu.....	24
Obrázek 2-4: Schéma metodického postupu návrhu	25
Obrázek 2-5: Volné uspořádání výroby [10].....	31
Obrázek 2-6: Technologické uspořádání výroby [6].....	32
Obrázek 2-7: Tok materiálu technologickým uspořádáním výroby [10]	32
Obrázek 2-8: Technologické uspořádání výroby - 3D layout	33
Obrázek 2-9: Předmětné uspořádání výroby [6].....	34
Obrázek 2-10: Tok materiálu u předmětného uspořádání výroby [10]	35
Obrázek 2-11: Předmětné uspořádání výroby - 3D layout	35
Obrázek 2-12: Buňkové uspořádání výroby [3]	36
Obrázek 2-13: Buňkové uspořádání výroby - 3D layout.....	36
Obrázek 2-14: Modulární uspořádání [6]	37
Obrázek 2-15: Kombinované technologické a předmětné uspořádání [6]	38
Obrázek 3-1: Sankeyův diagram [13].....	45
Obrázek 3-2: I-D diagram materiálových toků [7].....	46
Obrázek 4-1: Postup digitálního projektování [16]	49
Obrázek 4-2: 3D zobrazení pracoviště pomocí tvorby v nástroji visTABLE [18].....	52
Obrázek 4-3: Zobrazení pracovního prostředí v nástroji visTABLE [18].....	53
Obrázek 4-4: Prostorové uspořádání pomocí nástroje visTABLE [7]	53
Obrázek 4-5: Dělení strojů [6].....	55
Obrázek 4-6: Rozdělení pracovníků [6]	55
Obrázek 4-7: Rozdělení ploch [6]	56
Obrázek 5-1: Sraz účastníků na závodě [19].....	57
Obrázek 5-2: Formula SAE na závodním okruhu [19].....	58
Obrázek 5-3: Formula SAE od UWB Racing Team Pilsen.....	59
Obrázek 5-4: Schematické rozdělení monopostu dle systémů	60
Obrázek 6-1: Koncept 1 - technologické uspořádání a montážní buňky.....	79
Obrázek 6-2: Koncept 2 - technologické uspořádání a oddělená montáž	81
Obrázek 6-3: Koncept 3 – předmětné uspořádání výroby a montáží	83
Obrázek 6-4: Koncept 4 - technologické uspořádání a pohyblivá linková montáž.....	85
Obrázek 6-5: Hrubá struktura jednotlivých ploch layoutu	91
Obrázek 6-6: Obousměrná manipulační ulička [19].....	92
Obrázek 6-7: Modely strojů pro dělení materiálu	95
Obrázek 6-8: Modely strojů pro obrobnu	96
Obrázek 6-9: Modely pro svařovnu.....	97
Obrázek 6-10: Modely laminovna.....	97
Obrázek 6-11: Vstupní sklad - celkový pohled	99
Obrázek 6-12: Administrativa - vedoucí výroby	99
Obrázek 6-13: Dělení materiálu - komplexní pohled	101
Obrázek 6-14: Obrobna – kompletní pracoviště	103
Obrázek 6-15: Laminovna - kompletní pracoviště.....	104

Obrázek 6-16: Svařovací pracoviště pro podsystém rámu	105
Obrázek 6-17: Lakovací boxy s manipulační plochou	106
Obrázek 6-18: Využití pracovišť montáží podsystémů po sloučení.....	108
Obrázek 6-19: Pracoviště montáže podsystémů.....	109
Obrázek 6-20: Supermarket před montáží podsystémů.....	109
Obrázek 6-21: Stav finální montáže před balancováním.....	111
Obrázek 6-22: Stav finální montáže po balancování.....	112
Obrázek 6-23: Finální montážní linka	113
Obrázek 6-24: Shopstocks [20]	113
Obrázek 6-25: Zásobování finální linky – „Shopstocks“	114
Obrázek 6-26: Pohled na výrobní část haly.....	114
Obrázek 6-27: Montážní část haly.....	115
Obrázek 6-28: I-D diagram pro materiálové toky	116

Seznam tabulek

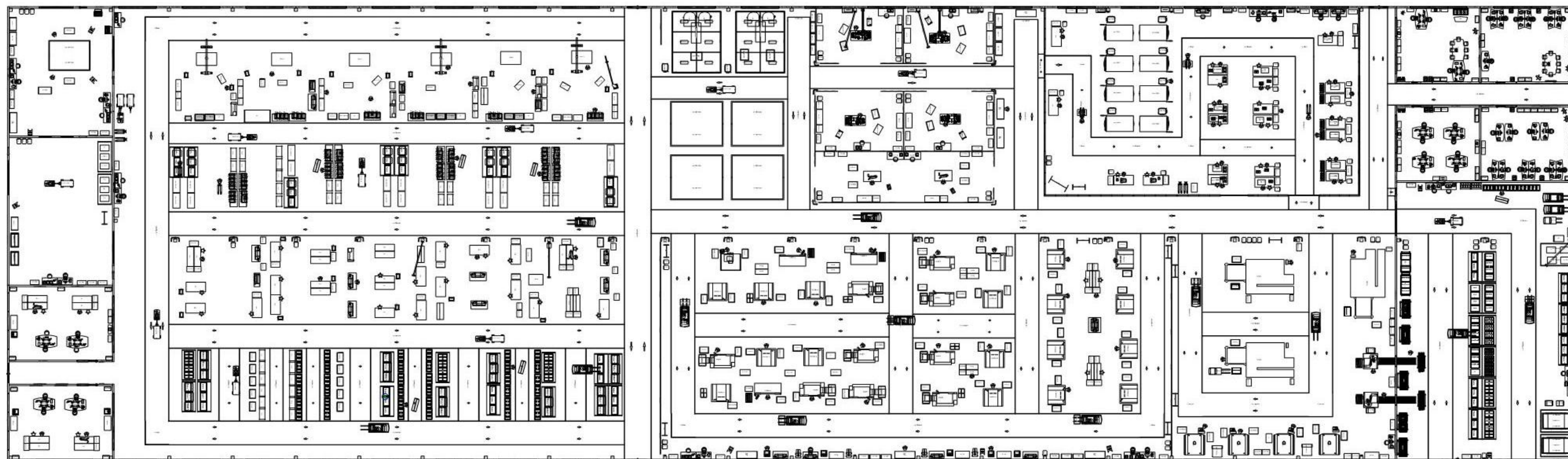
Tabulka 5-1: Vstupní parametry motorového systému	62
Tabulka 5-2: Vstupní parametry motorového systému - časové údaje	63
Tabulka 5-3: Výpočet časového fondu dělníka	65
Tabulka 5-4: Časový fond stroje	66
Tabulka 5-5: Časové údaje položek motorového systému	69
Tabulka 5-6: Hodnoty parametrů pro určení počtu strojů	70
Tabulka 5-7: Matice systém - výrobní zařízení, část 1	70
Tabulka 5-8: Matice systém - výrobní zařízení, část 2.....	71
Tabulka 5-9: Skutečný počet strojů	71
Tabulka 5-10: Kapacitní propočty pracovníků.....	73
Tabulka 5-11: Montáž pohonného systému.....	74
Tabulka 5-12: Dispoziční řešení - jednotlivé plochy.....	76
Tabulka 6-1: Párové porovnání kritérií	87
Tabulka 6-2: Váhy jednotlivých kritérií	87
Tabulka 6-3: Bodové ohodnocení kritérií a variant.....	89
Tabulka 6-4: Vyhodnocení variant rozhodovací analýzy.....	89
Tabulka 6-5: Parametry montáže podsystémů	107
Tabulka 6-6: Parametry sloučených podsystémů	108
Tabulka 6-7: Parametry pro finální montáž.....	111

Seznam příloh

- Příloha č. 1: 2D layout
- Příloha č. 2: 3D letecký pohled na layout
- Příloha č. 3: Sankeyův diagram
- Příloha č. 4: Vstupní parametry a kapacitní výpočty

PŘÍLOHA č. 1

2D layout



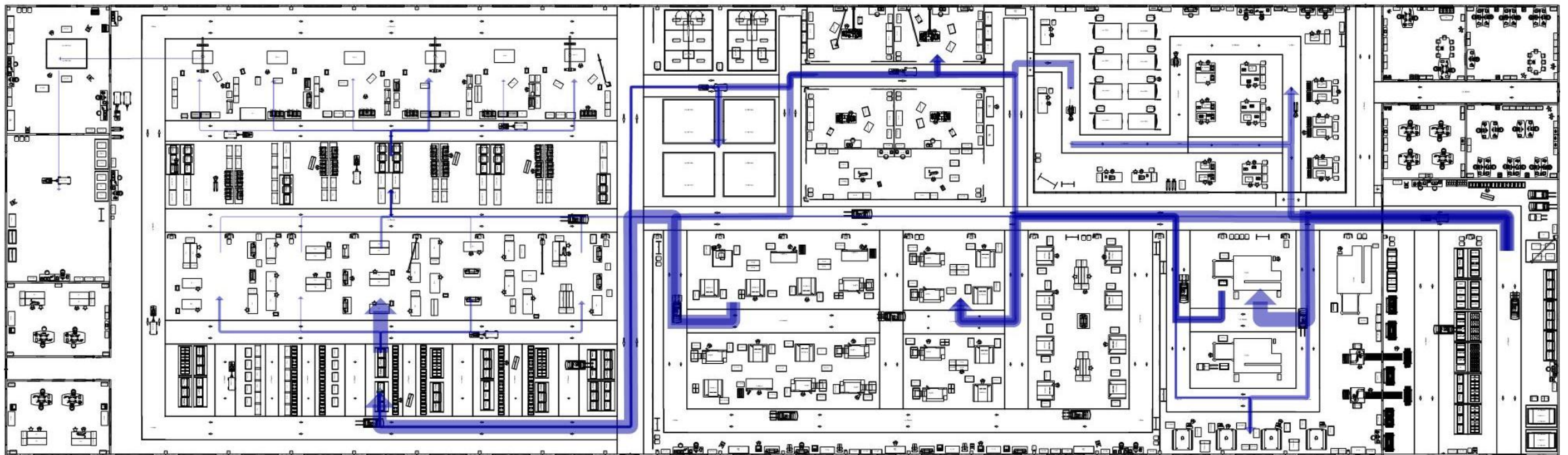
PŘÍLOHA č. 2

3D letecký pohled na layout



PŘÍLOHA č. 3

Sankeyův diagram



PŘÍLOHA č. 4

Vstupní parametry a kapacitní výpočty

Elektronická příloha – MS Excel (součástí přiloženého CD)

Na CD-ROMU jsou nahrány jednotlivé vstupní parametry a kapacitní výpočty pro všechny podsystémy monopostu Formula SAE.

