

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**NÁVRH MONTÁŽNÍ  
LINKY**

**2020**

**JIŘÍ  
FALC**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Falc** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **473579**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh montážní linky**

Název bakalářské práce anglicky:

**Assembly line design**

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše výrobního systému
2. Rešerše teorie montáže a ergonomie práce
3. Analýza současného stavu montážní linky
4. Návrh nového konceptu montážní linky

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Kellner, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_



Ing. Tomáš Kellner  
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



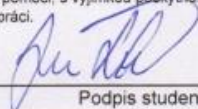
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

23.6.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh montážní linky“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kellnera a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne .....

.....

Podpis

---

## **Poděkování**

Tímto děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Tomáši Kellnerovi za odborné vedení, vstřícný přístup, cenné rady a veškerý čas, který mi věnoval. Dále děkuji společnosti SOPO, s.r.o., za vstřícnost, ochotu a poskytnuté informace.

---

## Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem montážní linky s použitím koncepce One Piece Flow ve společnosti SOPO, s.r.o. Je zde představena problematika výrobního systému, jeho automatizace a optimalizace pomocí štíhlé výroby. V práci je také popsána teorie montáže a ergonomie montážní linky. Byla provedena analýza současné montážní linky a na základě jejích výsledků byla pomocí principů One Piece Flow navržena nová, optimalizovaná montážní linka. Tato nová montážní linka zabezpečí lepší prostorové využití, zkrácení průběžné doby výroby, zvětšení flexibility výroby a zlepšení ergonomie práce.

**Klíčová slova:** Montážní linka; Optimalizace procesů; One Piece Flow

## Annotation

The subject of this bachelor thesis is design of an assembly line with implementation of One Piece Flow in company SOPO, Ltd. Topics of production systems are discussed, including its automation and optimization by using Lean production principles. In this bachelor thesis the theory of assembly and ergonomics of assembly line is described. The analysis of current assembly line was performed and based on its results new optimized assembly line was designed by using principles of One Piece Flow. New assembly line will provide better spatial use, reduction of manufacturing lead time, increase of production flexibility and better ergonomics of work.

**Keywords:** Assembly line; Process optimization; One Piece Flow

---

## Obsah

Čestné prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace .....	5
1 Úvod .....	8
2 Výrobní systém.....	9
2.1 Popis výrobního systému .....	9
2.2 Dělení výrobního procesu .....	10
2.3 Členění výrobního postupu .....	11
2.4 Stanovení počtu a pořadí operací .....	13
2.5 Prostorové uspořádání pracovišť .....	13
2.6 Automatizovaný výrobní systém.....	18
2.7 Optimalizace pomocí Lean production .....	22
2.8 Teorie montáže .....	30
2.9 Třídění spotřeby času .....	35
3 Ergonomie montážní linky .....	41
3.1 Ergonomie .....	41
3.2 Legislativa v ergonomii.....	42
3.3 Základní pojmy .....	43
3.4 Ergonomie pracoviště .....	43
4 Analýza současného stavu .....	51
4.1 Společnost SOPO s.r.o. ....	51
4.2 Proces montáže statoru .....	53
4.3 Současný layout .....	58
4.4 Shrnutí současného stavu .....	59
5 Návrh montážní linky s použitím One Piece Flow .....	62

---

5.1	Specifikace nové montážní linky One Piece Flow .....	62
5.2	Návrh taktu linky v závislosti na počtu pracovníků .....	63
5.3	Návrh uspořádání linky .....	67
5.4	Finální návrh linky .....	68
5.5	Zhodnocení návrhu linky .....	77
6	Závěr .....	78
7	Literatura .....	79
	Seznam obrázků .....	82
	Seznam tabulek .....	84
	Seznam použitého software .....	84

## 1 Úvod

Téma bakalářské práce je „Návrh montážní linky“. Cílem práce je navrhnout koncept montážní linky s použitím koncepce One Piece Flow ve společnosti SOPO, s.r.o., ve výrobním středisku v Modleticích u Prahy.

První část bakalářské práce je věnována teoretické části a zabývá se základními pojmy a principy spjatými s výrobním systémem. Je zde představena koncepce štíhlé výroby, včetně jejich principů, popsána teorie montáže a problematika spotřeby času. Dále je zde rozebrána ergonomie montážní linky se zaměřením na ergonomii práce.

Ve druhé části práce je provedena analýza současného stavu, kde je nejdříve představena společnost SOPO, s.r.o., její historie a výrobní program. Dále se analýza zabývá rozbořem jednotlivých operací v procesu montáže statoru, layoutem stávající linky a hlavními omezujícími faktory, které je nutné pro správné fungování linky odstranit.

V závěrečné části práce jsou nejdříve představeny návrhy nové montážní linky ze dvou hledisek. Prvním je takt linky v závislosti na počtu operátorů a druhým je topologické uspořádání linky. Z těchto návrhů je zvolena finální varianta linky, ve které je detailně popsáno celé pracoviště, pohyby a pracovní náplň operátorů a na závěr ergonomické zhodnocení návrhu a přínosy této linky.



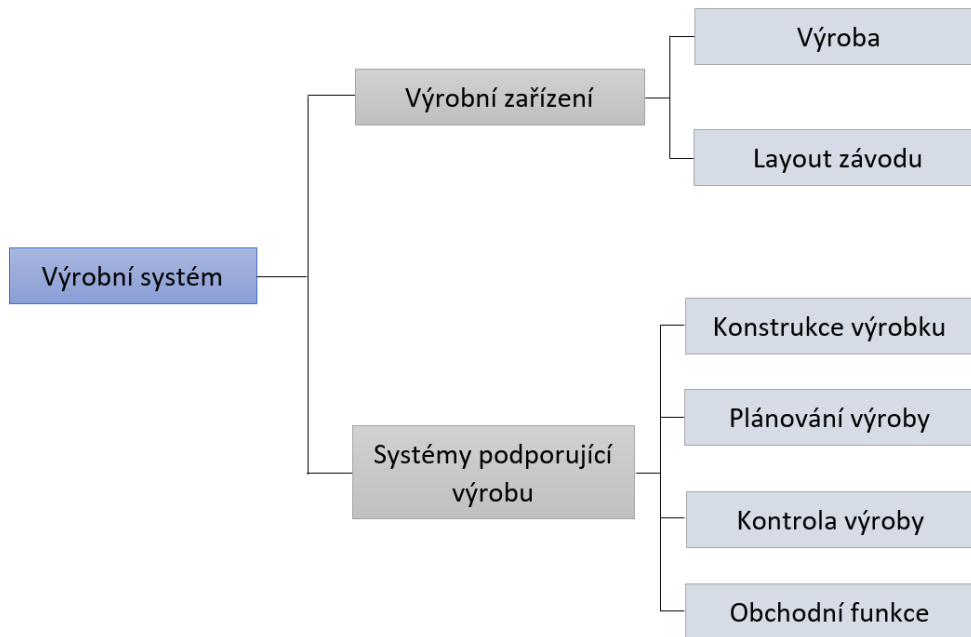
## 2 Výrobní systém

Tématem bakalářské práce je návrh montážní linky na výrobu statoru. Aby bylo možné navrhnout kvalitní montážní linku, je nutné znát základy teorie, které budou v této kapitole představeny. Nejdříve se zaměřím na charakteristiku výrobního systému, protože navrhovaná linka bude součástí poměrně specifického výrobního systému ve společnosti SOPO, s.r.o., kde se vyrábí pouze díly do elektromotorů. V další části popíši štíhlou výrobu, jelikož se principy štíhlé výroby budu v praktické části řídit. Dále budu popisovat teorii montáže, protože se nová linka bude zabývat právě montáží statoru. V závěru teoretické části popíši ergonomii montážní linky, na kterou je nutné při návrhu linky brát ohled pro zlepšení pracovních podmínek operátorů na pracovišti.

### 2.1 Popis výrobního systému

Výrobní systém zahrnuje všechny činitele, které se účastní procesu výroby tj. soubor vybavení, strojů, zaměstnanců a procesů, které realizují konkrétní výrobní proces, představující přeměnu vstupů na výstupy podle předem stanovených požadavků. Výrobní systém se skládá ze dvou hlavních částí, viz Obr. 1. [1]

1. Výrobní zařízení – Soubor budov, strojů, nástrojů, manipulačních systémů a počítačových systémů, které řídí a kontrolují výrobní procesy. Patří sem také layout závodu, který určuje rozložení strojů a zařízení ve výrobní hale.
2. Systémy podporující výrobu – Procesy, které podnik využívá k řízení výroby, řešení technických a logistických problémů, řízení materiálových toků a k zajištění dostatečné kvality výrobku dle standardů.



Obr. 1 - Složení výrobního systému [1]

## 2.2 Dělení výrobního procesu

Výrobní proces je souhrn technologických, kontrolních, manipulačních a řídicích činností, které transformují výchozí materiál vstupující do procesu na výstup změnami tvaru, rozměrů, složení a jakosti. [2]

*„Technologické projektování je kontinuální tvůrčí činnost technicko - ekonomického charakteru, která je především zaměřena na zpracování projektů: variant technologií výroby a montáže strojních součástí a dále variant technicko - organizačního uspořádání strojů a zařízení, výrobních prostředků a pracovních sil“.* [2, s. 3]

Výrobní proces lze dělit z hlediska technologického projektování:

### Ve vztahu k výrobku

- Hlavní výrobní proces – orientuje se na výrobu finálních výrobků určených k vývozu mimo podnik.
- Pomocný výrobní proces – zabývá se například výrobou speciálních nástrojů a přípravků, které nepřecházejí do finálních výrobků, ale jsou nutné k hlavní výrobě.
- Vedlejší výrobní proces – zajišťuje pro podnik všechny druhy energií a služeb (manipulace s materiálem, skladování, třískové hospodářství, expedice apod.). [2]

### Z hlediska výrobního programu

- Hlavní – základní výrobní program
- Doplňkový – pro podnik zajišťuje lepší využití kapacity prostoru a zařízení.

### Podle množství a počtu druhů výrobků

- Kusová výroba – vyrábí se široký sortiment výrobků ve velmi malých množstvích a v nepravidelných intervalech. Pro tento druh výroby se používají univerzální stroje a zařízení s vysokým stupněm flexibility a je pro ni potřeba vysoce kvalifikovaných pracovníků. Řízení kusové výroby je, ve srovnání se sériovou a hromadnou výrobou, složitější zejména z důvodu malé možnosti předpovědi požadavků zákazníka a dlouhé dodací lhůty.
- Sériová výroba – je charakterizována vyšším počtem výrobků vyráběných v dávkách. Stroje a zařízení jsou už více specializované a mohou se předmětně rozmísťovat do linek. Průběh výrobního procesu je, ve srovnání s kusovou výrobou, stabilnější, kvalifikace pracovníků nižší a produktivita práce vyšší.
- Hromadná výroba – vyrábí se jeden druh výrobku ve velkém množství. Stroje jsou specializované pro určitý produkt, disponují vysokou výkonností a provádí jednoduché operace. Výroba je zpravidla vysoce mechanizovaná a automatizovaná a průběh výrobního procesu se pravidelně opakuje. Typická je nízká kvalifikace operátorů a vysoká produktivita. [3] [4] [5]

## 2.3 Členění výrobního postupu

Výrobní postup, který se skládá pouze ze sledu technologií (obrábění, tepelné zpracování apod.), které jsou pro změny během výrobního procesu nutné, se nazývá technologickým postupem. Naopak předpis, zahrnující pouze činnosti pracovníka, označujeme pracovním postupem. Souhrn technologického a pracovního postupu tvoří výrobní postup. [2]

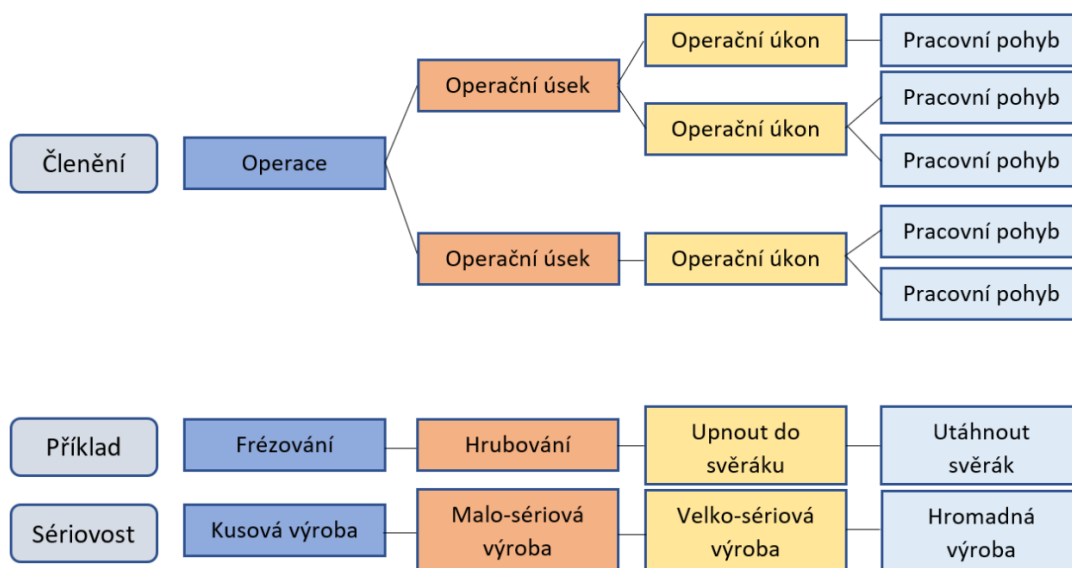
Vstupní informace pro tvorbu výrobního postupu jsou čerpány zejména z konstrukční a technologické dokumentace. Jako konstrukční dokumentaci lze považovat všechny dokumenty potřebné k výrobě produktu. Jedná se o výkresy jednotlivých součástí vstupujících do sestavy, která má vlastní výkres. Sestava také musí obsahovat kusovník, kde je vypsán seznam jednotlivých součástí, z kterých se sestava skládá.

Technologická dokumentace obsahuje technologické postupy, návodky, hospodářské normy a plánovací dokumentaci, která udává roční výrobní plány a velikost výrobních dávek. [2]

Výrobní postup lze členit podle použité technologie či pracovní činnosti na jednotlivé kroky, které mohou být strojní, strojněruční, ruční, kontrolní, montážní apod. [2]

Operací nazýváme část výrobního postupu, která je charakterizována stejným pracovištěm a stejným předmětem práce vykonávaným zpravidla jedním, nebo skupinou pracovníků. Obsahuje základní informace pro funkčnost celé výroby a schéma jejího rozdělení je vidět na Obr. 2. Operace se v závislosti na sériovosti výroby dělí na:

- Operační úseky – část operace, představující ukončený technologický proces prováděný za stejných pracovních podmínek.
- Operační úkony – ucelené jednoduché pracovní činnosti stejného charakteru (upnutí do sklíčidla, uvedení stroje do činnosti apod.).
- Pracovní pohyby – nejmenší časově měřitelná část operačního úseku, např. ustavit obrobek. [2]



Obr. 2 - Členění výrobního postupu [2]

Výrobní postupy mohou být vypracovávány v odlišné podobě v závislosti na sériovosti výroby, stupni mechanizace a automatizace výrobního procesu. Postupy pro malosériovou a kusovou výrobu jsou většinou jednoduché se stručnými informacemi, protože se předpokládá dostatečná kvalifikace pracovníka pro případné doplnění informací a ani z ekonomického hlediska by se firmě tvorba detailních návodů pro kusovou výrobu nevyplatila. [6]

Čím větší je sériovost výroby, tím jsou zpravidla výrobní postupy detailnější s větším důrazem na jednotlivé činnosti. Pro velkosériovou a hromadnou výrobu se postup zpracovává do operačních návodek, kde jsou jednotlivé operace rozepsané do úseků, úkonů a pohybů. [6]

## 2.4 Stanovení počtu a pořadí operací

Pro správnou funkci výrobního postupu, který definuje postup výroby od polotovaru až po hotový výrobek, musí postup obsahovat veškeré informace a mít vhodně stanovený počet a pořadí operací. Počet operací je určen především:

- Typem výrobku a jeho tvarovou složitostí
- Požadavky na drsnost, tvarovou a rozměrovou přesnost
- Objemem výroby
- Kvalitou materiálu a druhem polotovaru

Pořadí jednotlivých operací zajišťuje nejen kvalitu výroby (tvarovou a rozměrovou přesnost, drsnost ploch, funkční vazby), ale také umožňuje snižovat spotřebu materiálu, energie, průběžnou dobu výroby apod.

Posloupnost operací je určena:

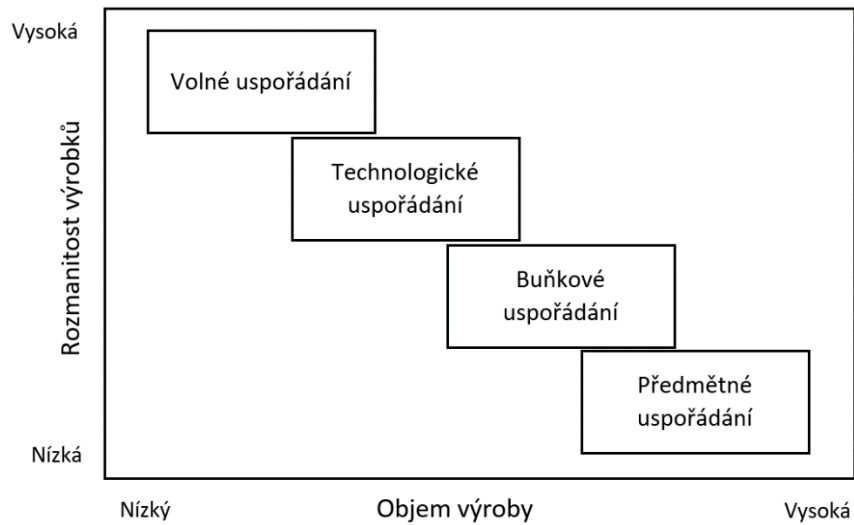
- Tvarem součástí
- Materiálovou náročností
- Požadavky montáže na funkční vazby součástí pro sestavování v montážní celek

Tyto základní podmínky pro stanovení počtu a sledu operací určují technické a technologické návaznosti pro vytvoření typového sledu výroby. [7]

## 2.5 Prostorové uspořádání pracovišť

Při návrhu prostorové struktury výrobního systému se zabýváme technologicko-organizačním řešením v omezeném prostoru, s ohledem na typ vyráběného produktu a objemu výroby (viz Obr. 3). Pro volbu typu prostorové struktury je rozhodující:

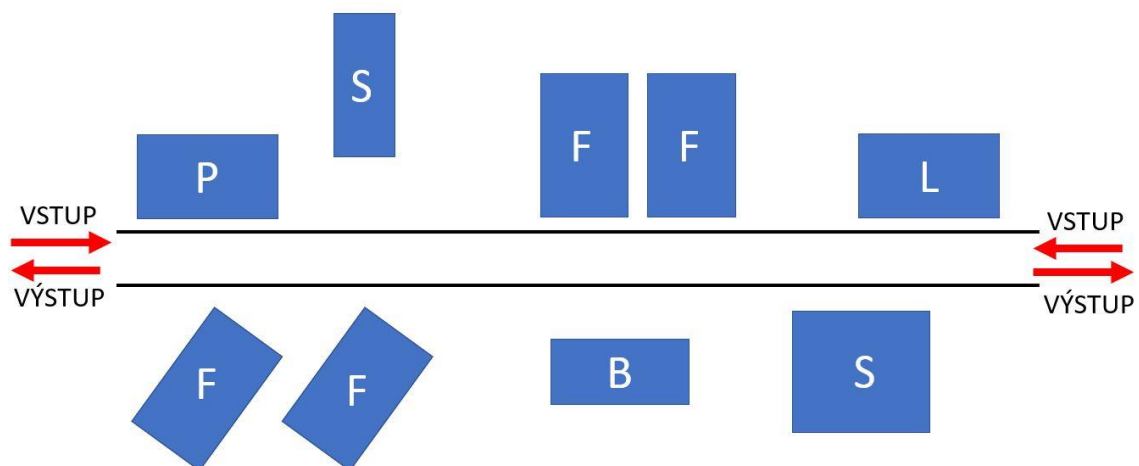
- Výrobní program, sériovost a opakovatelnost výroby, rozsah sortimentu, velikost a hmotnost součástí, apod.
- Výrobní proces – podobnost vyráběných součástí a pracnost výroby
- Úroveň specializace a integrace [8]



Obr. 3 - Souvislosti uspořádání pracovišť, rozmanitosti výrobků a objemu výroby [4]

### 2.5.1 Volné uspořádání

Veškeré stroje a pracoviště v dílně jsou uspořádány náhodně. Tento typ prostorové struktury se využívá tam, kde nebylo možné před ustavením strojů určit materiálový tok, sled operací, organizační a řídicí vztahy. Tato struktura je používána hlavně v prototypových či údržbářských dílnách s kusovou výrobou, kde nevádí náhodné uspořádání strojů. Přestože se jedná o volné uspořádání, je nutné dodržovat alespoň základní výrobní a hygienická kritéria. Tento způsob rozmístění je v dnešní době zcela nevyhovující a prakticky už se nevyužívá. Schéma volného uspořádání je na Obr. 4. [5]



Obr. 4 - Volné uspořádání [5]

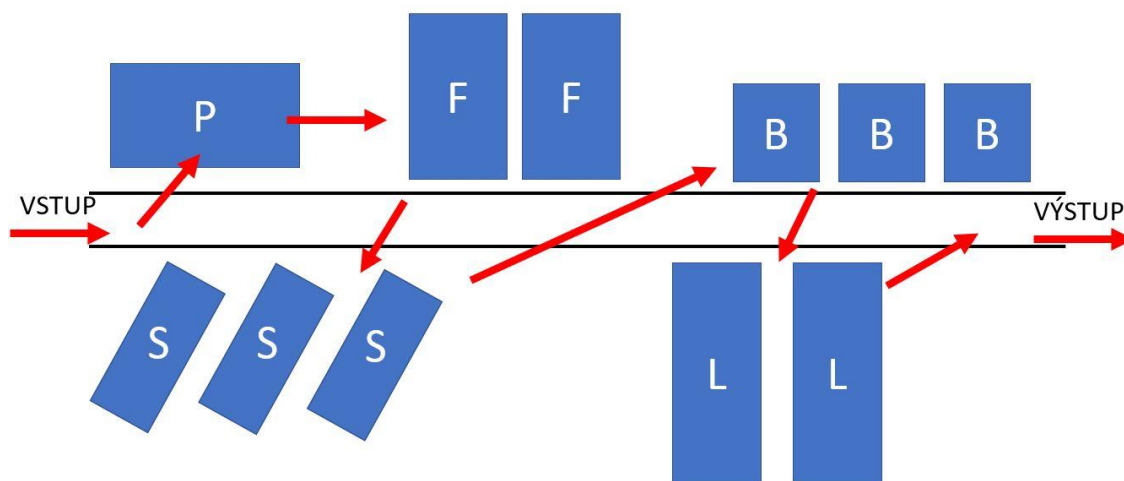
(P – pila, S – soustruh, F – frézka, B – bruska, L – Lakovna)

### 2.5.2 Technologické uspořádání

Výrobní stroje a zařízení jsou rozestavěny podle příbuznosti operací, které se na nich provádějí. Pracoviště, která konají stejné typy operací, se soustřeďují do jedné organizační jednotky (dílny) a vznikají tak samostatné dílny lakování, frézování, svařování apod. Mezioperační doprava je u technologického rozmístění složitá, proto se často využívá skladů mezi jednotlivými pracovišti. Uspořádání tohoto typu je typické zejména pro kusovou a malosériovou výrobu v těžkém a středním strojírenství. Stroje a nářadí jsou, vzhledem k širokému sortimentu výrobků, univerzální. Schéma technologického uspořádání je na Obr. 5. [4] [3] [5]

Hlavními výhodami tohoto uspořádání je vysoká výrobní flexibilita a přizpůsobení jednotlivých pracovišť, rychlá a účinná reakce na poruchy strojů nebo změn plánů, snadná kontrola výroby, lepší využití strojů a snížení potřeby nástrojového vybavení (jedno přídatné zařízení slouží více strojům, např. otočné stoly, upínací přípravky apod.). [4] [3] [5]

Mezi nevýhody technologického uspořádání se řadí komplikovaný a dlouhý materiálový tok mezi pracovišti, vysoký počet meziskladů mezi dílnami, nižší využití výrobních zdrojů, dlouhá průběžná doba, potřeba úprav výrobního plánu podle nových zakázek apod. [3]



Obr. 5 - Technologické uspořádání pracovišť [5]

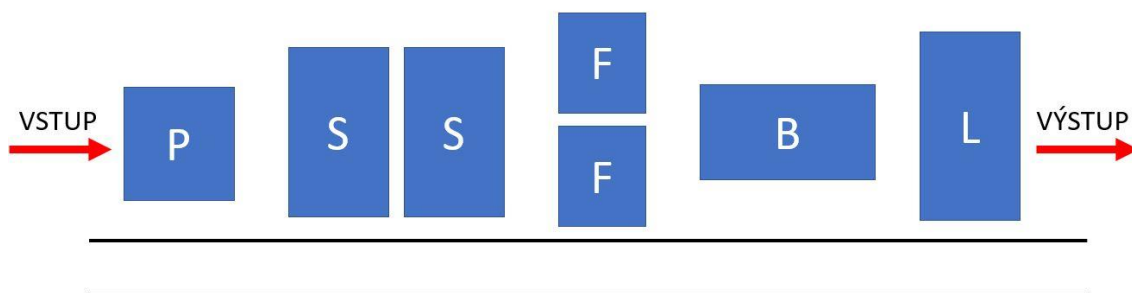
### 2.5.3 Předmětné uspořádání

Tato prostorová struktura je charakteristická seřazením pracovišť tak, jak stanovuje technologický postup výrobku, který se zde vyrábí. Pohyb součástí sleduje stejný směr a vzniká tak výrobní proud. Pracoviště se uspořádávají takovým způsobem, aby byla mezioperační přeprava výrobků co nejvíce plynulá. Ideální předmětné uspořádání lze sestavit pro jednu

určitou součástku, nebo pro skupinu tvarově a technologicky podobných výrobků. Jestliže sestavíme skupinu výrobků, která vytíží stroje na 80%, uspořádáme pro ni pracoviště do výrobní linky, která představuje dokonalejší stupeň předmětného uspořádání. Z organizačního hlediska má charakter proudové výroby. Používají se speciální stroje a nářadí, dělníci jsou nekvalifikovaní a stroje seřizují specialisté. Tato forma organizace je výhodná pro vyšší sériovost výroby nebo při opakované výrobě menších sérií. Schéma předmětného uspořádání je na Obr. 6. [4] [3] [5]

Výhodou této organizační struktury je snížení celkové průběžné doby výroby a tím úspora z vázání oběžných prostředků, zkrácení mezioperačních časů a nákladů na manipulaci, přehledný materiálový tok, nízké jednotkové náklady, nižší požadavky na kvalifikaci pracovníků apod. [4] [3] [5]

Nevýhodou je nepružnost výroby, kdy změna výrobního programu vyvolá změny ve strojním zařízení i jeho upořádání, závislost jednotlivých pracovišť, malá odolnost proti poruchám strojů, drahé jednoúčelové stroje, jejichž výroba i údržba je nákladnější a náročnější. [4] [3] [5]



Obr. 6 - Předmětné uspořádání pracovišť [5]

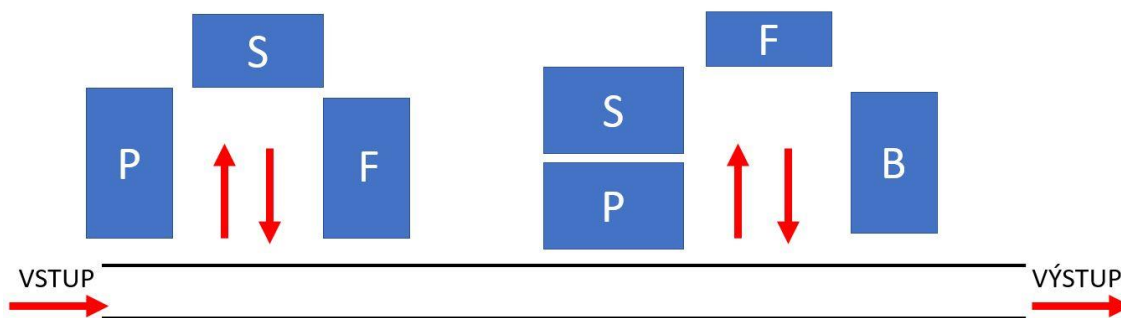
#### 2.5.4 Buňkové uspořádání

Jedná se o kombinaci technologického a předmětného uspořádání, kde jsou pracoviště uspořádána do skupin (buněk). Na jednom místě jsou uskutečněny určité části výrobního procesu s co nejmenšími požadavky na přepravu materiálu. Každá buňka je vhodná pro výrobu technologicky podobných výrobků. V dnešní době jsou často v buňkách spolu s vysoce produktivními stroji i mechanizovaná či automatizovaná zařízení (roboti, zásobníky, dopravníky atd.). Těmto pracovištím se říká automatizované výrobní systémy. Toto uspořádání je vhodné pro výrobu ve středně těžkém či těžkém strojírenství s kusovou nebo malosériovou výrobou. [4] [5]



Mezi výhody patří vysoká produktivita práce, zkrácení přísunu nástroje k součástce použitím mikroprocesorů, větší pružnost z hlediska změn výrobní náplně, než u předmětného uspořádání, díky snadnému upravování pořadí operací a toku materiálu, dále jsou to dobré podmínky pro personál a rychlý průchod výrobku. Schéma buňkového uspořádání je na Obr. 7. [4] [5]

Nevýhodou je větší nárok na prostor, kde budou umístěné stroje, větší nároky na technickou přípravu výroby, vysoké náklady při změnách a vysoká cena strojů a zařízení. [4] [5]



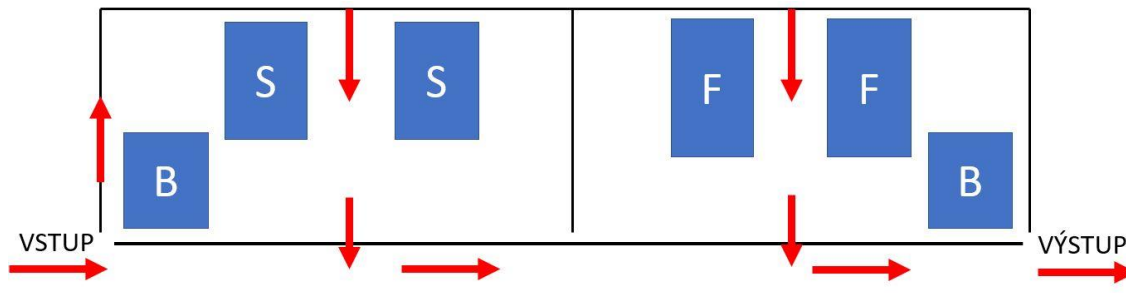
Obr. 7 - Buňkové uspořádání pracovišť [5]

### 2.5.5 Modulární uspořádání

Je to jeden z nově vzniklých způsobů uspořádání strojů a zařízení, který vznikl v souvislosti s rozvojem NC strojů a je charakteristický vytvářením stejných technologických bloků, z nichž každý plní více technologických funkcí. Celá výroba se skládá z tzv. modulů – skupin pracovišť, které dosahují vysoké produktivity práce a z toho důvodu mají v dílně prioritní postavení jak z hlediska obsluhy strojů materiálem, náradím a výkresovou dokumentací, tak z hlediska plánování a řízení přípravy zakázek či údržby. S ohledem na vysokou produktivitu práce je vhodné modulového uspořádání využít ve dvou i třísměnném provozu. Používá se ve všeobecném strojírenství v kusové a malosériové výrobě a jsou v něm využívány progresivní stroje a zařízení. Dělníci jsou kvalifikovaní a technická příprava výroby je zvláště uzpůsobena. Schéma modulárního uspořádání je na Obr. 8. [5]

Výhodou modulárního uspořádání je vysoká produktivita práce, zkrácení operačních a mezioperačních časů, zkrácení průběžné doby výroby, zkrácení manipulačních drah a zlepšení organizace práce a řízení výroby. [5]

Nevýhodou jsou větší nároky na technickou přípravu výroby a vysoké ceny strojů a zařízení, které mnohdy neodpovídají zvýšené produktivitě práce. [5]



Obr. 8 - Modulární uspořádání [5]

### 2.5.6 Shrnutí

Předmětem montáže na lince, kterou budu navrhovat v praktické části, je stator. Jedná se o montáž relativně malého produktu, tudíž se není nutné při návrhu uspořádání podřizovat jeho hmotnosti a velikosti. Počet vyrobených kusů je v řádech desetitisíců ročně, takže se jedná o sériovou výrobu. Na lince se bude vyrábět více velikostí statoru, které jsou technologicky podobné, až stejné. Jelikož je montáž statoru v některých částech procesu značně složitá a velmi těžko automatizovatelná, navrhovaná montážní linka bude manuální.

Vzhledem k výše zmíněným skutečnostem je ideální volbou buňkové uspořádání, které zaručuje minimální transport výrobku mezi pracovišti, dává prostor k zavedení One Piece Flow (viz kapitola 2.7.4), ke zkrácení průběžné doby výroby a zároveň minimalizuje plýtvání (viz kapitola 2.7.1).

## 2.6 Automatizovaný výrobní systém

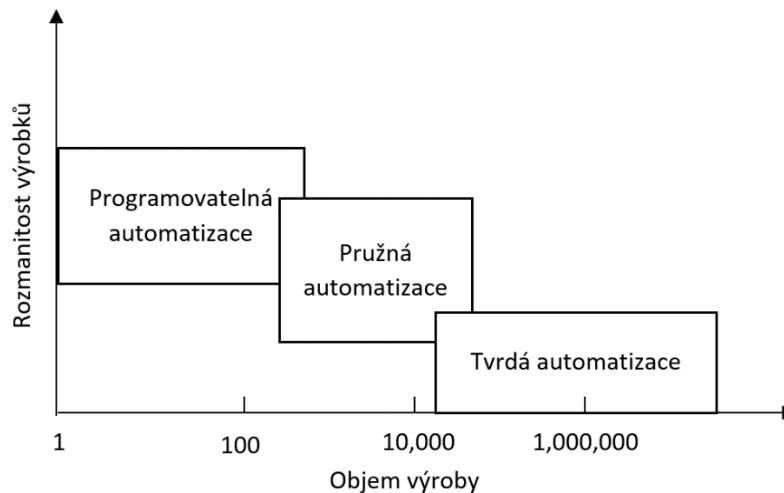
Automatizovaným výrobním systémem se rozumí takový systém, ve kterém člověk vykonává pouze kontrolní činnosti, případně se na různých pracovních činnostech podílí jen částečně. Automatizace je do výrobního systému implementována pomocí řídicích systémů, které provádí předem naprogramované instrukce. [1]

**Manuální výrobní systém** se skládá z jednoho nebo více pracovníků, kteří vykonávají úkoly bez pomoci poháněných nástrojů. Běžně je potřeba k vykonání úkonu ruční nářadí, jako je kladivo nebo šroubovák. Jako příklad použití ručního nářadí lze uvést pracovníka, který kontroluje mikrometrem průměr hřídele nebo pracovníka montujícího součástku ručními nástroji. [1]

**Poloautomatizovaný výrobní systém** je kombinací lidské pracovní síly a programovatelného stroje. Lidská práce je využívána především pro zakládání polotovarů do stroje, následné spuštění konkrétního programu v dialogovém oknu stroje a vyjímání hotových dílů. [1]

**Automatizovaný výrobní systém** je velmi podobný poloautomatizovanému výrobnímu systému. Rozdílem je schopnost automatického systému pracovat samostatně, bez zásahu člověka, po delší dobu, kdy pracovník jen spustí program a s pomocí řídicího systému stroj vykonává úlohy s automatickým zakládáním materiálu a vyjímáním hotových kusů. [1]

Automatizovaný systém výroby lze rozdělit do tří základních typů. Vztah mezi objemem výroby a variabilitou produktů lze vidět na Obr. 9.



Obr. 9 - Typy automatizace v závislosti na objemu výroby a variabilitě produktu [1]

**Tvrdá automatizace** je charakteristická tím, že pracovní cyklus stroje je tvořen na mechanickém principu pomocí systému vaček či narážkových systémů. Pomocí těchto řídicích prvků je možné na stroji regulovat otáčky, měnit rychlosti a rozsahy posuvů, upínat polotovary apod. K výrobě se používají typizované automaty nebo jednoúčelové automatické stroje (Obr. 10), které vykonávají jednoduché operace. Typické vlastnosti tvrdé automatizace jsou:

- vysoké pořizovací investice na zakázkovou výrobu strojů
- vysoká produktivita práce
- složité zavádění nového typu produktu



Obr. 10 - Jednoučelový stroj [9]

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem se tvrdá automatizace uplatňuje především ve velkosériové a hromadné výrobě součástí stejného typu, kde se vysoké počáteční náklady na vybavení rozdělí na velký počet vyrobených kusů. [1] [10] [11]

**Pružná automatizace** umožňuje automatizaci výrobního procesu při výrobě rozličného sortimentu produktů. Při změně typu výrobku dochází k minimálním časovým ztrátám, tím je možné měnit druh produktu během výroby místo výroby v dávkách. Stroje jsou řízeny pomocí děrných štítků, šablon apod., avšak v současnosti je už nahrazují stroje s číslicovými systémy, které vykazují maximální pružnost při změně výroby a jsou vhodné pro všechny rozsahy sériovosti výroby. Příklad CNC obráběcího centra je zobrazen na Obr. 11. Hlavními rysy pružného systému jsou: [10] [1] [11]

- Vysoké pořizovací náklady
- Plynulá výroba variabilních produktů
- Střední sériovost výroby



Obr. 11 - CNC obráběcí centrum [12]

**Programovatelná automatizace**, někdy nazývaná také jako měkká automatizace, je specifická výrobou produktů po dávkách v malo a středně sériové výrobě. Nevýhodou je často pracovně velmi náročný proces přestavby na nový produkt, který vyžaduje dlouhou odstávku, kdy se musí stroj přeprogramovat a mechanicky přestavět (výměna nástrojů a přípravků). Typickým použitím programovatelné automatizace jsou NC stroje. Programovatelná automatizace má tyto charakteristické vlastnosti: [1]

- Vysoké pořizovací náklady víceúčelových strojů
- Nižší objem výroby než u tvrdé automatizace
- Flexibilita pro různé druhy a změny výrobků
- Vhodná pro výrobu v dávkách

### 2.6.1 Výhody automatizace

- Nižší provozní náklady – Neustále zvyšující se cena práce nutí podniky hledat možnost automatizace ve svých výrobcích. Vyšší investice do automatizace a nahrazení manuální práce je, i vzhledem k zvyšujícím se mzdám zaměstnanců, ekonomicky výhodná. Potřeba je zmínit i úspory energie a materiálu, díky zvýšení přesnosti výroby a nižší potřebě chlazení.
- Zvýšení pracovní bezpečnosti – Automatizace umožňuje vyloučit pracovníka z aktivní účasti ve výrobě a změnit jeho roli na monitorovací, čímž lze předejít zraněním v zaměstnání a zlepšit tak bezpečnost ve výrobě.

- Zvýšení produktivity – Automatizovaná výroba zaručuje zvyšování rychlosti výroby a produktivity. Autonomní pracoviště dokážou nepřetržitě pracovat bez dozoru, stejnou rychlostí, což má za následek zvýšení produktivity a rychlejší zavádění nových produktů.
- Zvýšení kvality výrobků – Automatizace nemá za následek pouze zvýšení produktivity, ale oproti manuální výrobě vykazuje i vyšší přesnost, nižší zmetkovitost a více odpovídá kvalitativním požadavkům zákazníka.
- Snížení nedostatku pracovních sil – V mnoha vyspělých zemích je již delší dobu nedostatek pracovníků na manuální práci. Tento problém lze z části řešit robotizací a automatizací výroby.
- Snížení výrobních časů – Automatizace pomáhá podnikům snížit čas mezi přijetím objednávky a exportem hotových výrobků, tím zajišťuje výhodu oproti konkurenci a snižuje vytíženost skladovacích prostor.
- Výroba složitých výrobků – Složité výrobní operace, které vyžadují extrémní přesnost, komplexnost geometrie a pracují s minimálními rozměry, nemohou být vykonány pomocí manuální práce. Řešením je využití počítačově řízených strojů a jejich řídicích systémů. [1] [13]

## 2.7 Optimalizace pomocí Lean production

Štíhlá výroba a její řízení jsou chápány jako komplexní systém, kdy se podnik snaží ve všech oblastech uplatňovat zásady štíhlosti neboli Lean. Štíhlost podniku lze definovat takto:

„Štíhlost podniku znamená dělat jen takové činnosti, které jsou potřebné, dělat je správně hned napoprvé, dělat je rychleji než ostatní a utrácet přitom méně peněz. Šetřením však ještě nikdo nezbohatl, štíhlost je o zvyšování výkonnosti firmy tím, že na dané ploše dokážeme vyrobit víc než konkurenti, že s daným počtem lidí a zařízení vyrobíme vyšší přidanou hodnotu než druzí, že v daném čase vyřídíme více objednávek, že na jednotlivé podnikové procesy a činnosti spotřebujeme méně času. Štíhlost podniku je v tom, že děláme přesně to, co chce náš zákazník, a to s minimálním počtem činností, které hodnotu výrobku nebo služby nezvyšují. Být štíhlý tedy znamená vydělat víc peněz, vydělat je rychleji a s vynaložením menšího úsilí.“ [14]

Rostoucí rozšíření koncepce štíhlé výroby se opírá o výzkumy provedené ve Spojených státech koncem osmdesátých let. Jejich cílem bylo vysvětlit, proč výrobci automobilů z Evropy a USA stále více zaostávají za japonskou konkurencí. Převaha japonského přístupu k řízení výroby byla jasně zřetelná. Ve srovnání s firmami z USA a Evropy dokázali japonští výrobci vyrábět

s polovinou zaměstnanců v montážním procesu, polovinou kapacit ve vývoji, desetinou až třetinou naskladněných zásob, pětinou dodavatelů, polovinou investic do strojních zařízení, polovinou prostoru pro výrobu a přitom dokázali být až třikrát více produktivní, při čtyřikrát kratších dodacích časech. Statistika výroby v osmdesátých letech rovněž uvádí, že v Japonsku se počet nabízených modelů zdvojnásobil, v USA v tomto období došlo k rozšíření počtu modelů pouze o polovinu, v Evropě nabídku o polovinu redukovali, protože v té době byla zaměřena na objem výroby. [4]

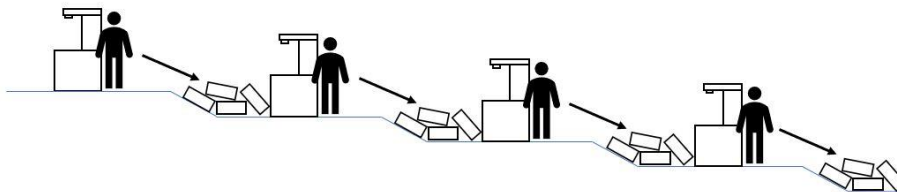
Japonský koncept štíhlé výroby spočívá v pružné výrobě, reagující na požadavky zákazníka a decentralizovaně řízené poptávce prostřednictvím přizpůsobivých pracovních týmů, při nízkém počtu na sebe navazujících výrobních stupňů. Každý ze zaměstnanců nese vysokou zodpovědnost za kvalitu a průběh výroby a při zjištění chyby má možnost přerušit výrobu. Řízení štíhlé výroby je maximálně podřízeno uspokojením potřeb zákazníka. Mezi další principy Lean managementu patří: [4]

- Plánovací princip pull
- Princip nepřetržitosti
- Princip zaměření se na podstatné aktivity a klíčové schopnosti
- Princip zamezení plýtvání a optimalizace hodnototvorného řetězce

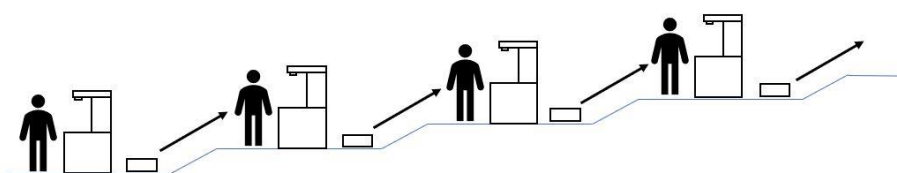
#### **Plánovací princip pull**

Princip pull, uplatňovaný ve štíhlé výrobě znamená, že se výrobky celým výrobním systémem „neprotlačují“, jako je tomu v tradičních systémech push, ale procházejí výrobou na principu „dones“. Rozdíl je jasně patrný na Obr. 12. Každý výrobní stupeň (zařízení) má pracovníka odpovědného za zajištění požadavků navazujících výrobních stupňů. To znamená, že následující výrobní stupně se pro předcházející stává interním zákazníkem, jehož požadavky musí být uspokojeny. Metoda pull je tedy založena na výrobě podle skutečné potřeby následujícího článku řetězce. Znamená to, že výrobky se nezačnou vyrábět do té doby, dokud si je následující článek v řetězci (odběratel) neobjedná. Až když je tento proces dokončen, je vyřizována další objednávka. V praxi lze uvést příklad evidenčních systémů obchodu, které sledují prodejnost určitého zboží a když zásoba klesne pod kritickou hodnotu stanovenou podle zkušeností provozovatele, systém dá správci signál na doplnění určitého produktu. Systém plánování a řízení výroby pull výrazně snižuje výrobní náklady, v důsledku zkrácení průběžných dob výroby a snížení mezioperačních zásob. [4] [15]

## Plánovací princip push



## Plánovací princip pull



Obr. 12 - Porovnání plánovacích principů push a pull [4]

### Princip nepřetržitosti

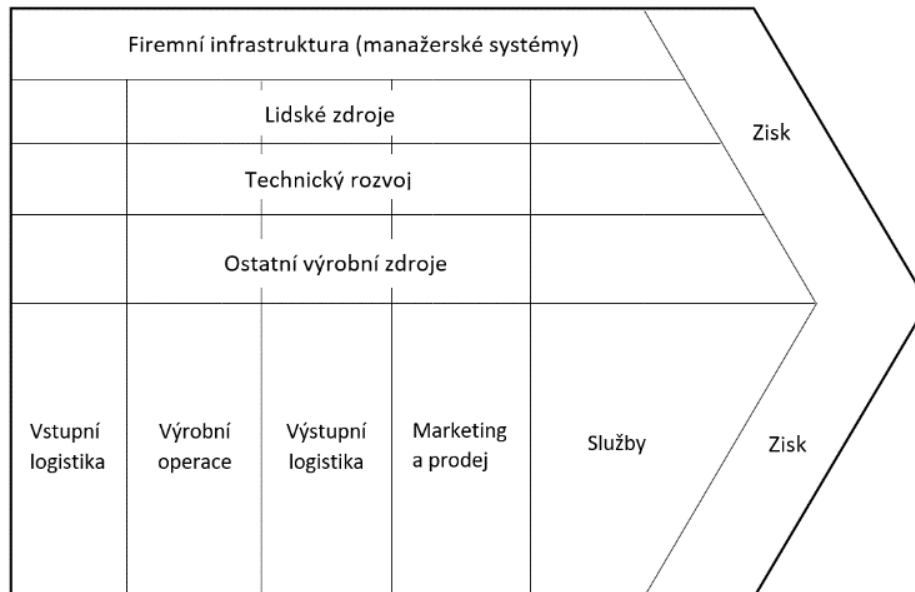
Zlepšování je ve štíhlé výrobě procesem, který probíhá kontinuálně a nikdy nekončí. Podnik by se neměl spokojit s dosaženou úrovní, ale nadále se pokoušet zlepšovat. Zlepšování se týká nejen veličin technické kvality, ale i spokojenosti zákazníka. Aby podnik získal výhodu oproti konkurenci, je důležité neustále přicházet s novými inovacemi, dle přání zákazníků. Mnoho západních firem má, v dobách vysokého přílivu zakázek, tendenci polevit a spokojit se s dosaženým. Ubývá na intenzitě programů, zaměřených na snižování nákladů, zvyšování produktivity a spokojenosti zákazníka, čímž se vytváří základ budoucích neúspěchů v případě horších časů. [4]

### Princip zaměření se na podstatné aktivity a klíčové schopnosti

Tento princip znamená zhodnocení a revizi všech aktivit, které jsou součástí hodnototvorného řetězce (viz Obr. 13), od výzkumu a vývoje, až po likvidaci odpadů. Podnik musí posoudit rozsah působnosti všech svých útvarů a posoudit, ve kterých prvcích hodnototvorného řetězce je lepší než konkurence a externí partneři a které mají největší vliv na zlepšení konkurenční pozice firmy z pohledu zákazníka. Lean management tak vede firmu k zaměření všech svých interních kapacit a zdrojů na využití klíčových schopností, které podniku vytváří největší užitek. To vede k nutnosti zajišťovat ostatní výkony u subdodavatelů (tzv. *outsourcing*), pro které jsou tyto výkony klíčovými schopnostmi. Outsourcing je v systému štíhlé výroby považován za důležité strategické rozhodnutí a podnik by při něm měl řídit následujícími kritérii:



- Výroba a služby předávané subdodavatelům nesmí patřit mezi činnosti, které firmě tvoří konkurenční výhodu.
- Externí partneři musí výrobek dodat ve stejné nebo lepší kvalitě, za stejnou nebo kratší dobu, se stejnými nebo nižšími náklady a být schopni udržet tyto požadavky dlouhodobě.
- Podnik nesmí být příliš závislý na svých dodavatelích. [4]



Obr. 13 - Schéma hodnotového řetězce [4]

Mapování hodnotového řetězce (angl. *Value Stream Mapping*) je možné graficky zobrazit proces na hrubé úrovni zpracovaného detailu, který slouží k zaznamenání základních prvků procesu, toků, větvení a jejich vzájemných vztahů. Úlohou hodnotového toku je zobrazit přínos jednotlivých bloků činností a případně lokalizovat zdroje plýtvání. [15]

#### Princip zamezení plýtvání a optimalizace hodnotového řetězce

Štíhlá výroba se zaměřuje na optimalizaci procesů, zároveň i na co největší uspokojení potřeb zákazníka. U optimalizace procesů jde o to, aby se správným plánováním a kontrolou výrobních faktorů zabránilo plýtvání. Ve štíhlé výrobě se všechny tyto aktivity posuzují podle toho, zda vytváří hodnoty, za které je zákazník ochoten zaplatit. Naopak aktivity, které nevytvářejí pro zákazníka hodnotu, ale přesto se uskutečňují, lze označit za skryté plýtvání. Příkladem je například mezioperační skladování, opravy nekvalitně provedené práce, několikanásobná evidence dat, ztrátové časy při čekání na materiál, udržování nadbytečných zásob apod. Podrobně se plýtváním ve výrobních procesech věnuje následující kapitola. [4]

### 2.7.1 Plýtvání

Muda je slovo pocházející z japonštiny a znamená odpad či plýtvání. Práce je sérií procesů a v každém z nich je produktu přidávána hodnota. Přidanou hodnotu lze definovat jako soubor činností, které mění strukturu, tvar nebo složení výsledného produktu a zákazník je za ně ochotný zaplatit. Lidé a stroje buď hodnotu přidávají, nebo nepřidávají. Muda označuje aktivity nepřidávající hodnotu a jsou rozděleny do sedmi kategorií: [16]

#### 1. Muda – nadprodukce

Nadprodukce je považována za nejhorší ze všech druhů plýtvání a dochází k ní, když podnik vyrábí větší množství produktů, než je potřeba. Negativně ovlivňuje výkonnost podniku, protože nadprodukce se začne chovat jako multiplikátor a má za následek spotřebu surovin před tím, než jsou potřeba, plýtvání lidskými a energetickými vstupy, plýtvání kapacitou výrobních zařízení, vyšší náklady na skladovací prostory, dopravní zařízení i administrativu. [16] [17]

#### 2. Muda – čekání

S plýtváním ve formě čekání se můžeme setkat téměř v každém pracovním procesu. Důvodem jsou dělníci čekající na materiál, nepracující stroje, nerovnováha na výrobní lince nebo nedostatečné instrukce k zahájení výroby. [15] [17]

#### 3. Muda – doprava

Doprava je nezbytnou součástí výrobního procesu, ale nepřidává produktu žádnou hodnotu. K plýtvání dochází při nepromyšleném přesouvání materiálu a rozpracované výroby z místa na místo, například při přesunu meziprojektu na jinou výrobní linku. Nejenže doprava stojí čas a peníze, ale také při ní může dojít k poškození nebo ztrátě výrobku a tak je nutné ji co nejvíce omezit. [15] [17]

#### 4. Muda – pohyb

Za plýtvání v podobě pohybu je považován jakýkoliv pohyb, který není spojen s přidáváním hodnoty produktu. Příkladem může být hledání náradí či polotovarů z důvodu špatně zorganizovaného pracoviště, třídění materiálu ve výrobě z důvodu chybějících popisků či konání práce, kterou by daný pracovník neměl vykonávat z důvodu nedefinované pracovní náplně. [17]

#### 5. Muda – zásoby

Plýtvání formou skladování zahrnuje materiál, na kterém se v danou chvíli nepracuje. Zvyšují provozní náklady tím, že zabírají místo a využívají kapacity dalších zařízení. Z produktů ležících ve skladu podniku nevzniká žádná hodnota a jejich kvalita časem

klesá. Nadměrné zásoby jsou výsledkem nadprodukce a jsou často přirovnávány k hladině vody, která zakrývá problémy, jako je kvalita, prostoje a absence a ztrácejí se tak příležitosti ke zlepšování. [16]

#### **6. Muda – opravy a zmetky**

Produkt, který neodpovídá kvalitativním požadavkům zákazníka, je třeba přepracovat, nebo vyhodit. V obou případech se zvyšují provozní náklady, aniž by přinášely zákazníkům jakoukoli hodnotu. [16] [17]

#### **7. Muda – zpracování**

Za nadměrnou práci jsou považovány všechny operace, které nebyly požadovány zákazníkem a pro podnik tak tvoří plýtvání. Je způsobena špatným technologickým postupem nebo nevhodným provedením v procesu zpracování produktu. [16]

### **2.7.2 Kanban**

Kanban v japonštině znamená karta nebo štítek. Systém kanban byl vytvořen japonskou firmou Toyota Motors a jeho hlavním principem je výroba pouze těch produktů, které zákazník v daném čase a množství požaduje. Předpokladem fungování systému kanban je existence samoregulačního okruhu mezi odběratelem a dodavatelem ve výrobním procesu, fungujícím na základě tažného principu pull. Systém kanban v podstatě využívá signalizaci snížení zásob pod kritickou hodnotu, která je pro předchozí výrobní stupeň signálem k výrobě. Pro pohyb informačního a materiálového toku jsou využívány tzv. kanbanové karty, obsahující klíčové detaily objednávky, jako například číslo a popis dílu, počet dílů v balení nebo informace o zákazníkovi a dodavateli. Kanbanová karta může navíc obsahovat další interní informace o výrobku, které umožňují pracovníkům sledovat průběh výroby a identifikovat vzájemné závislosti mezi procesy. [18] [19]

Ve výrobních linkách se nedaří vytvořit takovou časovou bilanci, aby každý pracovník vykonal svoji úlohu za stejný čas, jako jeho kolega. Jednotlivá pracoviště si tak předávají vždy jen určité dávky výrobků, aby se práce na jednom pracovišti nehromadila a na druhém naopak nebyla žádná. Výhodou je, že každý pracuje svým tempem a materiál dostane až tehdy, když si o něj zažádá pomocí kanbanových karet. Tento postup je velmi efektivní, udržuje se při něm stálé tempo výroby a snižuje se množství vadných částí. [20]

### 2.7.3 Just-in-Time (JIT)

Metoda Just in Time je filozofií především opakované výroby, která má sloužit ke zvýšení produktivity a snížení nákladů. Podstatou této metody je uskutečnění materiálového toku tak, aby mohl být požadovaný materiál použit ihned a nemusel se zbytečně uskladňovat. To vyžaduje, aby byl materiál dodáván v malých dávkách, podle technologické potřeby. [20]

Systém Just-in-Time se nejprve začal používat v automobilovém průmyslu, kde je nutné mít především objemné komponenty na lince v přesně plánovaný čas, aby se linka nemusela zastavit, což by pro podnik znamenalo velké finanční ztráty. Realizace tohoto systému však přináší své problémy. Nelze si představit, že by se všichni dodavatelé podíleli na dovážení součástek až na linku. Proto se v blízkosti výrobního závodu nachází sklady, kam dodavatelé pravidelně a v krátkých časových obdobích doplňují menší množství materiálu. Ze skladu se pomocí elektrických vláček dopravují součástky přímo na místo výroby. [20]

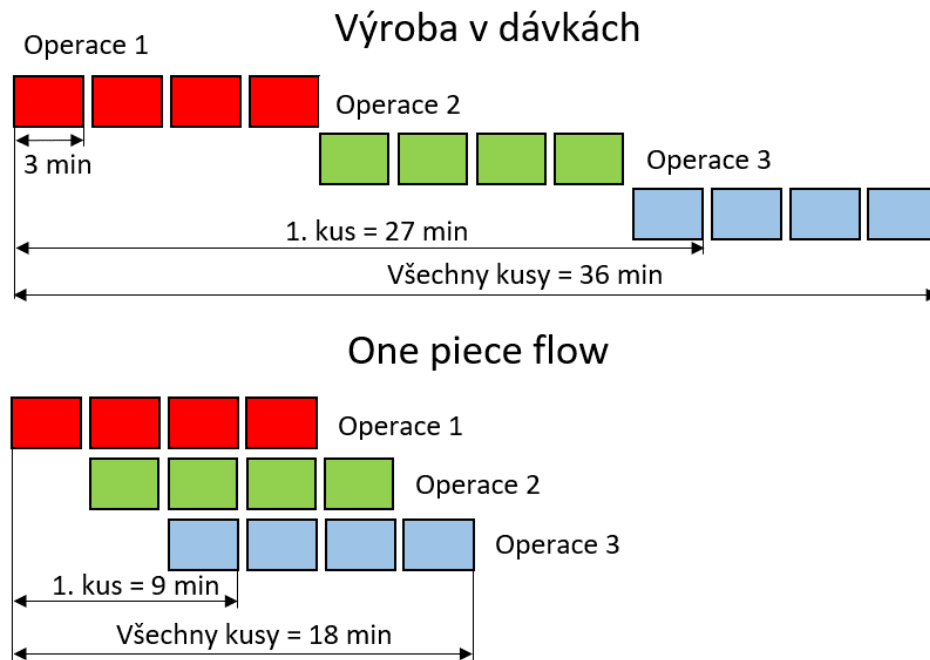
Pro úspěšné zavedení systému JIT je nejprve nutné lokalizovat a odstranit všechny nedostatky v řízení a organizaci, které by se projeví až po zavedení systému. Jedná se například o špatnou údržbu strojů, nedostatečnou kvalifikaci pracovníků, špatnou pracovní morálku, špatný systém plánování apod. [19] [20]

### 2.7.4 One Piece Flow

Tok jednoho kusu (One Piece Flow) nebo kontinuální výrobní proces je metoda výroby, jejíž principem je rozdělení výrobního procesu na jednotlivé operace, které na sebe vzájemně navazují bez čekání nebo přerušení. V jednu chvíli se na příslušném pracovišti vyrábí jen jeden výrobek, který se ihned po dokončení předá na navazující pracoviště. Cílem je vyrobit součást bez neplánovaného přerušení a bez čekání mezi operacemi. Pro tuto metodu výroby je nejvhodnější buňkové uspořádání pracoviště, kde jsou všechna nezbytná zařízení a nástroje na jednom místě. Pro fungování této metody je nezbytné, aby byl ve všech výrobních procesech implementován tok jednoho kusu. [21]

Vysvětlení a fungování metody One Piece Flow je znázorněné na Obr. 14, zobrazující rozdíl mezi dávkovou výrobou a tokem jednoho kusu. Jedná se o výrobek, který prochází třemi operacemi a každá z nich trvá 3 minuty. Na horním schématu se vyrábí po dávkách 4 kusů, znamená to, že až po dokončení první operace na všech výrobcích, se může začít s druhou operací a následně s třetí operací. Z čehož vyplývá, že první kus může být hotov nejdříve za 27 minut. Oproti tomu

na spodním schématu jednokusového toku výroby je výrobek ihned po dokončení první operace předán na druhou, resp. třetí operaci a první výrobek vyjede z linky za 9 minut. [21]



Obr. 14 - Porovnání metod výroby [22]

Při zavádění One Piece Flow je důležité si nejprve vhodně zvolit proces, který by měl splňovat následující kritéria:

- Procesy musí být schopny neustále produkovat nezávadné kusy. Při velkém množství kvalitativních problémů je tok jednoho kusu nereálný.
- Časy výroby musí být opakovatelné. Odchylka mezi jednotlivými kusy je kvůli načasování nepřijatelná.
- Stroje musí být neustále připraveny k práci. Jakmile se jeden stroj na výrobní lince zastaví, celý proces se zastaví.
- Procesy musí být možné škálovat podle doby taktu.

Prvním krokem k zavedení One Piece Flow je určit si vhodně produkt či produktovou skupinu a definovat typ výrobní buňky. Pokud bude buňka vyrábět pouze jeden druh výrobku, poptávka po něm musí být dostatečně vysoká. U buněk s určitou variabilitou výroby musí být co nejvíce zkrácena doba výměny nástrojů mezi jednotlivými produkty a obecně platí, že tento čas by neměl být delší, než čas taktu. [23]

Dalším krokem je vypočítání doby taktu, sestavit layout s využitím principů 5S a tím vytvořit ergonomické pracoviště. Dále je nutné vyvážit jednotlivé dílčí operace a standardizovat pracovní instrukce. Součástí je také určení počtu operátorů pro zajištění taktu výroby. [21]

### 2.7.5 Takt time

Doba taktu je celková výrobní doba, rozdělená počtem výrobků, které je potřeba vyrobit pro splnění požadavků zákazníka. Čas taktu je teoretické číslo, které vyjadřuje potřebný čas na výrobu jednoho výrobku v každém procesu, ale nevyjadřuje maximální tempo výroby podniku. Jestliže každý proces překročí dobu taktu, výsledkem bude nedostatek výrobků; jestliže bude proces rychlejší, počet hotových výrobků se nahromadí a vznikne přebytek. [16]

$$Doba\ taktu = \frac{dostupný\ pracovní\ čas\ na\ den}{denní\ požadavek\ zákazníka} \quad (1)$$

### 2.7.6 Cycle time

Doba cyklu je skutečná maximální doba, kterou operátor potřebuje pro dokončení úkonu na svém pracovišti. Cílem štíhlé výroby je co nejvíce přiblížit dobu cyklu době taktu. [16]

### 2.7.7 Počet operátorů

Pro správný chod linky je nutné standardizovat práci pro každého operátora a určit, kolik operátorů je potřeba pro zajištění taktu výroby následujícím vzorcem: [16]

$$Počet\ operátorů = \frac{Suma\ času\ všech\ manuálních\ činností}{Doba\ taktu} \quad (2)$$

## 2.8 Teorie montáže

Montáž je jednou ze závěrečných a často i nejsložitějších etap výrobního procesu. Významným způsobem se podílí na výsledné kvalitě a spolehlivosti výrobku, délce průběžné doby výroby, produktivitě práce a na velikosti celkových výrobních nákladů. [7]

Podíl montáže na celkové pracnosti výroby je závislý zejména na konstrukčně-technologické koncepci výrobku, na použité technologii, stupni mechanizace a technicko-organizační formě. Například v automobilovém průmyslu podíl montáže dosahuje až 32% z celkové pracnosti výroby, ve spotřebním a textilním průmyslu se tato hodnota pohybuje kolem 40%. Obecně platí, že čím vyšší je sériovost výroby, tím se podíl pracnosti montáže snižuje i díky vyššímu stupni

mechanizace montážních prací. Montáž však nezahrnuje pouze sestavování a spojování dílů v hotový výrobek, ale také manipulaci, kontrolu a dopravu. [7]

### **2.8.1 Externí a interní montáž**

#### **Externí montáž**

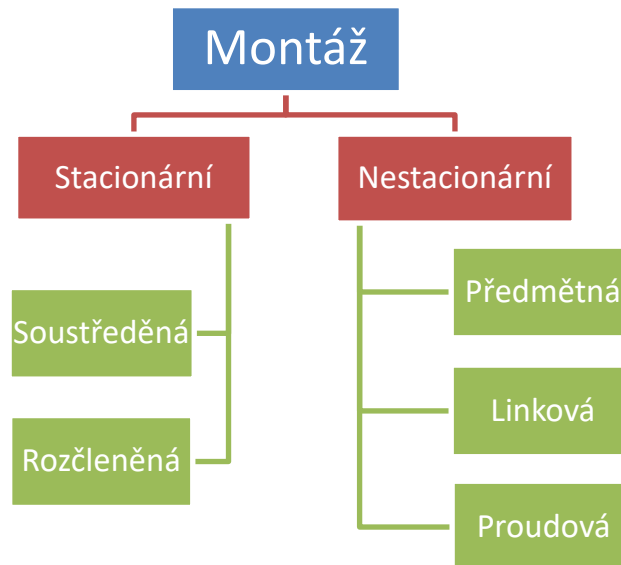
Externí montáž se provádí mimo výrobní závod. Snahou výrobce je co nejvíc dílů sestavy smontovat uvnitř podniku, ale u rozměrných dílů s vysokou hmotností je tato možnost nereálná a jedinou možností je smontovat součást až u zákazníka. Tato forma montáže se využívá například pro montáž mostů a konstrukcí na místě určení, vzduchotechnických zařízení, potrubí, nebo objemných strojů. [24]

#### **Interní montáž**

Interní montáž je prováděna přímo v podniku, kde se daná součást vyrábí. V porovnání s externí montáží je používána pro díly s menšími rozměry nebo pro podsestavy objemných zařízení, určených na externí montáž. U toho typu montáže výrobek opouští podnik už otestovaný a způsobilý k přímému použití, jedná se zejména o automobily či spotřební zboží. [24]

### **2.8.2 Dělení montáží**

Každý montážní systém lze charakterizovat rozčleněním montáže z hlediska její časové a technologické návaznosti, využitím pracovních sil, pracovních prostředků, energie, prostorovým uspořádáním strojů a pracovišť atd. Časová a prostorová struktura montážního systému tedy v podstatě vychází z velikosti, složitosti a sériovosti montovaných výrobků. Rozdělení montáží, podle technicko-organizačních forem, je zobrazeno na Obr. 15. [8]



Obr. 15 - Rozdělení montáží [8]

### Stacionární montáž

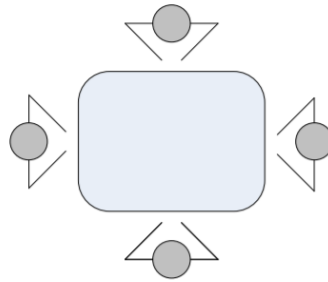
Stacionární montáží se rozumí taková montáž, která je prováděna postupně na jednom místě jedním nebo skupinou pracovníků. Stacionární montáž se používá především v kusové a malosériové výrobě zařízení velkých rozměrů a hmotností. Stacionární montáž můžeme dále rozdělit na soustředěnou a rozčleněnou. [8]

### Soustředěná montáž

Výrobek se montuje na jednom pracovišti. Menší a jednodušší výrobky montuje jeden pracovník, u větších a složitějších výrobků je potřeba skupina pracovníků. Montáž je ve většině případů prováděna jen podle rámcových montážních postupů bez podrobných časových norem. [25] [8] Výhodou soustředěné montáže je přizpůsobivost pracoviště a pracovních prostředků ke změnám ve výrobním programu. Aby došlo k rovnoměrnému vytížení pracoviště a vybavení, je nutné zpracovat časový plán. Schéma soustředěné montáže je na Obr. 16. [8]

Mezi nevýhody patří vysoké nároky na kvalifikaci pracovníků, značné nároky na montážní plochu, dlouhá průběžná doba montáže a její nepravidelný průběh. [8]

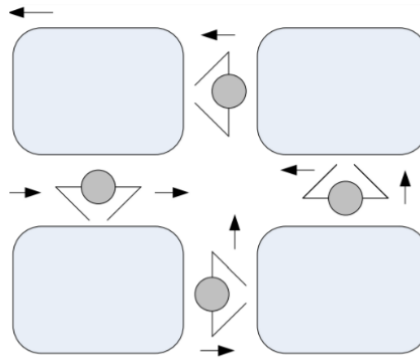




Obr. 16 - Schéma soustředěné montáže [26]

### Rozčleněná montáž

Několik výrobků se montuje současně na několika definovaných místech jednoho pracoviště, mezi kterými se v určitém sledu přemísťují pracovníci a vykonávají na všech výrobcích určitou část operace. K provedení montážních operací slouží norma času, ale vzhledem k velkému objemu práce jsou často zaváděny „časové rezervy“ pro předání součásti na další pracoviště. Schéma rozčleněné montáže je na Obr. 17. [8] [25]



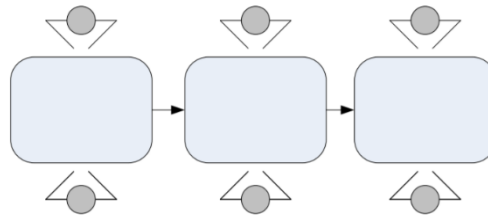
Obr. 17 - Schéma rozčleněné montáže [26]

### Nestacionární montáž

Nestacionární neboli pohyblivá montáž je charakteristická pohybem montážních celků od jednoho pracoviště k druhému, vždy ve smyslu technologického a časového sledu montáže. Montáž je prováděna současně v několika montážních operacích jedním nebo skupinou pracovníků, jejichž pohyb po pracovišti je minimální. Pohyblivou montáž je také možné rozdělit podle uspořádání pracoviště. [8]

### Předmětná montáž

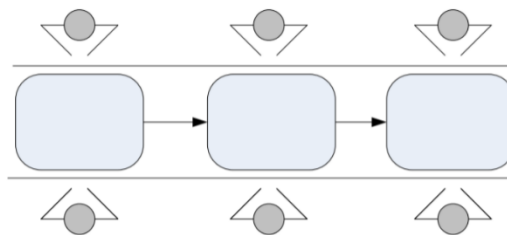
Jedná se o nejjednodušší formu pohybové montáže, ve které je výrobek ve volném taktu přesouván mezi pracovišti, uspořádanými ve smyslu montážního postupu (předmětně). Schéma předmětné montáže je na Obr. 18. [8]



Obr. 18 - Schéma předmětné montáže [26]

### Linková montáž

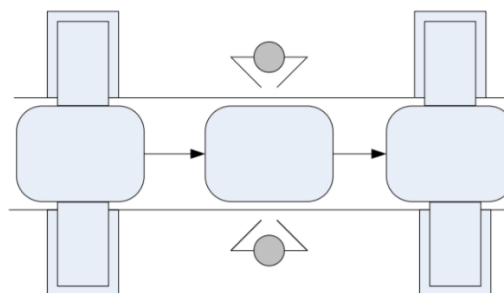
Montážní celky jsou detailněji rozděleny do jednotlivých operací. Pracovní tempo je u každého stanoviště variabilní, proto se tento typ montáže často označuje jako nesynchronní a mezi pracovišti je nutné umístit zásobníky. Tento způsob montáže je používán v podnicích s velkou rozmanitostí výrobků a také pro montážní procesy s větším podílem ručních montovacích stanic. Schéma linkové montáže je na Obr. 19.[8]



Obr. 19 - Schéma linkové montáže [26]

### Proudová montáž

Proudová montáž je nejvyšší formou nestacionární montáže. Jednotlivá pracoviště jsou, z hlediska objemu montážních činností, plně synchronizovaná a montážní práce jsou rozděleny až na operace nebo úkony. Tento typ montáže je tak díky pevnému synchronizovanému taktu pohybu výrobků vhodný k automatizaci. Schéma proudové montáže je na Obr. 20. [8]



Obr. 20 - Schéma proudové montáže [26]

## 2.9 Třídění spotřeby času

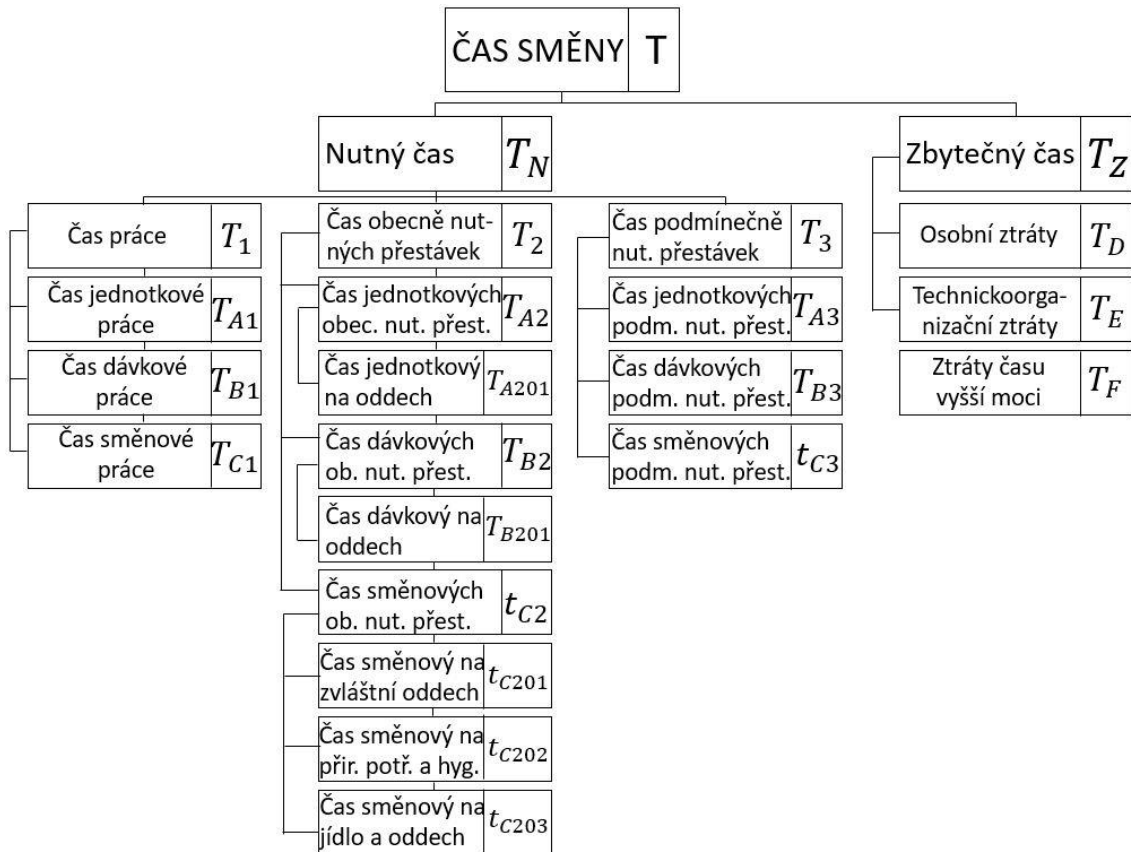
Všechny činnosti i nečinnosti ve výrobním procesu jsou spjaty se spotřebou času, která je ukazatelem jakosti organizace práce a technicko-organizačního stupně technologických i pracovních metod. Právě organizace a normování práce se intenzivně podílí na rozboru a stanovení optimálních podmínek práce. Podklady stanovující optimální pracovní, technické a organizační podmínky, jsou spolu s pracovními postupy a dobou trvání jednotlivých činností nezbytnou součástí dokumentace. Pro tyto podmínky se stanovují normy spotřeby času a při jejich nedodržení může docházet nejen k ohrožení výkonnosti, ale i k ohrožení pracovníka v důsledku zvýšené fyzické námahy, či intenzity práce. [27]

Podle druhů činností a nečinností lze rozdělit spotřebovaný čas z hlediska:

- Pracovní síly (pracovník, operátor) – snímky práce, snímky pracovního dne, jednotlivce nebo skupiny pracovníků.
- Výrobního prostředku – snímky využití strojů.
- Pracovního předmětu – tok materiálu, logistika, technologický postup atd. [2] [27]

V případech, kdy jeden dělník obsluhuje jeden stroj je hledisko, z pohledu pracovníka a výrobního zařízení, stejné. Naopak je různé, když pracovník obsluhuje více strojů najednou nebo více operátorů obsluhuje jedno zařízení. [2]

Třídění jednotlivých časů do přesně popsaných skupin je nezbytné pro organizaci práce, zjišťování rezerv i odměňování pracovníků. Spotřebu času lze rozdělit na nutnou a ztrátovou, viz Obr. 21. Nutná spotřeba času označuje čas práce a čas nutných přestávek. Všechny ostatní časy představují pro podnik ztráty. [2]



Obr. 21 - Základní schéma třídění času pracovníka [2]

Časové ztráty pracovníka je označení těch časů, které nejsou potřebné pro průběh pracovního procesu. Souhrn ztrátových časů tvoří značnou část rezerv využití pracovního času, a proto je nutné usilovat o jejich odstranění. Podrobné dělení ztrátových časů je zobrazeno na Obr. 22. [27]



Obr. 22 - Třídění ztrát ve směně [2]

### 2.9.1 Označování časových složek

Symbols, vyjadřující hodnotu a druh spotřeby času pracovníka, jsou složeny ze dvou částí. První část tvoří základní znak, druhou část jeho index, který označuje druh spotřeby času. Základním znakem je písmeno „t“. Velké písmeno **T** označuje úhrn všech příslušných časů na směnu. Malé písmeno **t** značí úhrn příslušného času v normě. [2]

Index základního znaku je tvořen jedním písmenem velké abecedy a jednou až třemi číslicemi. Vysvětlení jednotlivých indexů je následující:

**Počáteční písmeno:** **A** – pro čas přímo úměrný počtu kusů (jednotkový čas), **B** – pro čas úměrný počtu výrobních dávek (dávkový čas), **C** – pro čas přímo úměrný počtu odpracovaných směn (směnový čas)

**Číslice na prvním místě:** **1** – čas práce, **2** – čas obecně nutných přestávek (fyziologické a hygienické potřeby zaměstnanců), **3** – čas podmíněně nutných přestávek (přerušení z technických důvodů)

**Číslice na druhém místě:** **1** – čas za klidu stroje, **2** – čas za chodu stroje, **3** – čas strojně ruční (řízený chod), **X** – výjimka pro zjednodušené rozlišení úkonů nepravidelné obsluhy

**Čísllice na třetím místě** se vyskytují pouze u spotřeby času pro obecně nutné přestávky a vyjadřují: **1** – čas přestávek pro zvláštní oddech (z důvodu horších pracovních podmínek apod.), **2** – čas přestávek pro přirozené potřeby, **3** – čas na jídlo a oddech [2] [27]

### 2.9.2 Měření spotřeby času

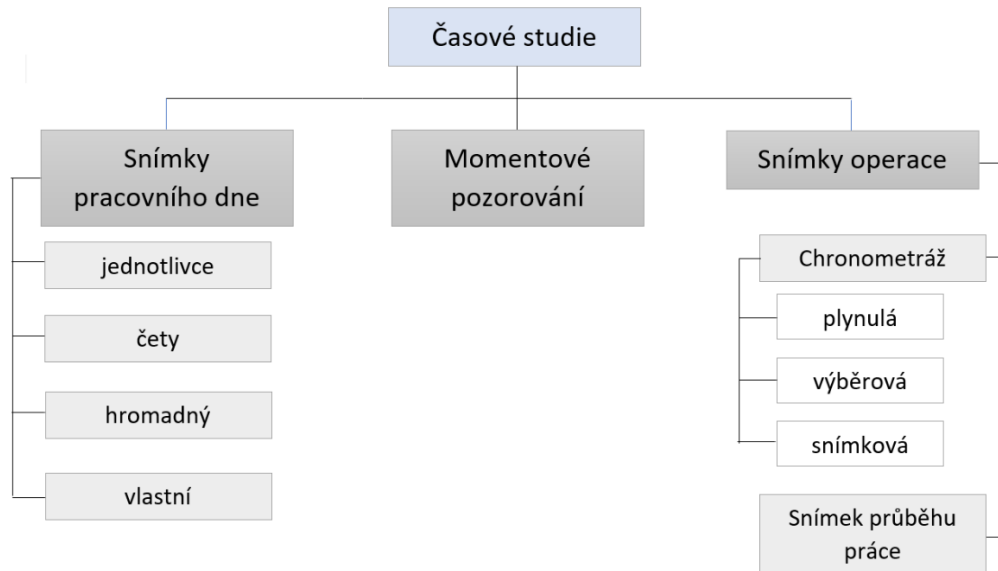
Metody pro přímé měření času jsou často pracné a časově náročné pro pracovníky provádějící měření, ale i nepříjemné pro pozorované operátory. V dnešní době se již používají hlavně celostátní sborníky normativů, které obsahují dříve změřené časy specifických činností v různých oborech a systémy normativů pohybů. Ovšem při zavádění nového produktu je nutné stanovit nové výrobní postupy a pomocí metod přímého měření zjistit časovou spotřebu. Stejná situace nastává v kusové nebo malosériové výrobě, kde je ovšem přímé měření, vzhledem k malé opakovatelnosti, problematické. [27]

Výsledky měření spotřeby času jednotlivých technologických a pracovních činností slouží jako podklad pro:

- Potřeby organizace, plánování a řízení práce a výroby.
- Stanovení norem času pro jednotlivé pracovní operace, které následně slouží jako měřítko výkonnosti zaměstnanců a jako podklad k vypracování účinných forem odměňování.

Měření spotřeby času je nejčastěji prováděno pomocí stopek nebo videokamery. Stopky se používají k měření času operací, jejichž doba trvání se pohybuje v řádu jednotek minut. Videokamera má pro účely měření široké použití a mezi její hlavní výhody patří snadné pořízení přesných časových údajů, opakovatelné přehrávání záznamu pro účely rozboru činností a minimální rušivý vliv na pracovníka. [27]

Aby byl podnik schopný vhodně organizovat práci a určit její normu časové spotřeby, je vhodné práci rozdělit na jednotlivé činnosti a zaměřit se na zjišťování časových ztrát, spotřeby jednotlivých činností a důvody přerušení práce. Základem časových studií jsou tradiční techniky měření spotřeby času, zobrazené na Obr. 23.



Obr. 23 - Druhy časových studií [27]

**Snímky pracovního dne** jsou metodou měření spotřeby času, při které se nepřetržitě měří a poznamenávají druhy a velikost spotřeby času během celého pracovního dne. Cílem je zjistit, kolik času pracovník stráví skutečnou prací, kolik času zabírá čas přestávek a ztrát, a jaký je jejich jednotlivý podíl. Snímky pracovního dne se dělí podle počtu pozorovaných zaměstnanců na snímky pracovního dne jednotlivce a čety a zároveň podle pracovníka, který provádí pozorování na snímky hromadné, kde pozorovatel sleduje zároveň několik pracovišť a snímky vlastní, které dělá sám pracovník pro lepší přehled. [27]

**Momentové pozorování** je metoda, která poskytuje podobné údaje jako snímek pracovního dne s tím rozdílem, že u této metody se provádí pozorování v náhodných intervalech během pracovního dne, při předem určeném počtu pozorování za den. Výsledky momentového pozorování se příliš neliší od výsledků získaných plynulým pozorováním a výhodou je výrazně nižší časová náročnost. Při velkých nárocích na podrobnost však počet nutných pozorování prudce roste. [27]

**Snímky operace** jsou metodou přímého měření skutečné spotřeby času při opakovaných pracovních operacích. Z výsledků měření lze určit časovou spotřebu jednotlivých dílčích činností i celých operací.

V praxi se můžeme setkat se třemi druhy snímků operace:

- Plynulá chronometráž – nepřetržitě se měří časový průběh operace s pravidelným, předem známým, sledem dílčích úkonů.
- Výběrová chronometráž – měří se jen vybrané části operace.
- Snímková chronometráž – sleduje pracovní operace s nepravidelným cyklem.



### 3 Ergonomie montážní linky

V kapitole Ergonomie montážní linky se budu zabývat především ergonomií práce. Nejprve představím ergonomii v obecném měřítku a poté zmíním právní hranice pro ergonomii na pracovišti. Při montáži, jako samozřejmě ve všech odvětvích strojního průmyslu, dochází k interakci člověka s technikou. A proto musí být nastavena opatření a z nich vycházející limity, aby nedocházelo k ohrožení zdravotní i duševní pohody zaměstnance.

#### 3.1 Ergonomie

Ergonomie je mezioborový vědní obor, který řeší vztah mezi člověkem a technickými systémy. Pochází ze spojení slov „ergo“, což znamená práce a „normos“, znamenající zákon. Díky rozvoji techniky a vědy odstartoval vznik nových strojů, technologií a zařízení. V důsledku toho jsou kladeny větší požadavky na schopnosti a dovednosti pracovníků, což může vést k přetížení pracovníka. A právě hlavním cílem ergonomie je zohlednění limitů pracovníka a všech jeho omezení již při plánování pracoviště (technického projektu). Ergonomie nezajišťuje pouze bezpečnost pracovního prostředí, ale také vytváří podmínky pro produktivnější a efektivnější pracovní činnost. [28]

Rozdělit ergonomii lze také na ergonomii práce a ergonomii výrobku. Základní rozdíl je ten, že při ergonomii práce dbáme na to, aby zaměstnanec během pracovní činnosti nevykonával nic, co by mohlo narušit jeho zdraví – definované pracovní pohyby, limity pracovní zátěže atd. U ergonomie výrobku se bere zřetel na působení možných rizik při používání výrobku člověkem a z toho možné působení nebezpečí – přenos vibrace například od strojních zařízení, špatný tvar, nebo nevhodné ozvučení.

Základní rozdělení ergonomie:

**Fyzická ergonomie** se zabývá vlivem pracovního prostředí na lidské zdraví. Využívá poznatky z anatomie, fyziologie, antropometrie, biomechaniky a dalších věd. Popisuje například problematiku pracovních poloh, bezpečnosti práce, manipulace s břemeny, či profesně způsobených onemocnění.

**Psychická (kognitivní) ergonomie** se zaměřuje na psychologické aspekty pracovní činnosti. Kognitivní ergonomie tedy zahrnuje paměť, vnímání a usuzování. Zabývá se psychickou zátěží, výkonností, interakcí člověk – technika a pracovním stresem. Vědecké studie ukazují, že psychická zátěž je mnohdy horší než zátěž fyzická.

**Organizační ergonomie** řeší optimalizaci sociotechnických systémů a jejich struktur. Orientuje se na problematiku samotného lidského faktoru v systému, týmovou práci, odpočinek a sociální klima na pracovišti.

### 3.2 Legislativa v ergonomii

K úpravě ergonomických požadavků a doporučení, která jsou nezbytná pro správný ergonomický chod na pracovišti, slouží v České republice řada právních ustanovení jako jsou zákony, nařízení vlády, směrnice, vyhlášky, předpisy, normy a úmluvy mezinárodní organizace práce (MOP).

Mezi nejhlavnější patří:

- **Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.**, které stanovuje podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. Doplněné o znění pozdějších předpisů.
- **Zákon č. 258/2000 Sb.**, jenž upravuje ochranu veřejného zdraví a změnu některých souvisejících předpisů.
- **Zákon č. 262/2006 Sb.** – zákoník práce.
- **Nařízení vlády č. 176/2008 Sb.**, které stanovuje technické požadavky na strojní zařízení.
- **Vyhláška ministerstva 432/2003 Sb.**, která stanovuje podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli. Novelizovaná v roce 2015.
- **90/269 Směrnice Rady EU** o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při ruční manipulaci s břemeny, při níž je riziko poškození páteře zaměstnanců.
- **89/655 Směrnice Rady EU** o minimálních bezpečnostních a zdravotních požadavcích na používání pracovního zařízení zaměstnanci při práci.
- **89/654 Směrnice Rady EU** o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví na pracovišti. [29] [30]

V neposlední řadě je součástí legislativy v ergonomii také řada norem ČSN:

- **83 3501** Metodologické a terminologické základy uplatňované při projektování pracovních systémů (strojů).
- **83 3585** Ovladače a sdělovače – požadavky na navrhování, interakce člověka s přístrojem.

- **83 3591** Akustické a vizuální signály nebezpečí a signály informační.
- **83 3502** Antropometrie a biomechanika – fyzikální výkonost člověka a osobní ochranné prostředky. [31]

### 3.3 Základní pojmy

- Pracovní prostředí – prostor určený pro pracovní činnost pracovníka. Zahrnuje vybavení pracoviště (stroje, manipulátory, nářadí), charakter činností na pracovišti, vztahy mezi spolupracovníky, bezpečnost pracovníků a další.
- Pracoviště – prostor, přidělený pracovníkovi nebo skupině pracovníků k výkonu jejich pracovní činnosti.
- Pracovní místo – vymezený prostor pro daného pracovníka, který vykonává konkrétní technologický proces ve výrobě.
- Pracovník – člověk, který koná pracovní činnost.

Vztahy mezi činiteli pracovního prostředí jsou zobrazené na Obr. 24. [28] [32]



Obr. 24 - Činitelé pracovního prostředí [32]

### 3.4 Ergonomie pracoviště

Ergonomie pracoviště je vědní obor, který se zabývá fyzickými a duševními potřebami člověka a úzce souvisí s bezpečností a ochranou zdraví při práci. Při ergonomickém plánování pracoviště je zapotřebí brát v potaz několik prvků: [28]

- Druhy pracovních činností nebo konkrétní činnost, která se bude na daném pracovišti vykonávat.
- Nejčastější polohy pracovníka při vykonávání konkrétní pracovní činnosti.

- Organizace práce na pracovišti.
- Vybavenost pracoviště (stroje, nástroje, ochranné pomůcky).
- Časová vytíženost pracoviště.
- A v neposlední řadě neméně důležité hygienické a bezpečnostní předpisy dané firmy.

Do ergonomie práce počítáme i některé extrémní vlivy, které mohou působit na pracovišti, jako jsou například nebezpečná hladina hluku, špatná přístupnost pracoviště či nevhodné osvětlení. Touto problematikou se zabývá následující podkapitola.

### **3.4.1 Fyzikální faktory prostředí pracoviště**

Fyzikální faktory jsou okolnosti, které mohou nejenže narušit pracovní pohodlí pracovníka, ale také ohrozit jeho bezpečí a zdraví během výkonu pracovní činnosti. Mezi fyzikální faktory patří hluk, osvětlení, vibrace, teplota a vlhkost ovzduší, biologické, chemické či psychicko-sociální faktory. [28]

#### **Hluk**

Hluk je zvukový jev, který vyvolává nepříjemný, v krajních případech až škodlivý sluchový vjem. Jeho výskyt je právě často způsobován prací strojní techniky ve výrobních pracovištích. Pro vhodné pracovní prostředí je určena hladina hluku 85 dB. Pokud hluk nepůsobí po dobu celé směny pracovníka a je krátkodobý, stanovuje se základní hladina hluku pomocí přičtení nebo odečtení korekce. [28]

#### **Vibrace**

Vibrace, neboli chvění, jsou pohyby prostředí, jehož body mechanicky kmitají. Otřes je proces, během kterého se změní poloha soustavy a je charakterizován náhlou změnou určující veličiny. Vibrace a otřesy vznikají na pracovišti z rotujícího nástroje, který pracovník drží v ruce a jsou tak na něj přenášeny. Vznikat také můžou od stroje, který pracovník obsluhuje. Kvůli působení vibrací na pracovníka se u něj může projevit únava, zhoršení reakcí či zvýšení napětí svalů. Zamezit vibracím můžeme například antivibračními rukojeťmi, pružnými materiály či častějším střídáním pracovníků u stroje. [28]

#### **Osvětlení**

Špatně zvoleným osvětlením pracoviště se může snížit produktivita pracovníků až o 30 %. Nejvhodnější variantou osvětlení je kombinace přirozeného světla s umělým. U umělého světla by se mělo jednat o kombinaci stropního a lokálního (bodového) nasvícení. Za standardní intenzitu osvětlení pracoviště je považováno 300 lx (luxů). [28]

### **Teplota a vlhkost ovzduší**

Teplota pracovního prostředí musí odpovídat tepelné hodnotě lidského těla. Správná teplota prostředí má dokonce větší vliv na pracovníka než hluk. Za správnou (ideální) teplotu na pracovišti lze považovat teplotu, která vyhovuje 90 % pracovníků nacházejících se na daném pracovišti. Doporučená teplota pracoviště je 22°C. Co se týče vlhkosti prostředí, doporučené hodnoty se pohybují mezi 30–70 %, závisí však na druhu vykonávané činnosti a ročním období. V dnešní době již ideální teplotu a vlhkost ovzduší zajišťují klimatizační zařízení či větrací zařízení, které přivádějí čerstvý vzduch z venkovních prostor. [28]

### **Biologické faktory**

Biologické faktory, živé organismy a vše co vyprodukují, jsou pro pracovníky nebezpečné hlavně v tom, že se rychle rozmnožují a mohou jim způsobit různé alergie či infekční nemoci. Mezi biologické faktory patří viry, bakterie a plísňe. [28]

### **Chemické faktory**

Chemickými faktory je myšlen dlouhodobější kontakt pracovníka se škodlivými látkami. Škodlivé chemické látky mohou pracovníka ohrozit ve skupenství plynném (pára), pevném i kapalném skupenství. Další způsob ohrožení je kontakt pracovníka s chemikálií (kontaminace přes kůži pracovníka). [28]

### **Psychicko-sociální faktory**

Tyto faktory nejsou důležitým aspektem pro návrh samotného pracoviště, avšak jsou důležitým faktorem, který ovlivňuje výkonost pracovníka. Hlavním faktorem je stres, mezi další faktory může patřit monotonie, časový přes či sociální interakce. [28]

### **3.4.2 Fyzická zátěž a její limity**

Fyzická zátěž může být dynamická nebo statická (nedochází k pohybu svalu). Celková fyzická zátěž (CFZ) má své limity, viz Tab. 1. Limity CFZ jsou limity, které jsou pevně stanoveny a nenavyšují se během základní osmihodinové směny. Směny, které jsou delší, nemohou být navýšeny o více než 20 %. [33]

Tab. 1 - Hygienické limity energetického výdeje při práci v CFZ [33]

Přípustné a průměrné hygienické limity energetického výdeje při práci s CFZ			
Energetický výdej	Jednotky	Muži	Ženy
Směnový průměrný	MJ	6,8	4,5
Směnový přípustný	MJ	8	5,4
Roční průměrný	MJ	1600	1060
Minutový přípustný	$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$	34,5	23,7
	W	575	395

Co se týče hygienických limitů manipulace s těžkými břemeny, i zde je rozdíl pohlaví. Pro muže platí:

- do 50 kg občasné zvedání a přenášení
- do 30 kg při častém zvedání a přenášení
- při práci v sedě manipulace s břemenem do 5 kg
- kumulativní hmotnost pro osmihodinovou směnu je 10 000 kg [33]

Ženy:

- do 20 kg občasné zvedání a přenášení
- do 15 kg při častém zvedání a přenášení
- při práci v sedě manipulace s břemenem do 3 kg
- kumulativní hmotnost pro osmihodinovou směnu je 6 500 kg [33]

### 3.4.3 Optimální pracovní polohy

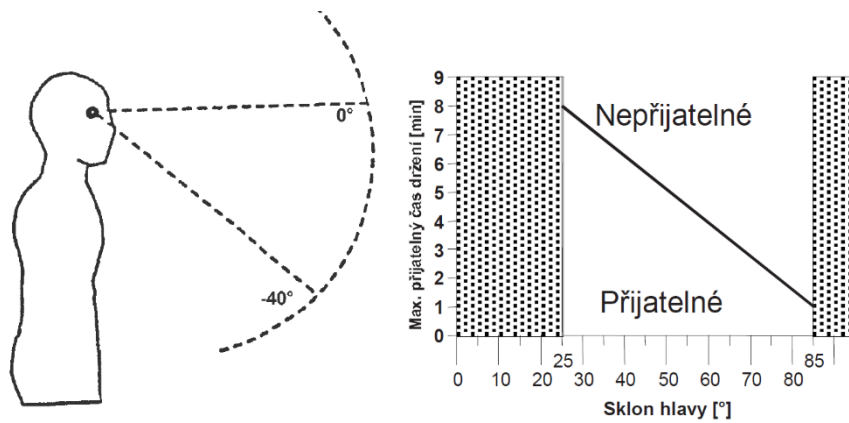
Výkon dané pracovní činnosti je spojen s různými pracovními polohami. Pracovní polohy, které ale pracovník vykonává během výkonu práce, nejsou vždy ideální. Nejkritičtější jsou především stereotypní práce, při kterých dochází k opakovanému zatížení jen některých částí těla. Z hlediska zdravotního rozdělujeme pracovní polohy přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné. Pracovní polohu ovlivňuje především charakter a druh vykonávané práce, rozměry pracovního prostoru a uspořádání pracovního místa. [28] [34]

- Pracovní poloha přijatelná – zdravotní riziko je malé či zanedbatelné, není zde nutné opatření
- Pracovní poloha podmíněně přijatelná – existuje zvýšené zdravotní riziko, analýza dalších možných rizik, poskytnuta vhodná opatření

- Pracovní poloha nepřijatelná – zdravotní riziko nepřijatelné, nutná konstrukční opatření

### Hlava a krk

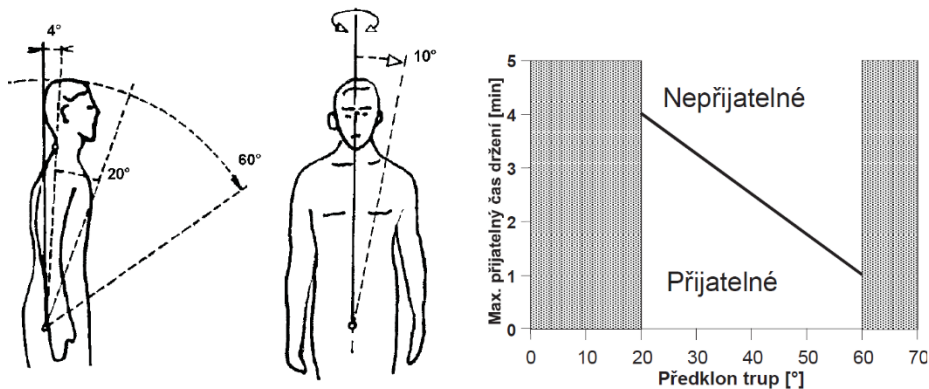
Pro hodnocení polohy hlavy a krku vycházíme buď z úhlu pohledu nebo z velikosti sklonu úhlu hlavy vůči vertikální rovině, viz Obr. 25. Za nepřijatelný se považuje předklon hlavy větší než 25° bez podpory trupu, záklon hlavy bez podpory celé hlavy a úklon a rotace hlavy větší než 15°. [34]



Obr. 25 - Poloha hlavy a krku pro hodnocení [34]

### Trup

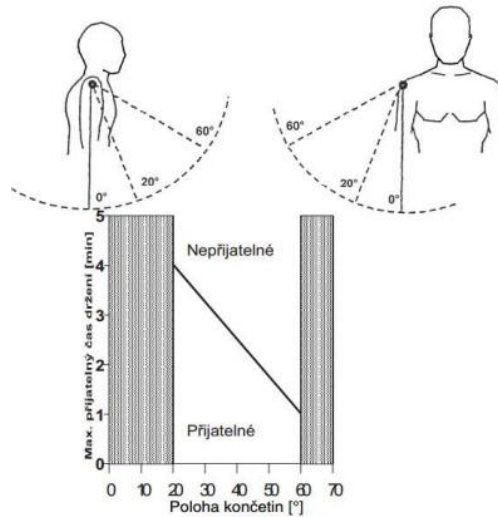
Určení správné polohy trupu se volí dle polohy pátého výrůstku sedmého krčního obratle a horní hrany velkého chocholíku. Tyto dva body určují neutrální polohu trupu. Hodnocení je provedeno změřením úhlu, který je svírán trupem a vertikální rovinou, viz Obr. 26. Za nepřijatelné se považuje předklon trupu o více než 60% a výrazný úklon či pootočení trupu větší než 20°. [34]



Obr. 26 - Poloha trupu pro hodnocení [34]

### Horní končetiny

Pro hodnocení horních končetin jsou potřeba dva body – vnější část klíční kosti a loketní kloub. Hodnotí se úhel mezi neutrální polohou paže (volně visí podél těla) a vzpaženou horní končetinou, viz Obr. 27. Za nepřijatelné se považuje nevhodná poloha paže (zpětné ohnutí paže, krajní zevní rotace). [34]

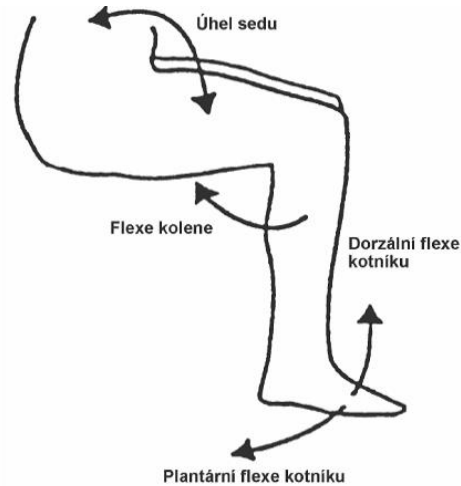


Obr. 27 - Poloha horních končetin pro hodnocení [34]

### Dolní končetiny

Ohyb kolene neboli flexe je složený pohyb z pohybu rotačního, posuvného a valivého. U dolních končetin je nepřijatelná extrémní flexe kolena a kotníku, extrémní polohy kloubů dolních končetin, jejichž rozsah se blíží maximálnímu rozpětí (např. extrémní flexe kolene, extrémní dorzální a palmární flexe v kotníku, vnitřní nebo zevní rotace kloubů dolních končetin). Tyto polohy jsou zobrazené na Obr. 28. [34]

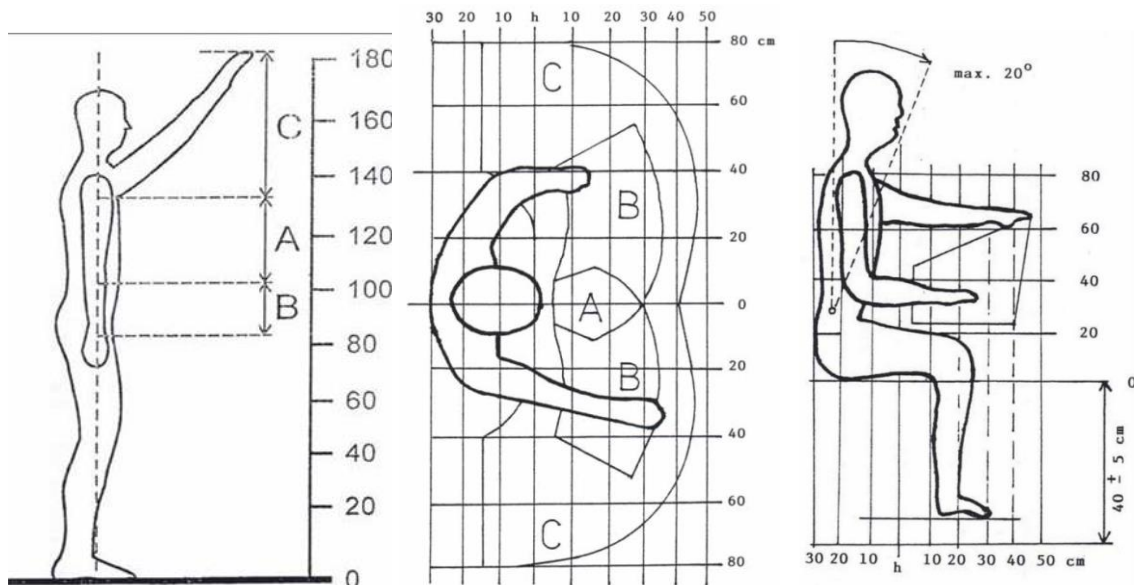




Obr. 28 - Poloha dolních končetin pro hodnocení [34]

### 3.4.4 Dosahy pracovníků

#### Dosahy horních končetin



Obr. 29 - Dosahy horních končetin [34]

A – optimální dosah, B – přijatelný dosah, C – nepřijatelný pro časté pohyby

Dosahy horních končetin pracovníků jsou zobrazené na Obr. 29.

V oblasti A jsou pohyby nejčastější a velmi přesné. Takovýto pohyb je možno vykonat až 40x za osmihodinovou směnu.

V oblastech B není nutná změna základní pracovní polohy při pohybu obou předloktí a při manipulaci s předměty a nástroji.

Oblasti C jsou oblasti maximálního dosahu a pohyby jsou v nich méně časté a pomalejší, při kterých je nutno otáčet trupem. [34]

## 4 Analýza současného stavu

Jelikož cílem bakalářské práce je zpracovat návrh nové montážní linky, je nejdříve nutné provést analýzu současného stavu a na základě reálných dat zvolit vhodné řešení. V této kapitole nejdříve představím společnost SOPO s.r.o., stručně popíšu její historii a produktové portfolio. Následně se zaměřím na montáž statoru, který je předmětem navrhované linky. Popíši proces jeho montáže, topologické rozložení současné linky a časovou náročnost jednotlivých operací.

### 4.1 Společnost SOPO s.r.o.

Společnost SOPO, s.r.o. patří mezi přední evropské lídry v oblasti navíjení a je na trhu již přes 20 let. Specializuje se na výrobu malých, středních i velkých sérií vinutých dílů (statorů i rotorů) do různých druhů elektromotorů a díky své úzké specializaci, špičkovým technologiím a obrovskému know-how, dokáže pokrýt veškeré portfolio vinutých dílů pro elektromotory. Firma má své hlavní obchodní partnery v Německu, Anglii a Holandsku a export tvoří až 90% produkce výroby. Mezi významné partnery patří například firmy Miele, Lenze, Festool, Heinzmann a další. Společnost SOPO, s.r.o., patří pod skupinu SOPO, kterou tvoří dvě další společnosti, SOPO-SERVIS, s.r.o. a SOPO INVEST, s.r.o. Za posledních 10 let se zvýšil objem produkce o 321 %, meziroční obrát se zvyšuje v průměru o 10 – 15 % ročně na zhruba 13 milionů eur.

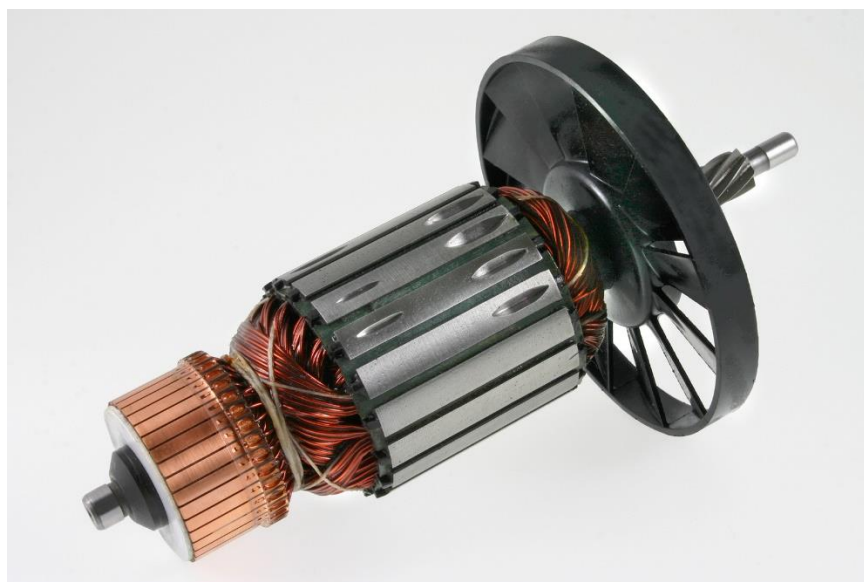
Společnost disponuje, kromě výroby, i vlastním vývojovým střediskem pro výrobu prototypů, vývoj nových výrobků, a především vývoj a výrobu nejvýhodnějších navíjecích technologií a přípravků. Aby byla společnost konkurenceschopná, vyvíjela se a nadále patřila mezi špičky ve svém oboru, každý rok investuje velké množství finančních prostředků do vývoje nových navíjecích technologií a technologických řešení. V roce 2012 a 2013 činila investice 0,8 milionů eur a v roce 2014 přes 0,3 milionů eur.

#### SOPO, s.r.o.

Firma SOPO, s.r.o. se zabývá, jak už bylo řečeno, navíjením statorů i rotorů pro elektromotory, které jsou následně expedovány zákaznickým firmám, kde se motory uplatňují například v domácích spotřebičích, elektrokolech, ručních nářadích atd. Na Obr. 30 a Obr. 31 je zobrazeno několik produktů firmy SOPO, s.r.o. [35]



Obr. 30 - Stator [35]



Obr. 31 - Rotor [35]

#### 4.1.1 Historie společnosti

Společnost byla založena v roce 1993 a nejdříve začínala opravami elektromotorů z malé garáže rodinného domu v Modleticích. Téhož roku se firma přestěhovala do větších prostor v Modleticích, kde začala převíjet elektromotory, čerpadla a elektrické nářadí pro tuzemské zákazníky. První malosériová výroba se datuje do roku 1996, kdy firma začala vyrábět komutátorové rotory a postupem času je začala vyvážet i do zahraničí. V roce 1999 byla založena společnost SOPO SERVIS, s.r.o., aby se oddělila výroba rotorů od servisu. O rok později byla otevřena nová provozovna v Jílovém u Prahy, kvůli výrobě speciálních vinutých dílů. Ve stejném

roce byla založena společnost SOPO MOTOR, s.r.o. z důvodu rozšíření výrobních prostor a kapacit o výrobu statorů. V roce 2004 byla uvedena do provozu první plnoautomatická navíječka na výrobu komutátorových rotorů. Od roku 2005 se firma postupně rozrůstala a otevírala nové provozovny. V roce 2013 došlo k otevření nového střediska Vývoj, z důvodu neustále zvyšující se potřeby na výrobu prototypů a vývoj nových produktů. V roce 2015 byla založena společnost SOPO INVEST, s.r.o., která vznikla pro spravování nemovitostí. V roce 2018 byla naplánována výstavba nové administrativně-výrobní centrály (Obr. 32), která se o rok později úspěšně dokončila. [35]



Obr. 32 - Nová výrobní hala SOPO, s.r.o. a sídlo firmy [35]

## 4.2 Proces montáže statoru

Stator je nepohyblivá část elektromotoru, složená z plechů s drážkami. V těchto drážkách se nachází izolované trojfázové vinutí, které představují měděné dráty. Vinutí je rozděleno do tří částí stejné velikosti posunutých o  $120^\circ$ , takže vytvářené napětí bude mít stejný posuv potřebný pro zapojení do rozvodné elektrické sítě. Právě stator je předmětem montáže analyzované linky a jednotlivé fáze jsou popsány v následujících podkapitolách.

### 4.2.1 Navíjení

Operace navíjení začíná dopravením potřebného materiálu k pracovnímu stolu. Jedná se o navíjený drát a segment cívky. Poté se tři segmenty upevní do pomocného přípravku a vloží do navíječky. Počet segmentů v jednom přípravku je závislý na počtu segmentů ve statoru.

Například při výrobě statoru s devíti segmenty se při navíjení nejdříve vytvoří jedna fáze, což odpovídá třem segmentům. Do drážek segmentů se vloží drážková izolace, aby nedošlo ke zkratu mezi vinutím a kostrou statoru, zavede se drát a spustí se automatické navíjení. Po skončení programu se konce drátů zapletou do sebe, dojde k uvolnění fáze z přípravku a následně se odloží na vozík, který poté putuje na další operaci, kterou je skládání. Pracoviště navíjení je zobrazeno na Obr. 33.



Obr. 33 - Pracoviště navíjení

Činnosti operátora na pracovišti navíjení:

- 1) Složení přípravku
- 2) Upnutí do stroje
- 3) Vložení drážkové izolace
- 4) Zavedení drátu
- 5) Navíjení
- 6) Úprava drátu a následné vyndání přípravku
- 7) Otevření přípravku
- 8) Vyndání segmentů (fáze)
- 9) Odložení segmentů (fáze) na stůl

Při výpočtech je nutné si uvědomit, že se stator skládá ze tří fází, tudíž veškeré uvedené činnosti bude pracovník dělat třikrát.



#### 4.2.2 Skládání

Po první operaci, kterou je navíjení, se musí jednotlivé segmenty složit do finální kruhové podoby. Operace skládání začíná přípravou segmentů na pracovní stůl a vložení dalších drážkových izolací pro odizolování měděných drátů. Po dokončení aplikace izolací se fáze vloží do pomocného přípravku. Tento proces se opakuje třikrát z důvodu tří fází. Poté, co jsou všechny fáze v přípravku, operátor nasadí dvě objímky a utáhne je nejdříve elektrickým a po vyjmutí statoru z přípravku také ručním šroubovákem. Následně se na dráty nasadí bužírky, vybrané dráty se smotají k sobě a po vizuální kontrole operátor odloží stator na vozík, který pokračuje na krimpování. Pracoviště skládání je zobrazeno na Obr. 34.



Obr. 34 - Pracoviště skládání

Činnosti operátora na pracovišti skládání:

- 1) Příprava segmentů
- 2) Nasazení drážkové izolace
- 3) Vložení fáze do skládacího přípravku

Výše uvedené činnosti bude pracovník dělat třikrát z důvodu tří fází ve statoru.

- 4) Zkrácení drátů (vývodů)
- 5) Nasazení 1. stahovacího kroužku

- 6) Srovnání segmentů v přípravku
- 7) Nasazení 2. stahovacího kroužku
- 8) Srovnání čela vinutí (izolací)
- 9) Nasazení plastové krytky
- 10) Srovnání segmentů
- 11) Ruční dotažení kroužků
- 12) Srovnání drátů (mezi fázemi)
- 13) Odložení statoru

#### 4.2.3 Krimpování

Krimpování je metoda, která je založena na nalisování konektoru na vodič při vysokém tlaku. Na tomto pracovišti se vytváří trvalé spojení několika drátů, které jsou vloženy do svorky a tlakem stlačeny. Pracoviště krimpování je zobrazeno na Obr. 35.



Obr. 35 - Pracoviště krimpování

Činnosti operátora na pracovišti krimpování:

- 1) Krimp – hvězda
- 2) Krimp – vývod 1
- 3) Krimp – vývod 2
- 4) Krimp – vývod 3
- 5) Odložení statoru



#### 4.2.4 Izolování

Na stanici izolování si nejdříve operátor připraví stator na pracovní stůl a postupně izoluje jednotlivé vývody drátů, které byly v předchozí operaci krimpovány. Na každý krimpovaný spoj se nejdříve nalepí izolační páska, kterou si operátor bere z dávkovače před sebou a poté na spoj nasadí bužírku. Po dokončení operace se stator odloží na vozík a pokračuje na operaci bandážování.

Činnosti operátora na pracovišti izolování:

- 1) Nalepení izolační pásky a nasazení bužírky (fáze 1)
- 2) Nalepení izolační pásky a nasazení bužírky (fáze 2)
- 3) Nalepení izolační pásky a nasazení bužírky (fáze 3)
- 4) Nalepení izolační pásky a nasazení bužírky (hvězda)
- 5) Odložení statoru

#### 4.2.5 Bandážování

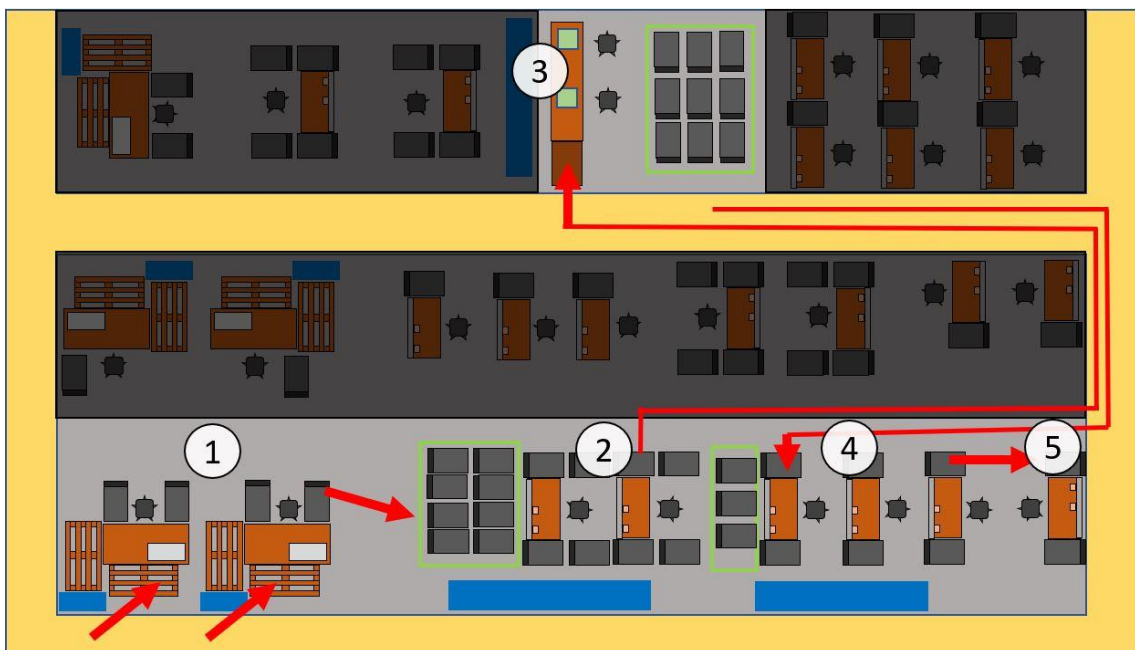
Bandážování statoru je, dle mého názoru, jedna z nejsložitějších a nejnamáhavějších operací při jeho výrobě. Cílem bandážování je pevně připevnit dráty k tělu statoru. Na začátku je nutné nejdříve srovnat čela vývodů, aby nezasahovala do vnitřního prostoru statoru a následně je všechny semknout k sobě pomocí bužírky. Poté se vezme bandážovací provázek a vytvoří se první uzel. Po bandáži celého obvodu statoru se na konci udělá uzel a přebytečná bandáž se odstříhne.

Činnosti operátora na pracovišti bandážování:

- 1) Srovnání čela vinutí – vývodů jednotlivých fází
- 2) Nasazení bužírky na vývody
- 3) Příprava bandáže
- 4) „Zavedení,, bandáže (uzel)
- 5) Bandážování
- 6) Zakončení bandáže (uzel)
- 7) Zastřížení přebytečné bandáže
- 8) Zarovnání čela vinutí

### 4.3 Současný layout

V současné době je pracoviště rozděleno podle různých operací. Nejdříve se výchozí materiál (měděné dráty a segmenty) přiveze ze skladu na pracoviště navíjení. Dráty jsou uloženy na palety a segmenty na vozíky. Po dokončení každé operace se meziproduct odloží na pojízdný vozík a dopraví se na další pracoviště. Jak je vidět na Obr. 36, všechny operace se nachází na jedné lince, až na operaci krimpování, která je z důvodu vyšší pořizovací ceny krimpovačky, společná pro více linek.



Obr. 36 - Layout současného pracoviště

- Stanoviště č.1 – Navíjení
- Stanoviště č.2 – Skládání
- Stanoviště č.3 – Krimpování
- Stanoviště č.4 – Izolování
- Stanoviště č.5 – Bandážování

Na Obr. 36 jsou zeleně vyznačené buffery s rozpracovaným materiálem, které na lince zabírají výrazné množství prostoru a mimo jiné i omezují průchod linkou. Žlutě jsou označený obslužné cesty. Vedle stanoviště skládání a izolování jsou vysoké regály s materiálem, které jsou ergonomicky nevhodné a pracovník častým chozením pro materiál ztrácí čas.

### 4.3.1 Časy jednotlivých operací

Pro názornost současného stavu linky jsou uvedeny časy jednotlivých operací, které jsou kvůli bakalářské práci pozměněny a neodpovídají realitě. Výroba na současné lince probíhá v dávkách, takže dokud se nedokončí jedna operace, nemůže začít druhá. Jak je vidět v Tab. 2, zdaleka časově nejnáročnější operací ve výrobním procesu je skládání. Je tedy patrné, že abychom dosáhli kontinuálního výrobního toku na lince, bude zapotřebí operaci skládání rozdělit do více samostatných úseků.

Tab. 2 - Časová náročnost operací

Operace	Čas (s)
Navíjení	321,3
Skládání	690,9
Krimpování	42
Izolování	67,2
Bandážování	350,7

### 4.4 Shrnutí současného stavu

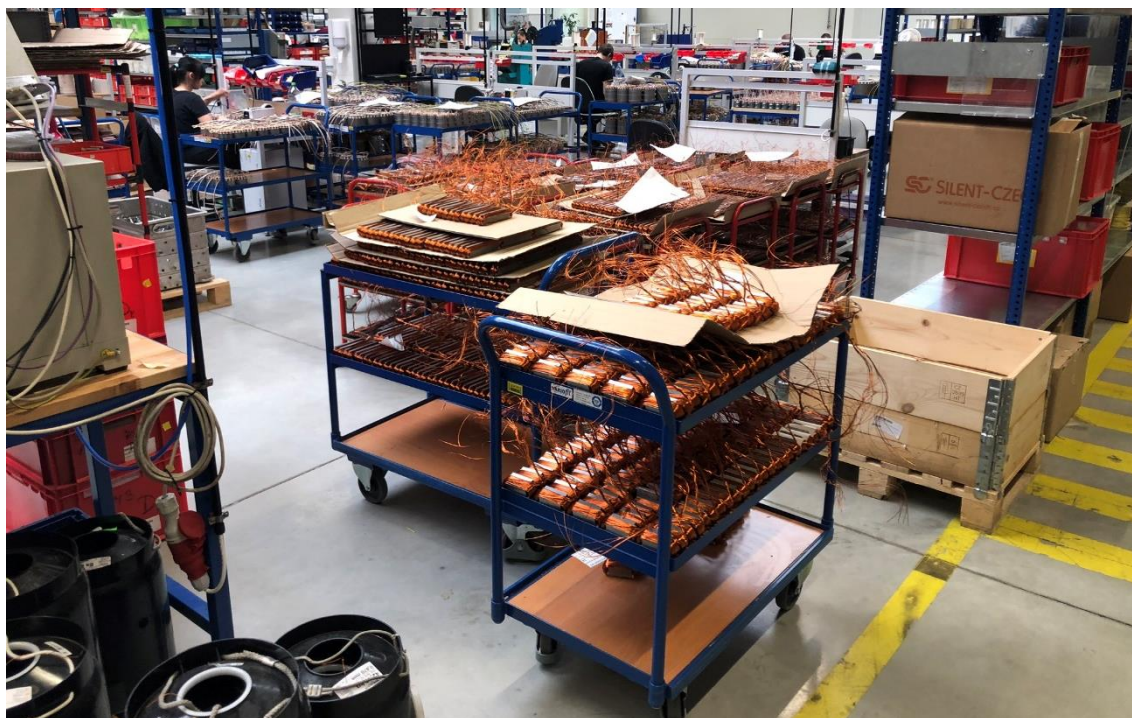
V následující kapitole budou popsány hlavní omezující faktory, na které je nutné se zaměřit pro zhodnocení současného stavu linky. Tyto faktory je z hlediska štíhlé výroby nutné odstranit, nebo alespoň co nejvíce omezit.

Mezi tyto faktory patří:

- Rozpracovaná výroba
- Vysoké regály
- Nevhodné ergonomické řešení
- Linka zabírá moc místa
- Linka není flexibilní
- Příliš vysoké manipulační časy

Jedním z omezujících faktorů je hromadění rozpracované výroby na vozících (Obr. 37). Vozíky se nejvíce hromadí před stanovištěm skládání, ale nachází se u každého pracovního stolu. Nahromaděná rozpracovaná výroba výrazně zvyšuje průběžnou dobu výroby a zabírá velké

množství prostoru, který by mohl být využitý efektivněji. Z jiného úhlu pohledu na sebe rozpracovaná výroba také váže kapitál.



*Obr. 37 - Rozpracovaná výroba na vozících*

Na Obr. 38 jsou vysoké regály kolem pracovní linky, v kterých jsou uloženy díly pro montáž statoru. Pracovník má na svém stole jen omezený počet komponent a když mu dojdou, musí se zvednout, najít je v regálu a přinést si je na svůj stůl. To má za následek přerušení pracovní činnosti a prodloužení průběžné doby výroby. Z ergonomického hlediska je sice výhodné se jít projít, ale celkově toto řešení není příliš vhodné z důvodu snášení objemných krabic z regálu a možnosti zranění.



*Obr. 38 - Regály s materiálem*

Při práci operátoři většinu času sedí. V ideálním případě by operátor měl svojí pracovní polohu po nějakém čase změnit, aby nedocházelo k přetěžování určitých svalových skupin a možnému zranění.

Jak je vidět na layoutu současného pracoviště (Obr. 36), montážní linka zabírá velké množství prostoru. Způsobené je to hlavně velkým množstvím vozíků s rozpracovanou výrobou.

Z důvodu velké vzdálenosti mezi pracovišti jsou vysoké manipulační časy. Operátoři musí rozpracované díly uložit na vozík a ten poté přepravit na další operaci. Nejdelší vzdálenost musí pracovník urazit mezi stanicí krimpování a skládání, respektive izolování, kde se musí obejít celá linka.

## 5 Návrh montážní linky s použitím One Piece Flow

Tato kapitola se zabývá návrhem nové montážní linky. Nejdříve je představeno, v čem One piece flow spočívá a co je cílem nového návrhu. Následně jsou v podkapitolách rozebrány různé varianty z hlediska počtu operátorů a uspořádání linky, z kterých se vybere optimální řešení, které bude detailněji popsáno.

Protože nová linka bude postavená na koncepci One Piece Flow, je vhodné ještě jednou zmínit jeho základní principy. One Piece Flow je technika výroby, která je postavená na principu kontinuálního výrobního toku. Produkty se výrobou pohybují prakticky bez čekání. Cílem zavedení One Piece Flow do výroby je snížení výrobní dávky na velikost jednoho kusu, snížit rozpracovanost výroby, snížit průběžnou dobu výroby, zvýšit flexibilitu výroby, odstranit plýtvání a zvýšit přehlednost ve výrobě.

Jelikož hlavním problémem stávající linky je velké množství rozpracované výroby a vysoká průběžná doba výroby, je zavedení tohoto konceptu výroby vhodné a jeho implementací je možné zmiňované aspekty minimalizovat, či úplně odstranit. V kapitole 2.7.4 již bylo zmíněno několik kritérií, které musí optimalizovaný proces splňovat. Jedná se především o opakovatelnost výroby, nezávadnost vyráběných kusů, neustálou připravenost strojů k práci a v neposlední řadě musí být proces možný škálovat, podle doby taktu.

### 5.1 Specifikace nové montážní linky One Piece Flow

V návrhu nové montážní linky je nutné se zaměřit na eliminaci nedostatků stávající linky. V tomto případě bude navržena jednotná montážní linka, kde budou jednotlivá pracoviště poskládána těsně za sebe. Pracovníci budou s výrobky přecházet nebo si je předávat na pracovní stoly, kde bude prostor na jeden, maximálně dva rozpracované výrobky. Tím pádem dojde k odstranění vozíků a úspoře velkého množství prostoru. Dalším nutným krokem je přesun krimpovačky do prostoru nového pracoviště. Kdyby k tomuto kroku nedošlo, nebylo by možné zavést One Piece Flow a stále by se musela převážet rozpracovaná výroba na jinou linku a poté zase zpátky.

Umístěním pracovních stolů s vestavěnými regály také odpadne nutnost mít vedle linky regály s materiálem (viz Obr. 38). Pracovník bude mít v dosahové vzdálenosti potřebné součástky v menších bedničkách a nebude ztrácet čas zásobováním pracoviště. Celý proces zásobování linky bude mít na starost jiný pracovník.

Při návrhu se budu orientovat na hrubý návrh z pohledu počtu pracovníků a z pohledu topologie linky a poté navrhnu konečný návrh linky.

## 5.2 Návrh taktu linky v závislosti na počtu pracovníků

Výrobní takt je v případě, kdy nelze operaci rozdělit mezi více operátorů, určený operací s největší časovou náročností. Pro úspěšné zavedení One Piece Flow je nutné, aby byli všichni pracovníci na lince pokud možno stejně časově vytíženi. Pokud jsou operace mezi pracovníky rozděleny nevhodně, dochází k čekání na materiál, nebo v opačném případě nahromadění rozpracované výroby, což může vést k časovému presu daného pracovníka a snížení kvality odvedené práce.

V rámci návrhu nové montážní linky jsem se rozhodl porovnat možnosti zapojení 3, 4 a 5 pracovníků do výrobního procesu na lince. Jak je patrné z Tab. 2 v kapitole 4.3.1, časově nejnáročnější operací je skládání, kterou bude nutné rozdělit mezi více pracovníků pro zajištění kontinuálního výrobního toku. Jednotlivé návrhy jsou podrobněji rozebrány v následujících kapitolách.

### 5.2.1 Takt pro 3 operátory

Ideální a reálný takt linky při práci tří operátorů je zobrazen v Tab. 3. Jelikož není možné rozdělit jednotlivé operace tak, aby byli všichni pracovníci stejně vytíženi, vznikají mezi nimi rozdíly, přičemž největší rozdíl je 60,9 sekund mezi druhým a třetím operátorem. Takt je stanovený druhým operátorem a ostatní pracovníci na něj budou čekat. V Graf 1 je zobrazená časová vytíženost pro 3 operátory. Je nutné si ale uvědomit, že uvedené časy jsou pouze orientační a u každého operátora se budou lišit. Přebývajícím časem může pracovník strávit úklidem pracoviště, nebo rychlým občerstvením.

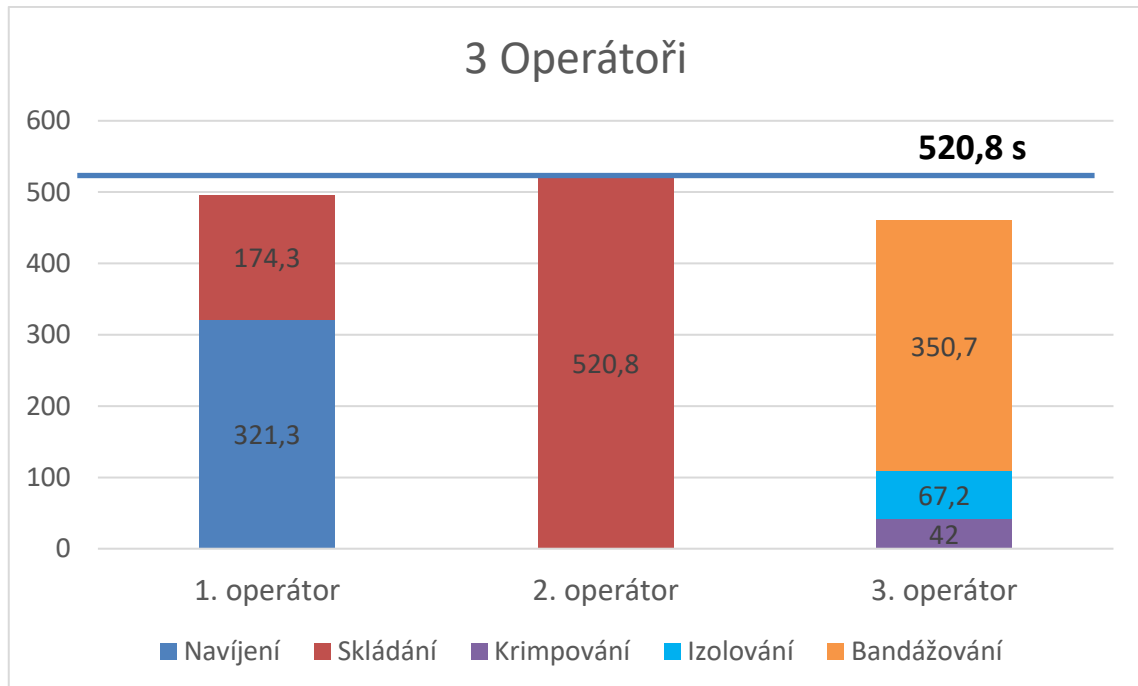
Tab. 3 - Takt pro 3 operátory

Ideální takt (s)	Reálný takt (s)	Největší rozdíl (s)
492,1	520,8	60,9

Operátor č.1 má ve své pracovní náplni 2 operace. Jedná se o operaci navíjení, kterou dokončí celou (navinutí tří fází) a poté si vezme jednu fázi statoru a nasadí na ni drážkovou izolaci, čímž už vykonává část operace skládání. Poté vezme všechny 3 fáze a předá je dalšímu operátorovi.

Operátor č.2 vykonává celou operaci skládání, kromě nasazení izolace na první fázi, což již bylo provedeno operátorem č.1.

Operátor č.3 má ze všech nejrozmanitější pracovní náplň. Nejdříve začne krimpováním, poté přejde na izolování a konečnou operací je bandážování.



Graf 1 - Časová vytiženost pro 3 operátory

### 5.2.2 Takt pro 4 operátory

Ideální a reálný takt linky při práci čtyř operátorů je zobrazen v Tab. 4. Jak je patrné z Graf 2, vybalancování linky pro 4 operátory je ze všech možností nejlepší. Takt je určen prvním operátorem a největší rozdíl vzniká u čtvrtého operátora. Jak již bylo řečeno, časy se mohou měnit v závislosti na zručnosti či únavě pracovníka.

Tab. 4 - Takt pro 4 operátory

Ideální takt (s)	Reálný takt (s)	Největší rozdíl (s)
369,1	388,5	37,8

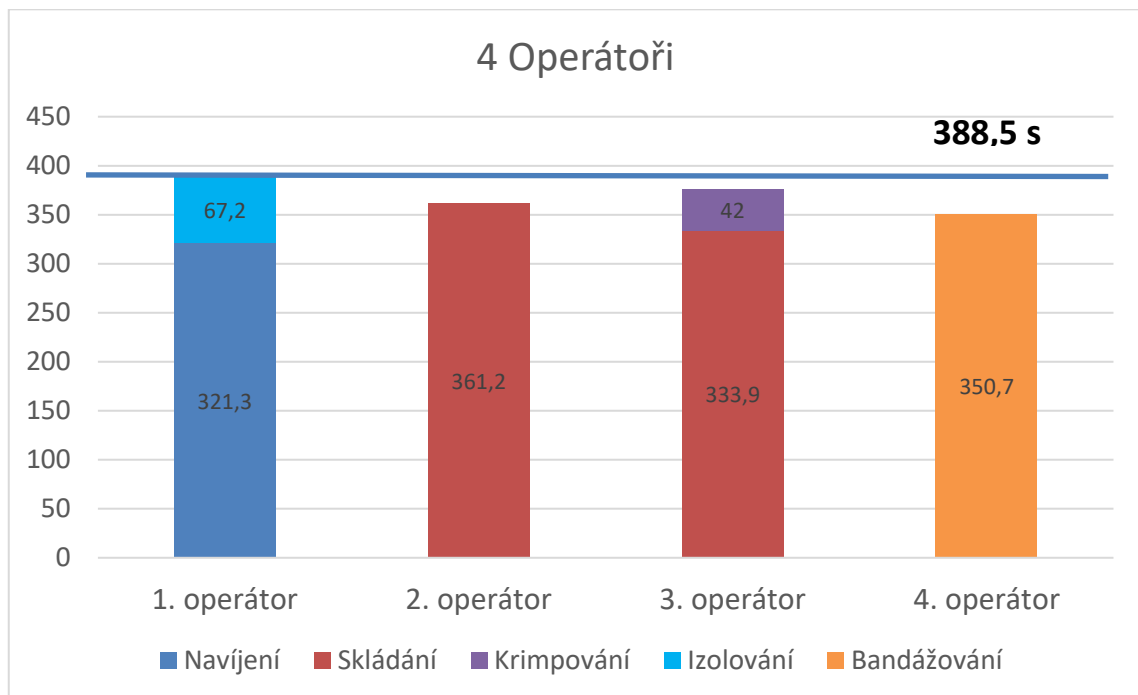
Operátor č.1 má pracovní náplň složenou ze 2 operací, přičemž bude muset přecházet mezi stanovišti. Nejdříve dokončí navíjení a poté přejde na izolování.



Operátor č.2 je plně vytížen částí operace skládání. Konkrétně se jedná o nasazení drážkové izolace na 2 fáze statoru. Poslední fázi přenechá operátorovi č.3.

Operátor č.3 nejdříve nasadí izolaci na poslední ze tří fází, poté dokončí celou operaci skládání a pokračuje krimpováním.

Operátor č.4 pracuje pouze na bandážování.



Graf 2 - Časová vytiženost pro 4 operátory

### 5.2.3 Takt pro 5 operátorů

Ideální a reálný takt linky při práci pěti operátorů je zobrazen v Tab. 5. Ze všech možností má linka pro 5 operátorů sice logicky nejnižší takt, určený prvním operátorem, ale rozdíl mezi prvním a druhým pracovníkem je v porovnání s taktům opravdu vysoký. Časová vytiženost pro 5 operátorů je zobrazená v Graf 3. Z mého pohledu je tato možnost nejméně vhodná.

Tab. 5 - Takt pro 5 operátorů

Ideální takt (s)	Reálný takt (s)	Největší rozdíl (s)
295,2	321,3	44,1

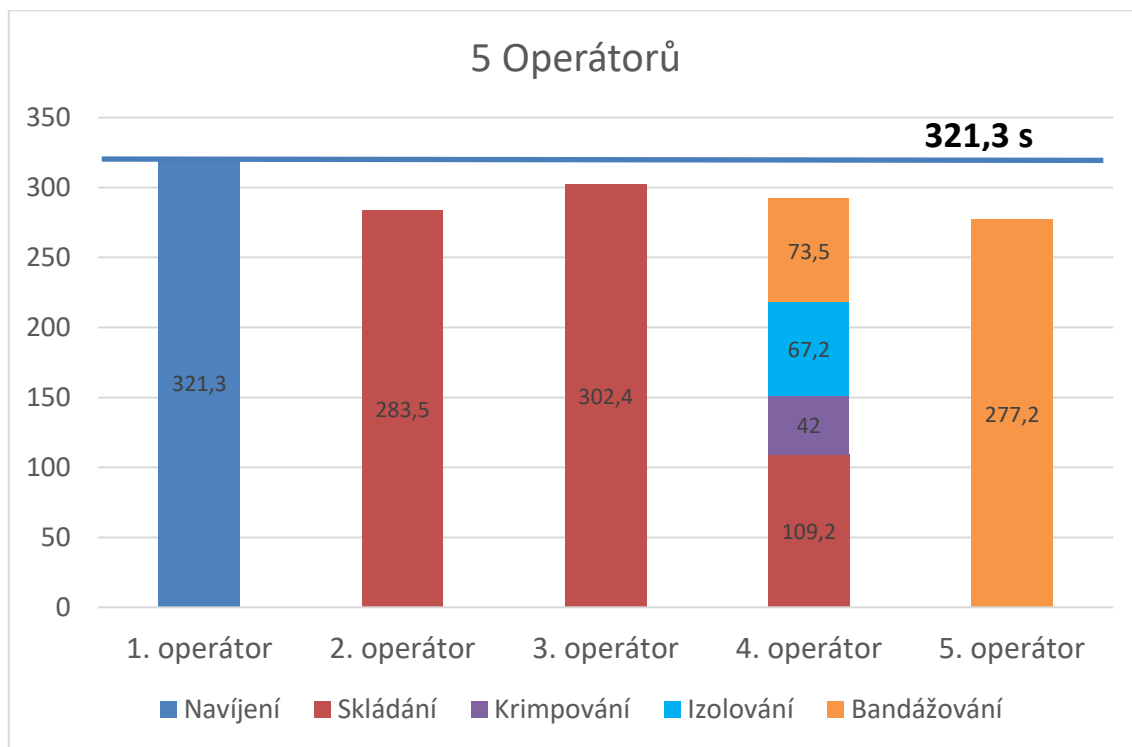
Operátor č.1 v tomto případě vykonává navijení.

Operátor č.2 z důvodu rovnoměrného rozdělení operace skládání izoluje pouze 1,5 fáze statoru a zbytek přenechá operátorovi č.3

Operátor č.3 poté dokončí izolování zbylých fází a zastaví se po srovnání segmentů v přípravku s nasazeným jedním stahovacím kroužkem.

Operátor č.4 má velice členitou pracovní náplň. Dokončí operaci skládání, pokračuje na krimpování a izolování a poté ještě začne operaci bandážování srovnáním čela vinutí a nasazením bužírek na vývody.

Operátor č.5 bandážování dokončí.



Graf 3 - Časová vytiženost pro 5 operátorů

#### 5.2.4 Shrnutí počtu operátorů

V této kapitole jsem navrhl takt linky pro 3, 4 a 5 operátorů. Tento počet jsem zvolil s ohledem na kapacitu výroby a počet vyrobených kusů. V rámci návrhů jsem rozdělil jednotlivé operace do kratších úseků, aby byla pracovní náplň operátorů co nejvíce rovnoměrná.

### 5.3 Návrh uspořádání linky

Jak už bylo zmíněno v teoretické části, nejvhodnějším prostorovým uspořádáním pracoviště pro námi řešený typ výroby, je buňkové uspořádání. Vzhledem k tomu, že se na navrhované montážní lince budou vyrábět různé velikosti statorů (společný výrobní postup, podobný tvar, podobná velikost), tak je buňkové uspořádání ideální. Výrobní buňky disponují vysokou produktivitou práce, minimální manipulací s materiálem, krátkou průběžnou dobou výroby a vysokou flexibilitou při změně typu výrobku.

Na současném pracovišti se montují statory různých velikostí v rozmezí 70 – 190 mm v průměru. Mnou navrhovaná linka je určená pro statory průměru 70 – 100 mm, pro statory průměru 140 – 190 mm může být hned vedle umístěná druhá, samostatná linka. Jak je patrné z následujících schémat, do černého rámečku, který vyznačuje plochu původní linky, se s přehledem dvě samostatné linky vejdou. Reálné rozpracování jednotlivých pracovišť bude ve finálním návrhu.

#### 5.3.1 Uspořádání do tvaru I

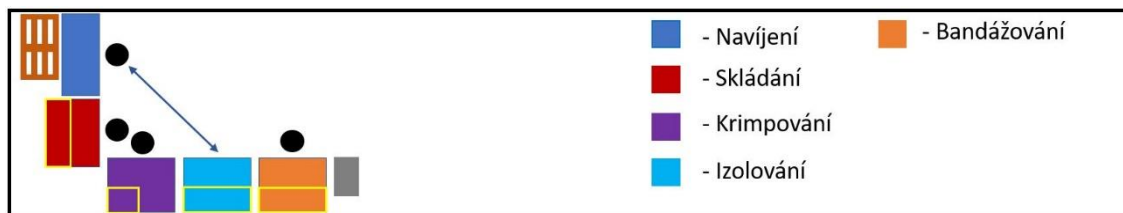
Výrobní buňka do tvaru písmene I (Obr. 39), někdy se jí taky říká výrobní buňka s přímým tokem, je nejjednodušší z možných uspořádání. Je snadná na pochopení, plánování materiálového toku a řízení celého výrobního procesu. Vyznačuje se jednoduchou a nenákladnou manipulací a díky jejímu přímému tvaru, nehrozí hromadění zásob v bodě vstupu a výstupu. Nevýhodou je dlouhá vzdálenost při přechodu pracovníka mezi jednotlivými stanicemi. [22]



Obr. 39 - Schéma uspořádání do tvaru I

#### 5.3.2 Uspořádání do tvaru L

Uspořádání buňky do tvaru písmene L (Obr. 40) umožňuje delší série operací na limitovaném prostoru. Díky svému tvaru je také možné podávat materiál přímo z obslužných cest a proces ukončit v místě spotřeby. [22]



Obr. 40 - Schéma uspořádání do tvaru L

### 5.3.3 Uspořádání do tvaru U

Linka do tvaru U (Obr. 41) má společný vstupní a výstupní bod. To znamená, že je možná snadná a pohodlná manipulace do buňky a z buňky. Výrobek se díky tvaru linky vrací na stejné místo odkud přišel. Díky krátké vzdálenosti mezi jednotlivými stanovišti je možné přiřadit jednomu pracovníkovi vícero operací bez značné ztráty času přecházením a pracovníci si také mohou navzájem snadněji pomáhat. Tento typ uspořádání dává základ k lepšímu vybalancování linky. [22]



Obr. 41 - Schéma uspořádání do tvaru U

### 5.3.4 Shrnutí uspořádání

V této kapitole jsem navrhl uspořádání linky do tvaru I, L a U. V závislosti na současném stavu výroby lze použít uspořádání do tvaru U a L. Uspořádání do tvaru I není z pohledu prostorového využití vhodné. Uspořádání do tvaru U je nejvhodnější, jelikož je prostorově nejúspornější.

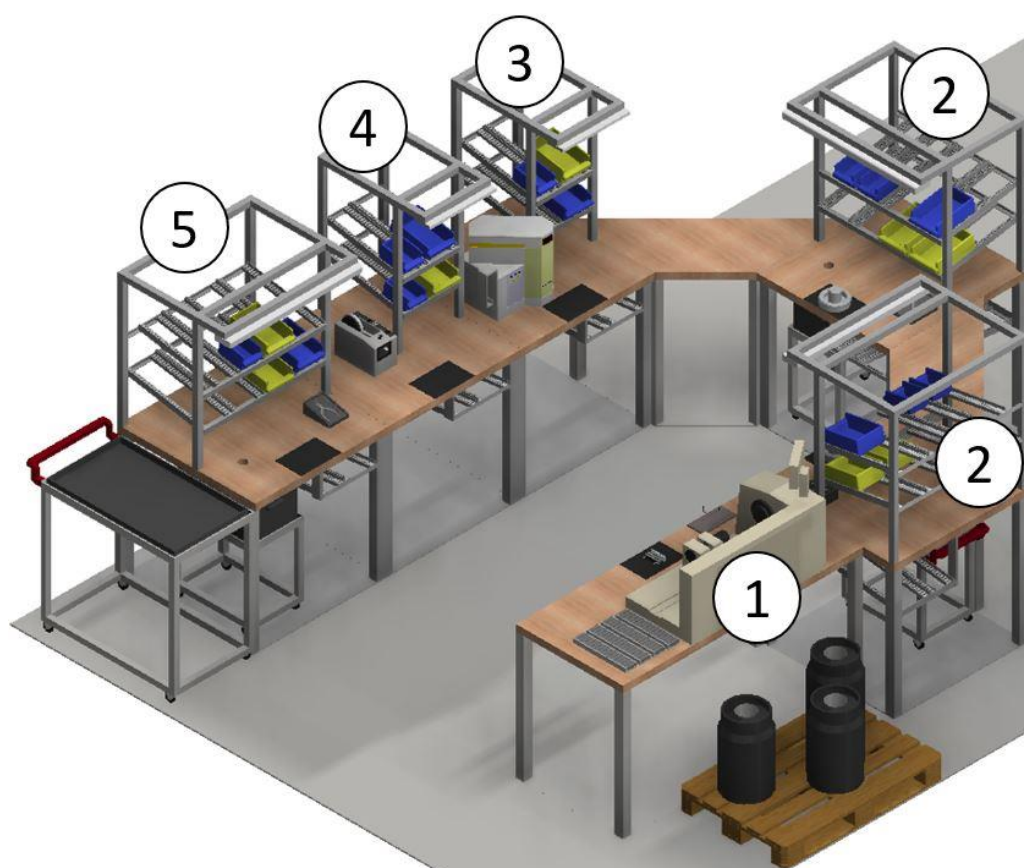
## 5.4 Finální návrh linky

Finální návrh linky vychází z vyhodnocení analýzy současného stavu a z výběru vhodné varianty taktu a uspořádání linky. V analýze byl nejdříve představen proces montáže statoru a ze stávajícího layoutu bylo patrné, že je na lince velké množství rozpracované výroby, manipulační časy jsou příliš vysoké a zabírá zbytečné množství prostoru. Z časů jednotlivých operací vyplynulo, že operace skládání musí být pro úspěšné zavedení One Piece Flow rozdělena mezi více operátorů.

V následujících podkapitolách bude podrobněji popsáno zvolené uspořádání a takt linky, dále popis jednotlivých pracovišť, pohyby a pracovní náplň operátorů a ergonomický aspekt navrhované linky.

#### 5.4.1 Uspořádání montážní linky

Pro uvažovaný prostor je nejlepší volbou uspořádat linku do tvaru U, která zabírá nejméně prostoru a díky tomu je možné poskládat několik podobných linek vedle sebe bez větších omezení. Tento typ uspořádání také umožňuje krátký přechod operátorů mezi jednotlivými stanovišti. Model finálního pracoviště je zobrazen na Obr. 42.

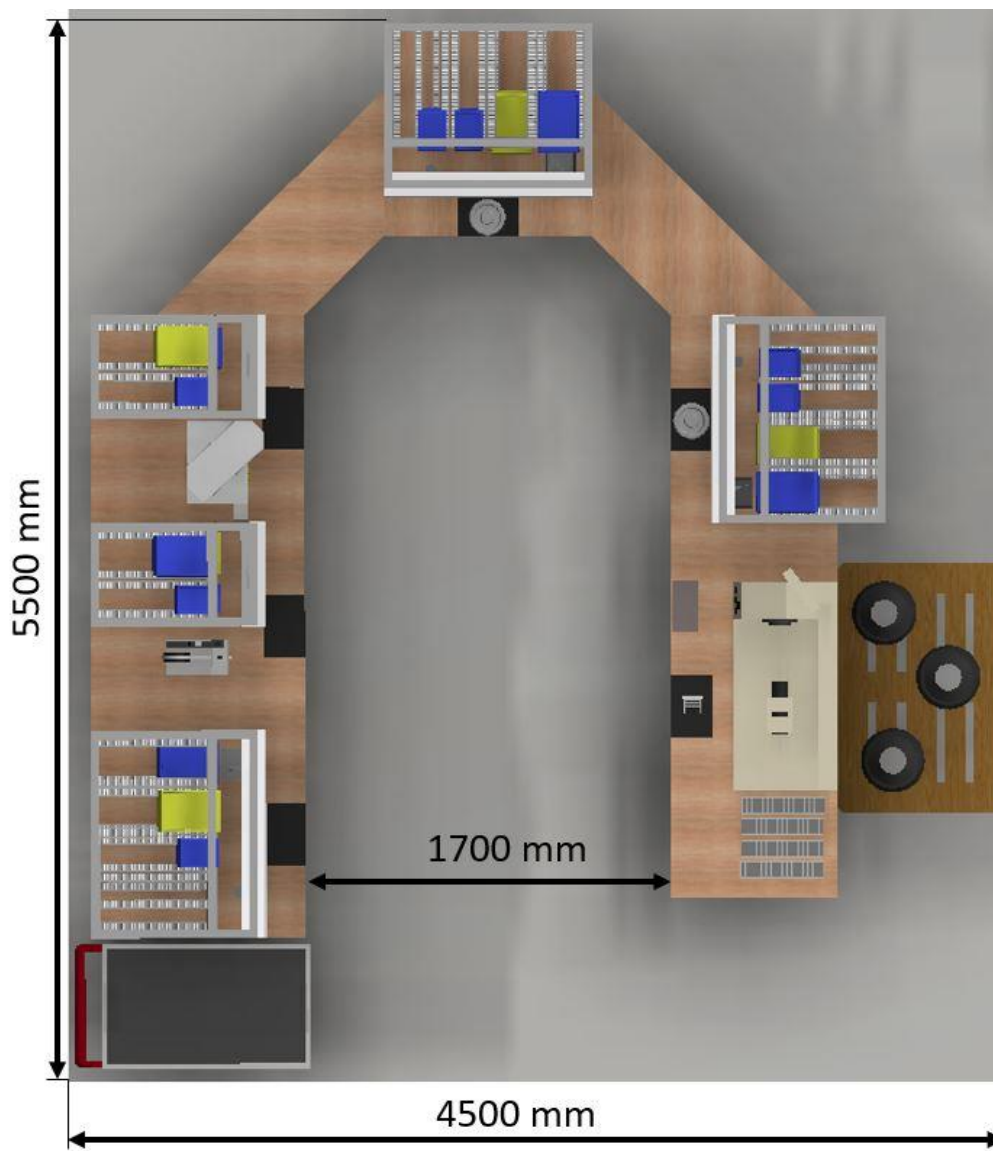


Obr. 42 - Finální model pracoviště

- Stanoviště č.1 – Navíjení
- Stanoviště č.2 – Skládání
- Stanoviště č.3 – Krimpování
- Stanoviště č.4 – Izolování
- Stanoviště č.5 – Bandážování

#### 5.4.2 Popis rozmístění pracovišť

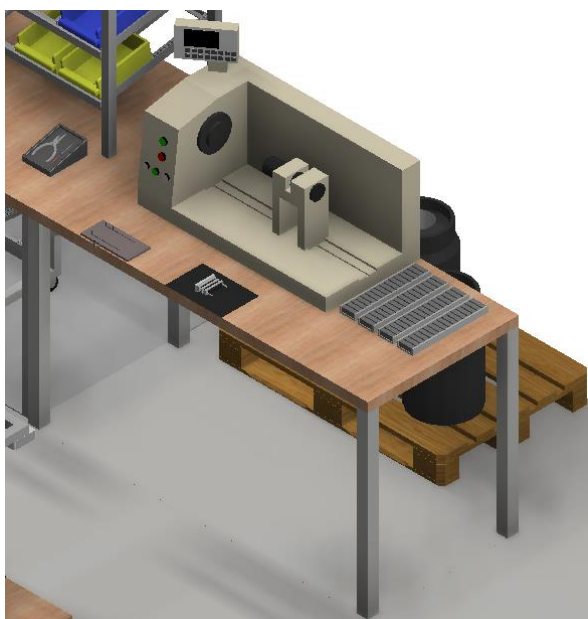
Navrhovaná montážní linka je uspořádána do tvaru U a zabírá celkovou plochu 24,75 m<sup>2</sup> (5,5 x 4,5 m). Rozměry jsou zobrazeny Obr. 43. Linka se skládá z celkově šesti pracovních stolů a dvou pomocných odkládacích stolů. Všechny stoly jsou stejně vysoké a pracovní rovina se nachází ve výšce 95 cm nad zemí. Na každém pracovním stole je gumová podložka s rozměry 20x30 cm, znázorňující pracovní plochu.



Obr. 43 - Rozměry navrhované linky

Stanoviště navíjení je zobrazené na Obr. 44. Na pracovním stole s rozměry 180x80 cm se nachází navíječka, vedle ní jsou složeny segmenty pro navíjení v nábojích a po levé straně od pracovní

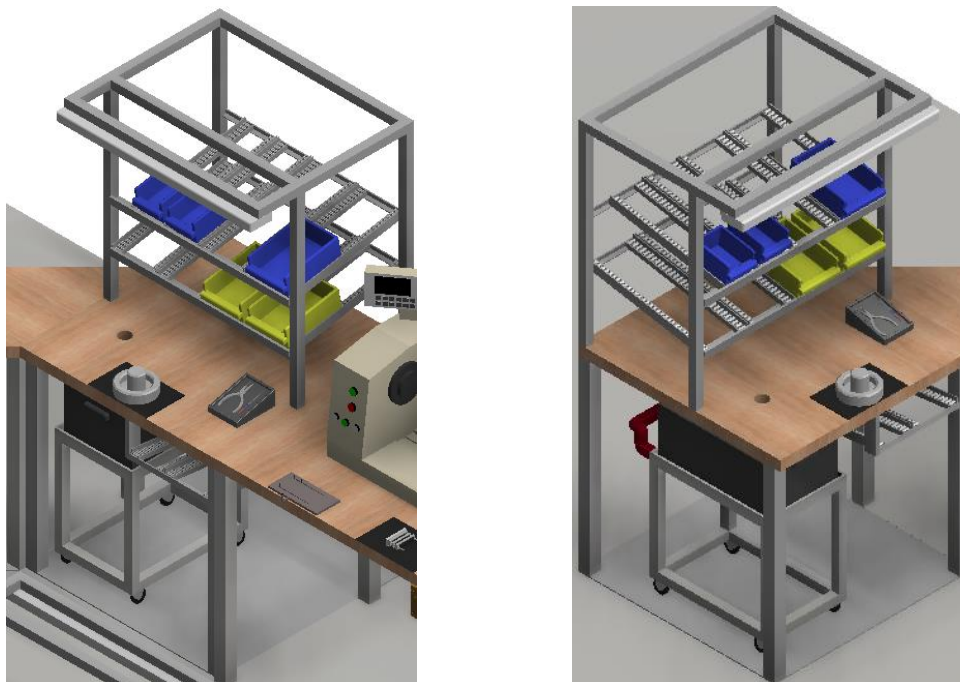
plochy je rozvolňovací stolice na uvolnění přípravku po dokončení navíjení. Za pracovním stolem jsou umístěné dózy na měděné dráty, které stojí na europaletě.



Obr. 44 - Stanoviště navíjení

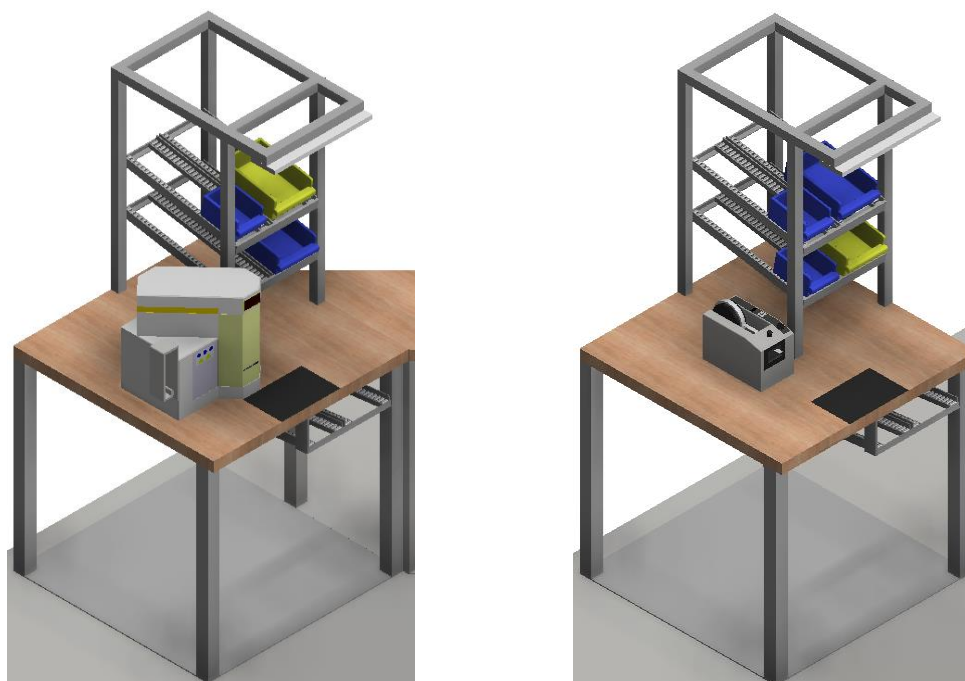
Stanoviště skládání jsou vidět na Obr. 45. Obě stanoviště se skládají z pracovního stolu, který je vybavený pojezdy z válečkových drah, sloužící jako úložný prostor pro bedničky s materiálem. Po pravé ruce operátora jsou nástroje. Jelikož při skládání dochází ke zkracování měděných drátů, bylo potřeba umístit na pracoviště místo pro odpad. Proto je ve stole otvor a pod ním je vložený vozík s vyměnitelnou bednou. K vracení prázdných bedniček slouží válečkové dráhy po pravé straně pod stolem. Pro lepší viditelnost na montovanou součást je na konstrukci přimontované led osvětlení.





Obr. 45 - Stanoviště skládání

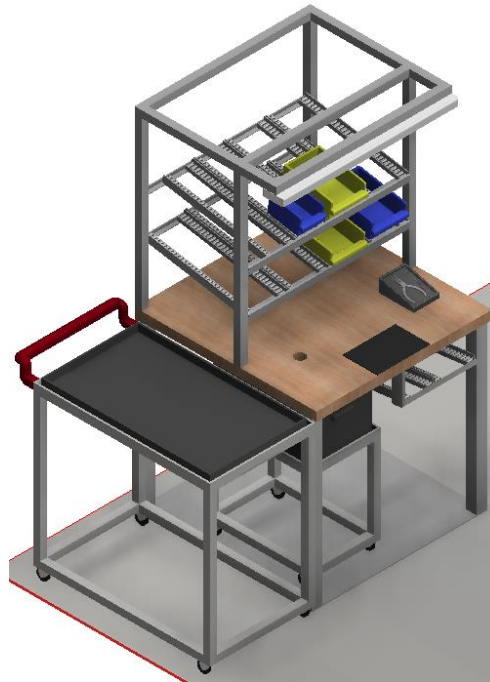
Stanoviště krimpování a izolování jsou zobrazené na Obr. 46. Tato dvě stanoviště jsou téměř stejné, s jediným rozdílem a tím je jiný stroj. Oproti stolům na skládání a bandážování mají poloviční prostor pro bedničky s materiálem, ale díky malému počtu komponent není více prostoru třeba. Tato stanoviště jsou taktéž vybavena led osvětlením.



Obr. 46 - Stanoviště krimpování a izolování



Poslední stanoviště bandážování je zobrazené na Obr. 47 a je prakticky stejné jako stanoviště skládání. Vedle pracovního stolu je umístěn vozík, na který operátor odkládá hotové kusy.



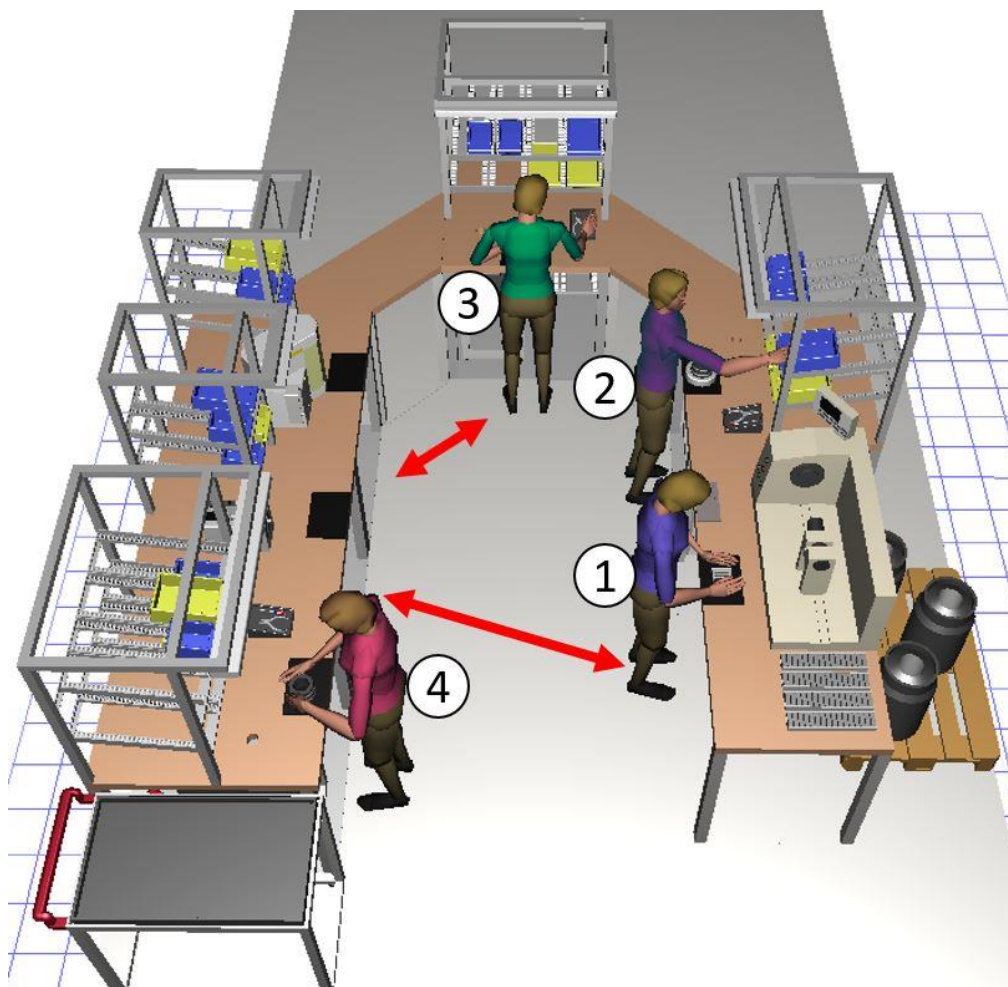
Obr. 47 - Stanoviště bandážování

#### 5.4.3 Počet operátorů a takt montážní linky

Z důvodu nejlepšího vybalancování jednotlivých operací jsem zvolil montážní linku, obsluhovanou čtyřmi operátory. Ze všech hodnocených možností je u této varianty nejmenší časový rozdíl mezi nejvytěžovanějším operátorem, určujícím takt linky, a nejméně vytiženým operátorem. Výsledný takt je zobrazen v Graf 2, viz kapitola 5.2.2.

#### 5.4.4 Pohyb a pracovní náplň operátorů

Na Obr. 48 je vidět montážní linka s modely pracovníků. Červenými šipkami je znázorněn pohyb pracovníků po lince. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.2.2, pracovník č.1 vykonávající operaci navíjení, přechází na stanoviště izolování. Díky tomu, že je stanoviště izolování naproti stanovišti navíjení, nedochází ke křížení cest operátorů. Operátor č.3 se po dokončení operace skládání přesouvá se statorem na stanoviště krimpování, které je po jeho levici.



Obr. 48 - Pohyb operátorů po montážní lince

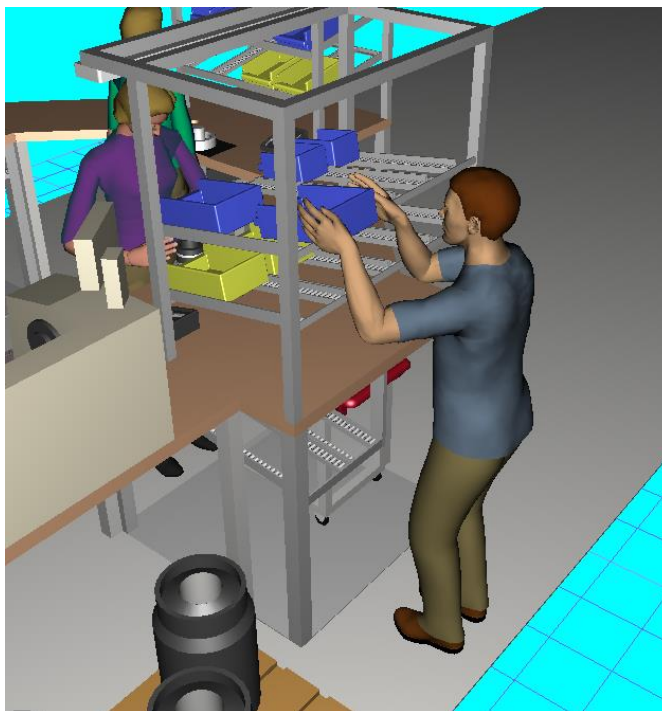
Operátor č.1 má pracovní náplň složenou ze 2 operací. Nejdříve provede operaci navíjení (viz kapitola 4.2.1) a poté se přesune na protější pracoviště izolování (viz kapitola 4.2.4).

Operátor č.2 bude provádět pouze část operace skládání. Konkrétně si nejdříve vezme již navinuté segmenty fáze od operátora č.1, poté na ně nasadí drážkovou izolaci a vloží je do skládacího přípravku. Jelikož operátor č.2 nasazuje drážkovou izolaci pro dvě fáze z celkových tří, budou se tyto kroky dvakrát opakovat. Po dokončení vloží dvě fáze do skládacího přípravku a spolu s ještě nezaizolovanou fází, je předá operátorovi č.3.

Operátor č.3 nejdříve zaizoluje poslední fázi, dokončí operaci skládání (viz kapitola 4.2.2) a poté, s již složeným statorem v ruce, přejde na stanoviště po své levé ruce a vykoná operaci krimpování (viz kapitola 4.2.3).

Operátor č.4 vykonává operaci bandážování (viz kapitola 4.2.5) a poté hotový kus odloží na připravený vozík.

Zásobování všech montážních linek statorů má na starosti jeden pracovník. Ve skladu materiálu si naloží na vozík bedničky se segmenty, dopraví je na určenou linku a vloží je do válečkových drah jednotlivých stanovišť, jak je vidět na Obr. 49.



Obr. 49 - Zásobování

#### 5.4.5 Ergonomické zhodnocení návrhu

Všechna pracoviště byla navržena pro operátory s výškou kolem 170 cm. Vzhledem k tomu, že stoly nejsou výškově stavitelné, tak jsem zvolil výškový kompromis, aby na lince mohli pracovat ženy i muži. Z ergonomického hlediska je pro pracovníka nutné zajistit pracovní rovinu ve správné výšce a všechny komponenty umístit na vhodné místo, aby na ně snadno dosáhl. Jelikož jsou všechny stoly stejně vysoké, vybral jsem několik poloh, které budou vyhodnoceny.

Na Obr. 50 je znázorněný operátor, který sahá do spodní bedničky umístěné na válečkové dráze. Bednička je umístěná v optimální vzdálenosti i výšce vzhledem k poloze operátora, který není při manipulaci s díly nijak omezován. Ve spodních bedničkách jsou umístěné díly, které operátor využívá často, naopak ve vrchních bedničkách jsou díly používané méně a jejich poloha je hůře dostupná.



*Obr. 50 - Operátor sahá do bedničky se součástkami*

Při umísťování nástrojů jsem vycházel z faktu, že nadpoloviční většina lidí jsou praváci a nástroj drží v pravé ruce. Jelikož ale není držák na nástroj pevně připevněný ve stolu, je možné nástroje přesunout podle potřeby operátora. Nástroje jsou položeny v držáku, který se nachází v dosahové vzdálenosti operátora, jak je vidět na Obr. 51.



*Obr. 51 - Operátor sahá pro nástroj*

Detailní ergonomický screening pracoviště (analýza a zhodnocení), by se prováděl při rozšíření návrhu linky. Sledoval by se například počet kroků, počet pohybů obou rukou, sklon hlavy

operátora nebo úhel zápěstí. Mnou je hodnocený pouhý základ, ale pro potřeby prvotního návrhu do bakalářské práce je to dostatečné.

## 5.5 Zhodnocení návrhu linky

Na stávající montážní lince jsou stanoviště jednotlivých operací seskupeny dohromady na jedno místo, bez ohledu na typ právě vyráběného produktu. To má za následek velké množství rozpracované výroby, malou flexibilitu linky a dlouhé manipulační časy, které se nejvíce projevují hlavně u stanoviště krimpování, nacházející se daleko od linky. Dále stávající linka, zejména z důvodu velkého množství rozpracované výroby, zabírá nadbytečné množství prostoru. Z ergonomického hlediska stávající linka také není ideální. Operátoři při práci celou směnu sedí na neergonomických židlích, dosahová vzdálenost k bedničkám je větší než by měla být a když na stole dojdou součástky, musí si pro ně dojít do regálů vedle linky.

V praktické části práce jsem nejdříve provedl analýzu stávající linky. Poté jsem na základě výsledků z analýzy navrhl různé varianty taktu linky, v závislosti na počtu operátorů a způsoby topologického uspořádání. Z těchto návrhů jsem vytvořil finální návrh linky, která je uspořádána do tvaru U a je primárně určena pro 4 operátory. Díky svému tvaru a efektivnímu využití prostoru, zabírá navrhovaná linka pouhou pětinu prostoru stávající linky a díky tomu je možné vedle umístit další podobné montážní linky.

Pro společnost SOPO, s.r.o. by realizace navržené linky znamenala, díky odstranění vozíků s rozpracovanými výrobky, plošné snížení rozpracované výroby a v důsledku toho i plošné zkrácení průběžné doby výroby. To by mělo za následek lepší řízení montáže z pohledu počtu vyrobených kusů, dále by měla firma možnost být více flexibilní z pohledu zakázek a pružně tak reagovat na požadavky zákazníků a v neposlední řadě by bylo možné lépe sledovat produktivitu práce. Jelikož je nově navržená montážní linka prostorově výrazně úspornější, tak má firma možnost bez nutnosti investice do nových prostor rozšiřovat výrobu.

---

## 6 Závěr

Bakalářská práce se zabývá návrhem montážní linky, s použitím koncepce One Piece Flow ve společnosti SOPO, s.r.o., ve výrobním středisku v Modleticích u Prahy. Důvodem k návrhu nové linky je snaha managementu společnosti o rozšíření principů štíhlé výroby.

V první části práce věnované teorii byly, formou literární rešerše, vysvětleny základní pojmy a principy spojené s výrobním systémem. Dále bylo vysvětleno, co je štíhlá výroba a na jakých principech stojí. Poté byla popsána teorie montáže a její rozdělení, důležitost třídění spotřeby času a její měření. Závěr teoretické části byl věnován ergonomii montážní linky.

V druhé části práce byla provedena analýza současného stavu, kde byla nejprve představena společnost SOPO, s.r.o. Analýza byla především zaměřena na popsání procesu montáže statoru, aby mohlo dojít k následnému vybalancování taktu linky rozdělením operací mezi více pracovníků. Dále byl v této části zhodnocen layout stávající linky, který posloužil jako základ k vytvoření návrhu uspořádání. Poté byly popsány hlavní omezující faktory, které se na stávající lince vyskytují.

V závěrečné části práce byla nejdříve popsána specifika navrhované linky a díky informacím z analytické části byly vytvořeny 3 návrhy taktu linky v závislosti na počtu operátorů a 3 návrhy topologického uspořádání. Z těchto návrhů byla poté vybrána montážní linka do tvaru U, obsluhovaná čtyřmi operátory. Ve finálním návrhu byl nejprve vytvořen model pracoviště, který posloužil k vytvoření layoutu linky, popisu jednotlivých stanovišť a vizualizaci pohybů operátorů. Dále byla popsána pracovní náplň každého operátora a na závěr došlo k ergonomickému zhodnocení návrhu. Výsledkem bakalářské práce je optimalizační návrh montážní linky využívající konceptu One Piece Flow, který byl zpracován na základě rozsáhlé analýzy procesu montáže. Při realizaci této linky by bylo možné zlepšit prostorové využití, zkrátit průběžnou dobu výroby, zvětšit flexibilitu výroby, lépe reagovat na požadavky zákazníků a v neposlední řadě zlepšit ergonomii práce.

---

## 7 Literatura

- [1] *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Fifth edition. New York: Pearson Education, 2019. ISBN 978-0-13-460546-3.
- [2] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-800-1039-120.
- [3] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. 1. Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5.
- [4] KEŘKOVSKÝ, Miloslav. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 1. Praha: C.H. Beck, 2001. C.H. Beck pro praxi. ISBN 80-717-9471-6.
- [5] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty I*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2871-6.
- [6] HAMERNÍK, Jan. *Výrobní postupy* [online]. 2003 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: [http://jhamernik.sweb.cz/Vyrobní\\_postupy.htm](http://jhamernik.sweb.cz/Vyrobní_postupy.htm)
- [7] ZELENKA, Antonín, Vratislav PRECLÍK a Milan HANINGER. *Projektování procesů obrábění a montáží*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-010-2013-4.
- [8] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. *Projektování výrobních systémů*. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-010-1302-2.
- [9] *Stroza* [online]. [cit. 2020-07-08]. Dostupné z: <https://www.stroza.cz/index.php>
- [10] *Automatizace a automatizační technika*. Praha: Computer Press, 2000. Všechny cesty k informacím. ISBN 80-722-6249-1.
- [11] HAMERNÍK, Jan. *Automatizace obrábění* [online]. 2003 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Automatizace.htm>
- [12] *Stroje-atol* [online]. [cit. 2020-07-08]. Dostupné z: <https://www.stroje-atol.cz/cnc-obrabeci-centra-fanuc-siemens/cnc-obrabeci-centrum-axhs-7145-fanuc-siemens/>
- [13] *Benefits of Automation* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.productivity.com/benefits-of-automation/>
- [14] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-868-5138-9.
- [15] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. 1. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.

- 
- [16] IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen*. 1. Brno: Computer Press, 2005. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0850-3.
- [17] SKHMOT, Nawras. The 8 Wastes of Lean. *The Lean Way* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean>
- [18] RADIGAN, DAN. Kanban: How the kanban methodology applies to software development. In: *Atlassian* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.atlassian.com/agile/kanban>
- [19] PRECLÍK, Vratislav. *Průmyslová logistika*. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3449-6.
- [20] VÁCHAL, Jan a Marek VOCHOZKA. *Podnikové řízení*. 1. Praha: Grada, 2013. Finanční řízení. ISBN 978-80-247-4642-5.
- [21] Tok jednoho kusu (one piece flow). In: *Cie-group* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: [www.cie-group.cz/lexikon-metod-pi#1549534651321-e539abd2-25a7](http://www.cie-group.cz/lexikon-metod-pi#1549534651321-e539abd2-25a7)
- [22] MYŠKA, Jakub. *Projektování výrobních buněk* [online]. , 81 [cit. 2020-07-04]. Dostupné z: [https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/blok-5/projektovnmontnchbunk\\_2015-03-29\\_tiskupravene.pdf](https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/blok-5/projektovnmontnchbunk_2015-03-29_tiskupravene.pdf)
- [23] DOLCEMASCOLO, Darren. Achieving one-piece flow. In: *Reliableplant* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.reliableplant.com/Read/14703/one-piece-flow>
- [24] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. Plzeň: Vysoká škola strojní a elektrotechnická, 1989. ISBN 80-708-2006-3.
- [25] DUŠÁK, Karel. *Technologie montáže: základy*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-708-3906-6.
- [26] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. *Základy montáže: učební text*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-802-4827-735.
- [27] LHOTSKÝ, Oldřich. *Organizace a normování práce v podniku*. Praha: ASPI, 2005. Lidské zdroje. ISBN 80-735-7095-5.
- [28] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-800-1051-733.
- [29] *Esipa* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://esipa.cz/prehled>
- [30] *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [31] *Technor* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/>
- [32] PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ. *Znalostní systém prevence rizik v BOZP* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/86-pracovni-prostredi>
-



- [33] ŠPLÍCHALOVÁ, Anna. Hygienické limity u fyzické zátěže. *BOZPPROFI* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: [https://www.bozpprofi.cz/33/hygienicke-limity-u-fyzicke-zateze-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ep\\_FUjZLTuw8I4jf7I30\\_tE/](https://www.bozpprofi.cz/33/hygienicke-limity-u-fyzicke-zateze-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ep_FUjZLTuw8I4jf7I30_tE/)
- [34] ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: *Sbírka zákonů*. 2007, ročník 2007, částka 111, číslo 361. ISSN 1211-1244. Dostupné z: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu>
- [35] *SOPo s.r.o.* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.sopo.cz/>

## Seznam obrázků

Obr. 1 - Složení výrobního systému [1] .....	10
Obr. 2 - Členění výrobního postupu [2] .....	12
Obr. 3 - Souvislosti uspořádání pracovišť, rozmanitosti výrobků a objemu výroby [4] .....	14
Obr. 4 - Volné uspořádání [5] .....	14
Obr. 5 - Technologické uspořádání pracovišť [5] .....	15
Obr. 6 - Předmětné uspořádání pracovišť [5] .....	16
Obr. 7 - Buňkové uspořádání pracovišť [5] .....	17
Obr. 8 - Modulární uspořádání [5] .....	18
Obr. 9 - Typy automatizace v závislosti na objemu výroby a variabilitě produktu [1] .....	19
Obr. 10 - Jednoučelový stroj [9] .....	20
Obr. 11 - CNC obráběcí centrum [12] .....	21
Obr. 12 - Porovnání plánovacích principů push a pull [4] .....	24
Obr. 13 - Schéma hodnototvorného řetězce [4] .....	25
Obr. 14 - Porovnání metod výroby [22] .....	29
Obr. 15 - Rozdělení montáží [8] .....	32
Obr. 16 - Schéma soustředěné montáže [26] .....	33
Obr. 17 - Schéma rozčleněné montáže [26] .....	33
Obr. 18 - Schéma předmětné montáže [26] .....	34
Obr. 19 - Schéma linkové montáže [26] .....	34
Obr. 20 - Schéma proudové montáže [26] .....	34
Obr. 21 - Základní schéma třídění času pracovníka [2] .....	36
Obr. 22 - Třídění ztrát ve směně [2] .....	37
Obr. 23 - Druhy časových studií [27] .....	39
Obr. 24 - Činitelé pracovního prostředí [32] .....	43
Obr. 25 - Poloha hlavy a krku pro hodnocení [34] .....	47
Obr. 26 - Poloha trupu pro hodnocení [34] .....	47
Obr. 27 - Poloha horních končetin pro hodnocení [34] .....	48
Obr. 28 - Poloha dolních končetin pro hodnocení [34] .....	49
Obr. 29 - Dosahy horních končetin [34] .....	49
Obr. 30 - Stator [35] .....	52
Obr. 31 - Rotor [35] .....	52
Obr. 32 - Nová výrobní hala SOPO, s.r.o. a sídlo firmy [35] .....	53
Obr. 33 - Pracoviště navíjení .....	54
Obr. 34 - Pracoviště skládání .....	55
Obr. 35 - Pracoviště krimpování .....	56
Obr. 36 - Layout současného pracoviště .....	58
Obr. 37 - Rozpracovaná výroba na vozících .....	60
Obr. 38 - Regály s materiálem .....	61
Obr. 39 - Schéma uspořádání do tvaru I .....	67
Obr. 40 - Schéma uspořádání do tvaru L .....	68
Obr. 41 - Schéma uspořádání do tvaru U .....	68
Obr. 42 - Finální model pracoviště .....	69
Obr. 43 - Rozměry navrhované linky .....	70
Obr. 44 - Stanoviště navíjení .....	71
Obr. 45 - Stanoviště skládání .....	72
Obr. 46 - Stanoviště krimpování a izolování .....	72
Obr. 47 - Stanoviště bandážování .....	73

---

Obr. 48 - Pohyb operátorů po montážní lince .....	74
Obr. 49 - Zásobování .....	75
Obr. 50 - Operátor sahá do bedničky se součástkami .....	76
Obr. 51 - Operátor sahá pro nástroj.....	76

## Seznam tabulek

Tab. 1 - Hygienické limity energetického výdeje při práci v CFZ [33].....	46
Tab. 2 - Časová náročnost operací .....	59
Tab. 3 - Takt pro 3 operátory .....	63
Tab. 4 - Takt pro 4 operátory .....	64
Tab. 5 - Takt pro 5 operátorů .....	65

## Seznam použitého software

Microsoft Office 2016  
Autodesk Inventor Professional 2017  
Siemens Tecnomatix Jack 8.4