

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2022**

**LUKÁŠ  
KEŠNER**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kešner Jméno: Lukáš Osobní číslo: 492708  
 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:

Optimalizace montážní linky

Název bakalářské práce anglicky:

Assembly line optimization

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše montáže
2. Analýza současného stavu montáže
3. Návrh a volba optimalizačních opatření
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

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: 15.03.2022 Termín odevzdání bakalářské práce: 29.07.2022

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 díkna(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.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, za odborného vedení Ing. Tomáše Kellnera. Dále prohlašuji, že všechny prameny, ze kterých jsem čerpal, cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury a zdrojů.

Datum: .....

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 svojí rodině, kolegům a přátelům za vstřícnost, ochotu, poskytnuté informace a cenné rady.

---

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá návrhem optimalizačních řešení montážní linky s využití koncepce One Piece Flow ve společnosti Witte Automotive. V teoretické části je představena problematika výrobního systému, jeho automatizace, optimalizace pomocí štíhlé výroby a ergonomie montážního pracoviště. V praktické části práce je zpracována analýza současného stavu montážní linky a zpracovány návrhy optimalizačních řešení. Jednotlivá řešení jsou podrobena technicko-ekonomickému zhodnocení a pomocí vícekritériální analýzy je vybrána vítězná varianta k realizaci.

## **Klíčová slova**

Montáž, automatizace, montážní linka, optimalizace montážní linky, One Piece Flow.

## **Annotation**

The bachelor's thesis deals with the design of assembly line optimization solutions using the One Piece Flow concept in Witte Automotive company. Here are presented the problems of the production system, its automation, optimization by means of lean production and ergonomics of the assembly workplace. In the practical part of the thesis, an analysis of the current state of the assembly line and proposals for optimization solutions are elaborated. The individual solutions are subjected to technical and economic evaluation and the winning option is selected for implementation using multi-criteria analysis.

## **Keywords**

Assembly, automation, assembly line, assembly line optimization, One Piece Flow.

## Obsah

Poděkování .....	3
Anotace.....	4
Obsah .....	5
Úvod.....	7
1. Teorie montáže .....	8
1.1. Druhy montážních systémů .....	8
1.2. Montáž dle sériovosti.....	9
1.3. Podle místa montáže.....	11
1.4. Stacionární a nestacionární montáž.....	11
1.5. Volba technicko-organizační formy montáže .....	12
2. Automatizace .....	13
2.1. Vymezení pojmu automatizace.....	13
2.2. Rozdělení montáže dle stupně mechanizace.....	14
2.3. Ruční montáž.....	14
2.4. Mechanizovaná montáž .....	14
2.5. Automatizovaná montáž.....	14
2.6. Roboti a manipulátory .....	15
2.7. Dopravníkové systémy .....	17
3. Lean production .....	17
3.1. Princip zamezení plýtvání a optimalizace hodnototvorného řetězce.....	18
3.2. Plánovací princip pull .....	18
3.3. Princip nepřetržitosti.....	19
3.4. Princip zaměření se na podstatné aktivity a klíčové schopnosti.....	19
3.5. One Piece Flow.....	19
3.6. Organizace zásobování Milk-run.....	20
4. Ergonomie montážního pracoviště .....	21
4.1. Člověk – technika - prostředí .....	21
4.2. Pracovní prostředí.....	22
4.3. Další rizikové faktory .....	24
4.4. Vybavení pracoviště .....	25
5. Analýza současného stavu linky .....	28
5.1. Electronic control unit.....	28
5.2. Analýza současného stavu .....	29
5.3. Shrnutí současného stavu .....	30
6. Návrh variant pracoviště .....	31
6.1. Požadavky na montážní linku.....	31
6.2. Společné prvky .....	32

---

6.3.	Návrh 1 – uspořádání toku.....	34
6.4.	Návrh 2 – automatizace .....	41
6.5.	Návrh 3 – sloučení pracovišť .....	44
6.6.	Porovnání jednotlivých návrhů .....	48
6.7.	Ekonomické zhodnocení .....	48
7.	Výběr finální varianty .....	51
7.1.	Vícekritériální analýza .....	51
7.2.	Zhodnocení vítězné varianty .....	53
	Závěr .....	55
	Bibliografie .....	56
	Seznam obrázků .....	58
	Seznam tabulek.....	59

## Úvod

Tato práce se zabývá optimalizací montážní linky pro výrobu produktu ECU – electronic control unit, součást systémů příslušenství pro osobní automobily. Současný stav je dán nízkými objemy výroby, kdy je z důvodů výrobních nákladů společné pracoviště laserového svařování pro více linek. Na základě nově získaného kontraktu, který předpokládá velké objemy výroby, je současný stav neudržitelný. Podnik Witte Automotive působící v automobilovém průmyslu se zároveň dlouhodobě potýká s nedostatkem montážních dělníků a zastavěnou plochou ve výrobní hale. Cílem bakalářské práce je implementovat pracoviště laserového svařování do toku linky a zároveň optimalizovat počet pracovišť, počet montážních dělníků a layout montážní linky.

První část práce se zabývá se základními tématy a pojmy, které souvisí s montážním procesem a automatizací. V této části jsou popsány základní druhy montáže a kritéria pro volbu správné technicko-organizační formy montáže, prvky a zařízení automatizace, které jsou využívány v jednotlivých optimalizačních návrzích. Dále jsou popsány základní principy optimalizace, o které se tato práce opírá a shrnuty základní témata z oblasti ergonomie.

V úvodu praktické části je provedena analýza současného stavu montážní linky. Je zde uveden popis výrobní linky včetně jejích vlastností a nedostatků. Základě analýzy a shrnutí požadovaných cílů jsou navrženy tři varianty možné optimalizace s různým stupněm využití prvků automatizace. Mezi hlavní sledované parametry patří počet operátorů, počet nových pracovišť, zastavěná plocha a časová vyrovnanost mezi jednotlivými pracovišti. Navržené varianty jsou podrobeny kalkulaci a výpočtu doby návratnosti investice. Na základě získaných podkladů je provedena vícekriteriální analýza, pomocí které je vybrána vítězná varianta. V závěru práce je provedeno hodnocení vítězné varianty, jsou představeny její největší přednosti a přínosy pro výrobní podnik.

Použitá data o produktu, montážním postupu a použitých technologiích jsou zkrácena z důvodu utajení citlivých informací.



# 1. Teorie montáže

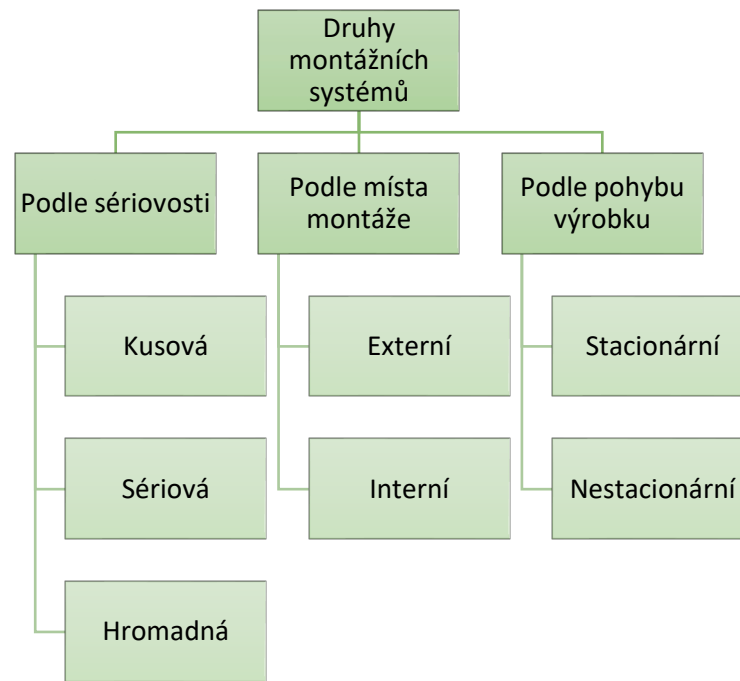
V této kapitole, která pojednává o teorii montáže, je definován pojem montáže a nastíněna její důležitost ve výrobním procesu.

Naprostá většina komponent pro automobilový průmysl se skládá z více či méně komponent. Způsob, jakým provedeme vzájemné spojení těchto komponent, se nazývá montáž. „Montáž lze charakterizovat jako soubor činností lidí, zařízení a strojů, přičemž vykonáváním činností ve stanoveném pořadí a čase vznikne z jednotlivých součástí a montážních skupin hotový výrobek. Montáž je obvykle závěrečnou fází výrobního procesu ve strojírenské výrobě.“ [1]

Montáží hraje důležitou roli ve výrobních podnicích. Tato technologie přímo ovlivňuje výslednou kvalitu výrobku. Nekvalitně nastavený způsob montáže může naprosto znehodnotit finální výrobek a zároveň výrazně zvýšit výrobní náklady výrobku. Naopak vhodným výběrem montážní metody a montážního postupu můžeme snížit náklady na tuto technologii a tím zvýšit konkurenceschopnost výrobku.

## 1.1. Druhy montážních systémů

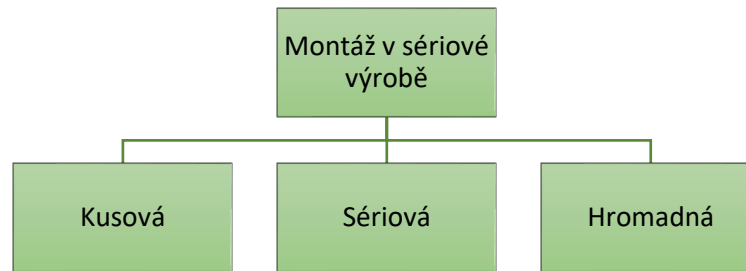
V odborné literatuře je uváděno několik možností, jak dělit montážní systémy. Základní dělení montážních systémů je na systémy ruční a strojní. Ruční systémy montáže jsou kompletně nebo alespoň z části mechanizované. Naopak strojní systémy využívají vysokého stupně mechanizace a automatizace. V automobilovém průmyslu najdeme oba systémy, a to striktně ruční nebo strojní, ale také značnou část kombinace obou systémů. Dále je možné systém montáže rozdělit dle schématu na Obr 1.



Obr 1 Druhy montážních systémů [2][6]

## 1.2. Montáž dle sériovosti

Sériovost je základním faktorem pro určení způsobu montáže. Její definice zní takto: „Technicko-ekonomická úroveň výroby, podmíněná převážně výrobním objemem, tvarem, velikostí a složitostí výrobku. Charakterizující výrobu kusovou, sériovou a hromadnou.“ [18] Právě velikost výrobních dávek ovlivňuje jak strojní, tak nástrojové vybavení montážních dílen, stupeň použité automatizace či organizaci montážních prací. Je tedy zřejmé, že pro kusovou výrobu se používají především univerzální stroje, nástroje, nářadí a montážní pracoviště, v případě sériové či hromadné výroby se využívá vysoký stupeň automatizace, která přináší právě úsporu lidských zdrojů, vysokou produktivitu a nižší náklady na montáž. Sériovost lze rozdělit na 3 základní typy (Obr 2).



Obr 2 Montáž dle sériovosti[2]

### 1.2.1. Montáž v kusové výrobě

Vyznačuje se vysokou flexibilitou a malým podílem automatizace s možností montáže širokého spektra výrobku – velmi snadný přechod od jednoho výrobku k druhému. Jedná se o časově náročnou montáž, která se zároveň opírá o zkušenosti a kvalifikaci pracovní síly. Používá univerzálních strojů a nástrojů, nářadí či montážních pracovišť.

### 1.2.2. Montáž v sériové výrobě

Sériová výroba neboli výroba jednoho produktu soustředěných do jednotlivých výrobních dávek, je charakteristická vyšším stupněm automatizace a mechanizace. V porovnání s kusovou montáží dosahuje větší produktivity a není zapotřebí tolik kvalifikovaná lidská síla. S montáží v sériové výrobě úzce souvisí pojem konstrukčně-technologické koncepce výrobku. Pokud je tato koncepce správně navržena a vypracována, dochází k zjednodušení montáže s minimální chybovostí a zvýšení produktivity celého procesu. [2]

### 1.2.3. Montáž v hromadné výrobě

Hromadnou montáží se rozumí montáž v řádech tisíců kusů typická vysokým stupněm automatizace a mechanizace. Konstrukčně-technologická koncepce výrobku musí být vypracována na velmi vysoké úrovni, a to za pomoci nástrojů kvality, např. D-FMEA či P-FMEA. Díky takto zpracované koncepci dochází k úsporám v oblasti přípravy výroby, výrobě, montáží a také jakosti vyráběného produktu. Výsledkem je vysoká produktivita výrobního řetězce, nízká zmetkovitost a vysoká kvalita vyráběného produktu.

### 1.3. Podle místa montáže

Podmínky a plánování procesu se může lišit na základě místa montáže. Průběh celého procesu výrazně ovlivní, zda bude montáž probíhat interně přímo v podniku, nebo zda až v místě určení u zákazníka.

#### 1.3.1. Externí montáž

Externí montáž je montáž prováděná mimo výrobní podnik. Tento způsob je typický pro výrobky nadměrných rozměrů, které není možné montovat uvnitř podniku. Jedná se tak o velké výrobní stroje a zařízení, montované výrobní haly nebo také dopravní stavby (mosty). Další možné dělení externí montáže je na montáž velkou a malou, kde je hlavním aspektem rozdělení objem montážních prací. U malé externí montáže na většinu prací stačí jeden či dva kvalifikovaní dělníci. V rámci velké externí montáže je pak zapojeno větší množství kvalifikovaných dělníků, jedná se například o dopravní stavby nebo výrobní technologie velkých rozměrů. [5]

#### 1.3.2. Interní montáž

Interní montáž je prováděna na půdě výrobního podniku. Na rozdíl od externí montáže se používá pro výrobky menších rozměrů, například automobily, spotřební elektronika apod. Výstupem procesu je pak hotový produkt, který je rovnou připraven na expedici. [5]

### 1.4. Stacionární a nestacionární montáž

S objemy výroby a montáže jsou spojeny pojmy jako stacionární a nestacionární montáž. Stacionární montáž, při které výrobek stojí a pohybují se dělníci, nalezne své využití v kusové výrobě. Nestacionární montáž má své využití v sériové a hromadné výrobě. [2]

#### 1.4.1. Stacionární montáž

Stacionární montáž výrobku je realizována na jednom místě pracovníkem nebo skupinou pracovníků, kteří vykonávají pohyb. Jedná se převážně o interní montáž, během které jsou jednotlivé díly dodávány na místo montáže a odváženy jsou již celé produkty nebo velké montážní celky. Stacionární montáž dělíme **soustředěnou** a **rozčleněnou** montáž. Stacionární montáž najde své uplatnění především v kusové a malosériové výrobě za přispění kvalifikovaných montážních dělníků.

**Soustředěná montáž** se provádí na jednom pracovišti a vykonává ji stejná skupina pracovníků. Své využití najde u montáže rozměrných strojů (turbíny, karusely, menší obráběcí centra).

**Rozčleněná montáž** se používá v případech velkých zařízení a strojů, kdy je výrobek rozčleněn do několika menších montážních celků v souladu s montážním schéma, objemu práce v montážní operaci či v případě logického rozdělení výrobku na jednotlivé montážní celky. Konečná montáž výrobku se realizuje na jiném místě a zpravidla jinou skupinou pracovníků. (například parní generátory, velká obráběcí centra apod.) [2]

#### 1.4.2. Nestacionární montáž

Nestacionární neboli pohyblivá montáž, se uskutečňuje současně v několika montážních operacích, jednotlivě nebo skupinami pracovníků. Dělíme ji na montáž **předmětnou, linkovou, proudovou**.

**Předmětná montáž** je nejjednodušší formou pohybové montáže. Je zde vyžadováno pouhé uspořádání pracovišť ve smyslu montážního postupu. Jednotlivá pracoviště nejsou v objemu montážních činností vyvážená, jedná se o tzv. montáž ve volném taktu.

**Linková montáž** vyžaduje podrobnější rozdělení montážních celků do jednotlivých operací. Jedná se o nesynchronní montáž, kde se liší pracovní tempo jednotlivých pracovišť. Využívá se při větším množství sortimentu a při větším podílu ruční práce.

**Proudová montáž** vyžaduje plnou synchronizaci jednotlivých pracovišť z hlediska objemu činností v operaci. Ve většině případů se jedná o montáž s vysokým stupněm mechanizace, s předem stanovenou kapacitou odváděných výrobků v čase. [2]

### 1.5. Volba technicko-organizační formy montáže

Volba technicko-organizační formy montáže je závislá na sériovosti výroby, složitosti výroby nebo montážních celků a jejich rozměrech a hmotnosti. Podnik by měl na základě technicko-ekonomické situace volit nejvyšší možnou formu montáže. Vhodná forma se vybírá dle technicko-organizačních požadavků s pomocí vícekritériálního rozhodování. [2]

---

Přechod k vyšší formě umožňuje především:

- Rytmičnou práci bez hromadění součástí mezi pracovišti
- Zvýšení produktivity práce při menším nároku na kvalifikaci
- Vyšší časové a výkonové využití pracovních prostředků
- Zkrácení času montáže [2]

## 2. Automatizace

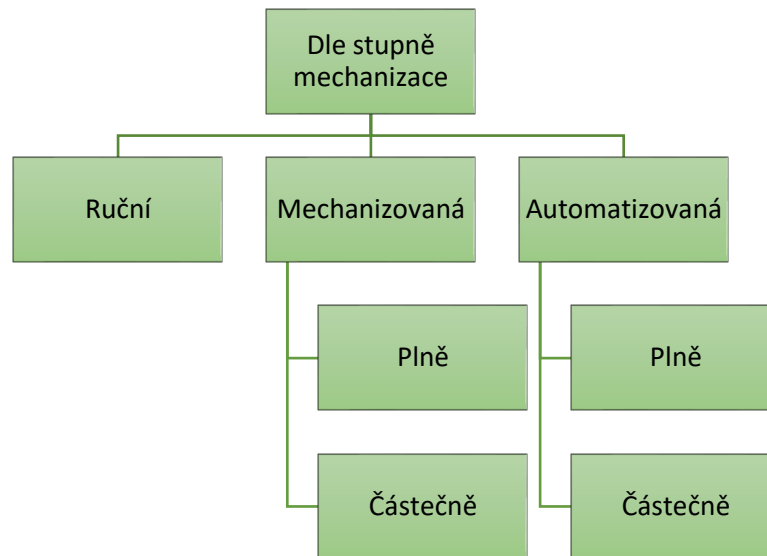
Jelikož je montáž v mnoha případech závěrečná a nejsložitější součást výrobního procesu, existuje celá řada důvodů, proč právě tuto činnost co nejvíce automatizovat. „Tato etapa rozhodujícím způsobem ovlivňuje nejen jakost a spolehlivost výrobku, ale také např. průběžnou dobu výroby, produktivitu práce i efektivnost celého systému“ [2]. Jaký stupeň automatizace bude pro montáž nejvhodnější je možné určit na základě analýzy montážního procesu, technických možností a ekonomického zhodnocení investic.

### 2.1. Vymezení pojmu automatizace

Abychom se mohli na pojem automatizace blíže zaměřit, je zapotřebí tento pojem přesně definovat. „K automatizaci vede snaha člověka osvobodit se nejen od fyzické činnosti, ale i od jednotvárné a unavující činnosti duševní. Činnost člověka přebírají automaty, počítače a prvky umělé inteligence. Tento poměrně složitý proces, při němž lidská řídicí činnost při výrobě i mimo výrobní proces je nahrazována činností různých přístrojů a zařízení je nazývána **automatizací**.“ [4]. Cílem automatizace je tedy nejen zvýšení kultury a kvality práce ale také zvýšení kvality výrobku, produktivity, flexibility, využití technických prostředků ale také snížení vlivu lidského faktoru na výrobu a v neposlední řadě také snížení mzdových nákladů.

## 2.2. Rozdělení montáže dle stupně mechanizace

Montážní systémy dělíme dle stupně automatizace do tří kategorií (Obr 3):



Obr 3 Rozdělení montáže dle stupně mechanizace [3]

### 2.3. Ruční montáž

Nejrozšířenější postup montáže, který je specifický vysokou flexibilitou a nízkými náklady na vybavení pracoviště. Mezi charakteristické znaky patří užívání univerzálních nástrojů, upínací přípravky jednoduché konstrukce, ruční nářadí a nástroje, případně ruční či pneumatické nářadí. Využití nachází především v kusové výrobě. [3]

### 2.4. Mechanizovaná montáž

Mechanizovaná montáž je charakteristická využitím mechanizace za účelem odstranění namáhavé lidské práce a zvýšení produktivity. K tomuto účelu je využívána řada mechanických zařízení a motorických nářadí, které využívají elektrické, pneumatické nebo hydraulické energie. Nevýhodou mechanizované montáže je na rozdíl od ruční montáže nízká flexibilita, která je dána strojním vybavením, ovšem díky vysoké produktivitě je využívána v sériové výrobě. [3]

### 2.5. Automatizovaná montáž

Plně automatizovaná montáž se využívá především ve velkosériové výrobě. Montážní linka může být automatizována zcela nebo částečně. V případě, kdy je automatizovaná jen část linky, mluvíme o částečně automatizované výrobě. Na plně automatizovaných linkách nebo na

---

automatizovaných částí linek je funkce člověka pouze kontrolní, případně zde pracovník pouze zakládá a odebírá materiál, odebírá vadné výrobky nebo odstraňuje závady na strojích. Automatizace se dělí na tvrdou a pružnou. [3]

### 2.5.1. Tvrdá automatizace

Tvrdá automatizace využívá mechanického řízení, například vačky, pro řízení strojů a výrobních zařízení. Přenastavení na nový výrobek je velmi zdlouhavé, a proto je tento způsob vhodný především pro velkosériové výrobky. Typickým představitelem jsou jednoúčelové obráběcí stroje. [17]

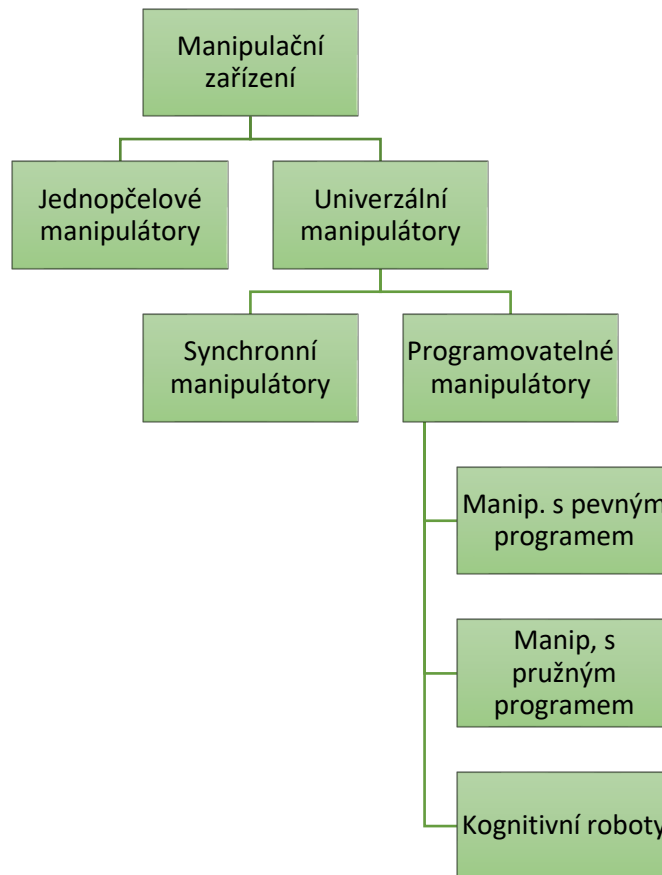
### 2.5.2. Pružná automatizace

Pružná automatizace umožňuje automatizovat montážní i výrobní proces ve velmi krátké době bez ohledu na rozsah sortimentu a velikosti série. Využívá číslicově řízených strojů, jejichž přenastavení je jednodušší a rychlejší než v případě tvrdé automatizace. Výsledkem je široký záběr použití výrobního a montážního vybavení a snížení prodlev pro přenastavení zařízení, což má za následek vyšší produktivitu a nižší výrobní náklady na výrobek. Jako nejvyšší stupeň automatizace se považuje plně automatizovaná výroba bez nutnosti zásahu člověka do výrobního procesu. [17]

## 2.6. Roboti a manipulátory

Vývoj robotů a manipulátorů byl podnícen snahou zefektivnit a zkvalitnit výrobu ale také k odstranění namáhavé či životu nebezpečné lidské práce, zvýšení rovnoměrnosti a přesnosti pohybů a také vyloučení lidské činnosti ve škodlivém prostředí. Manipulátory, případně roboti, jsou zpravidla osazeny velkým množstvím úchytných členů, např. podtlakovými nebo pneumatickými úchyty. Schéma rozdělení manipulačních mechanismů zobrazuje Obr 4.





Obr 4 Schéma rozdělení manipulačních mechanismů [7]

### Rozdělení manipulačních mechanismů dle funkčních činností:

**Jednoučelové manipulátory** – součást obsluhovaného stroje. Slouží jako podavače. Menší manipulační možnosti, které závisí na typu manipulované součásti a stroje.

**Univerzální manipulátory** – mají větší rozsah manipulace nezávislé na typu manipulované součásti a stroje. Parametry manipulátoru: počet stupňů volnosti, přesnost polohování, maximální zatížení nebo rozsah dílčích pohybů.

**Synchronní manipulátory** – řízeny pracovníkem, kterému slouží jako zesilovací zařízení a který přenáší na dálku příkazy obsluhy. Synchronní manipulátor tak odstraňuje namáhavou lidskou práci.

**Manipulátory s pevným programem** – jedná se o první generaci manipulátorů. Automatický řídicí systém má stálý program, změna programu je problém. Užívá se především pro monotónní činnosti.

**Manipulátory s proměnlivým programem** – stavebnicové konstrukční provedení. Řídicí systém dovoluje přepínat mezi jednotlivými programy. Průmyslový robot se od manipulátoru liší úrovní řízení. Adaptivní průmyslový robot automaticky upravuje program na základě aktuálních informací z čidel.

**Kognitivní roboti** – využití umělé inteligence v řídicím systému, který umožňuje automaticky generovat program na základě člověkem vložených algoritmů. Je také schopný učení, adaptaci a autonomnosti v procesu řešení úloh. [7]

## 2.7. Dopravníkové systémy

V rámci montážní linky spojují dohromady jednotlivá pracoviště. Dopravníkové systémy zajišťují transport montovaného výrobku a jeho součástí. V současné době je hojně využíván tzv. paletkový systém. Tento systém se skládá z řemenových dopravníků, které zajišťují přepravu palet, které se pohybují nezávisle na sobě. V místě montážního pracoviště, zastávky, je dopravník opatřen stoperem, který paletku zastaví a napozicuje do doby, kdy montážní dělník udělí pokyn k uvolnění palety. Dopravník je také možno doplnit tzv. předstoperem, který paletku zastaví před montážním pracovištěm čímž nedochází k hromadění jednotek na jednom pracovišti a tím nedochází k omezení pracovního prostoru pracoviště. [8]

## 3. Lean production

Štíhlá výroba je komplexní systém, díky kterému se výrobní podnik snaží ve všech svých systémech uplatnit zásady štíhlosti výroby neboli Lean production. Štíhlosti podniku lze popsat 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.“ [12]

Moderní zásady štíhlé výroby pochází z japonského konceptu, který klade důraz na pružnou

výrobu, reaguje na požadavky zákazníků, decentralizovaně řízenou poptávkou prostřednictvím přizpůsobení pracovních týmů a nízkém počtu na sebe navazujících stupňů výroby. Dalším důležitým faktorem je vysoká zodpovědnost zaměstnanců za kvalitu a průběh výroby, kdy má možnost přerušit výrobu při zjištění chyby. Mezi přední principy a metody Lean managementu patří:

- Princip zaměření se na podstatné aktivity a klíčové schopnosti
- Plánovací princip pull
- Princip nepřetržitosti
- Princip zamezení plýtvání a optimalizace hodnototvorného řetězce [12]
- Organizace zásobování Milk-run
- Metoda 5S
- Metoda Six sigma

### **3.1. Princip zamezení plýtvání a optimalizace hodnototvorného řetězce**

U optimalizace výrobních procesů se kromě správného plánování a kontroly procesů dbá také na zabránění plýtvání. Aktivity se tak posuzují podle toho, zda vytváří hodnoty, za které je zákazník ochoten zaplatit, naopak činnosti nevytvářející hodnotu, se označují jako plýtvání. Mezi příklady plýtvání můžeme zařadit nadbytečné mezioperační zásoby, nekvalitně provedené práce a jejich opravy, čekání na materiál, udržování nadbytečných zásob či několikanásobná evidence dat. [13]

### **3.2. Plánovací princip pull**

Princip pull znamená, že výrobky prochází výrobním systémem tzv. systémem „dones“. Každý výrobní stupeň má tedy pracovníka, který je zodpovědný za zajištění požadavků navazujících výrobních stupňů. Následující výrobní stupeň se tak stává zákazníkem pro předchozí stupeň, jehož požadavky musí být uspokojeny. Zároveň předchozí stupeň nezačne vyrábět, dokud si jej následující stupeň neobjedná. Teprve až poté, co je tento proces vyřízen, je započata práce na další objednávce. Systém plánování a výroby pull tak dokáže výrazně snížit náklady, a to díky snížení mezi operačních zásob a zkrácení průběžné doby výroby. [13]

### **3.3. Princip nepřetržitosti**

Tento princip souvisí s pojmem neustálého zlepšování, které probíhá nepřetržitě a nikdy nekončí. To znamená, že by podnik neměl být nikdy spokojený se současným stavem a nadále se pokouší procesy zlepšovat. Toto zlepšení se může týkat zlepšení technické kvality či kvality procesů ale také spokojenosti zákazníka, pro kterého je důležité přicházet stále s novými inovacemi, a to dle jeho přání. [13]

### **3.4. Princip zaměření se na podstatné aktivity a klíčové schopnosti**

Na základě tohoto principu jsou hodnoceny a revidovány všechny aktivity, které jsou součástí hodnototvorného řetězce od výzkumu a vývoje přes výrobu až po odpadové hospodářství. Podnik tak dostává přehled o tom, ve kterých elementech je lepší než konkurence, případně externí partneři, a které mají zásadní vliv na zlepšení konkurenčního postavení podniku. Lean management tak vede firmu k využití svých interních kapacit a schopností, které vytváří největší užitek. Toto rozhodnutí vede podnik k tzv. outsourcingu neboli využití subdodavatelů, kteří jsou vybaveni klíčovými schopnosti, technologiemi apod. [13]

### **3.5. One Piece Flow**

One Piece Flow, neboli tok jednoho kusu, je výrobní i montážní metoda, která rozděluje výrobu na jednotlivé operace, které na sebe bez čekání či přerušení navazují. V každé chvíli je na příslušném pracovišti vyráběn jeden výrobek, který se ihned po dokončení předá na další pracoviště. Výrobek je tak vyráběn bez plánovaného přerušení a čekání mezi operaci. Pro tuto metodu je tedy nevhodnější buňkové uspořádání pracoviště, kde jsou na jednom místě nezbytná zařízení, nástroje a zdroje materiálu.

Při zavádění této metody je vhodné zvolit takový proces, který splňuje následující kritéria.

- Procesy musí být schopny produkovat nezávadné kusy
- Časy výroby musí být opakovatelné
- Stroje musí být neustále připraveny k práci
- Procesy musí být škálovatelné podle doby taktu

Při zavádění principu One Piece Flow je jako první krok vhodné zvolit produkt, či produktovou skupinu a definovat její výrobní buňku. Pokud bude buňka vyrábět pouze jeden druh výrobku, musí po něm dostatečná poptávka, zatímco u variabilní buňky je vhodné zajistit zkrácení doby výměny nástrojů mezi jednotlivými produkty tak, aby nebyl delší než délka jednoho taktu. Dalšími kroky je vypočítání taktu, sestavení vhodného layoutu a tvorba samotného pracoviště. Vzhledem k taktu je také nutné vyvážit jednotlivé operace a určit počet operátorů pro zajištění taktu výroby. [14]

### 3.5.1. Takt time

Doba taktu je základním ukazatelem štíhlé výroby. Jejím účelem je sladění výroby s objednávkou a udává tempo, jakým se mají vyrábět díly, aby se objednávka naplnila. Takt time se vypočítá jako podíl dostupného výrobního času a počtu požadovaných kusů. Výpočet takt time je dán vzorem (1). [15]

$$TT = \frac{\text{Celková pracovní doba}}{\text{Celkový požadavek výroby}} \quad (1)$$

### 3.5.2. Výpočet počtu operátorů

Výpočet teoretické potřeby operátorů je pro nás orientační informací pro balancování linky. Skládá se ze součtu manuálních činností potřebných pro výrobu a takt time. Výpočet počtu operátorů je dán vzorcem (2).

$$\text{Počet operátorů} = \frac{\text{Suma času manuálních činností}}{\text{Takt time}} \quad (2)$$

## 3.6. Organizace zásobování Milk-run

Pojem a princip zásobování Milk-run pochází z Velké Británie v souvislosti s distribucí mléka z mlékárny ke spotřebiteli. Mlékárenský vůz jedoucí z mlékárny po dané trase dodá spotřebitelům plné lahve a odebere prázdné lahve z předchozího dne. Po dokončení této trasy se vůz vrací zpět do mlékárny. Tento způsob distribuce snižuje náklady na dopravu až o 30%, zvyšuje využití vypraveného vozu a snižuje náklady na skladování. V podniku, který tento princip využívá, se tímto systémem zásobují pracoviště materiálem, přitom princip je stejný jako v případě rozvozu mléka. Pracovník logistiky tak zásobuje materiálem pracoviště, odebírá prázdné obaly a zároveň sbírá informace o dalším doplňování či odběrech. Pro maximální přínos je vhodné výrobu synchronizovat a dosáhnout tak jisté pravidelnosti. [19]

## 4. Ergonomie montážního pracoviště

Stejně jako v jiných odvětví průmyslu, tak i při montáži dochází k interakci mezi člověkem a technikou. Aby během pracovních činností nedošlo k ohrožení fyzického i duševního zdraví zaměstnance, je potřeba nastavit taková opatření a limity zabraňující poškození jeho zdraví. Ergonomie montážního pracoviště je tak nedílnou součástí návrhu montážního pracoviště. „Ergonomie je vědecká disciplína, optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii, poznatky, principy, data a metody k optimalizaci pohody člověka a výkonnosti systému.“ [9] Díky správně zvolené ergonomii je práce pro zaměstnance příjemná, nedochází při ní k poškození zdraví a příznivě přispívá k vyšší efektivitě práce. V této kapitole bych se rád podrobněji věnoval tématům z ergonomie, které budou mít přímý vliv na optimalizaci montážní linky a její části. [9]

S ergonomií je úzce spjat také pojem **ergatika**, jejíž definice zní: „Ergatika je vědní obor, který optimalizuje systém ČLOVĚK-TECHNIKA-PROSTŘEDÍ s cílem zajistit pohodu člověka a zabránit ohrožení jeho zdraví úrazem či nemocí, při optimalizaci výkonnosti systému“. [9] Z definice nám tedy vychází, že při návrhu musíme zohlednit faktory, které by mohli úzce souviset se vznikem pracovního úrazu či nemoci z povolání a zároveň příznivě přispějí k vyšší výkonnosti linky. [9]

### 4.1. Člověk – technika - prostředí

Při pohledu na toto schéma je patrné, že ergonomie je systémovým přístupem, který respektuje celek složený z člověka, techniky a prostředí včetně vazeb mezi nimi a tím vytváří nový útvar s charakteristickými vlastnostmi. Jako limitující složka systému, která ovlivňuje konečné chování systému, je člověk. [9]

#### Kritéria hodnocení ergonomického systému

##### 1. Produktivita systému - objem práce vykonané za jednotku času

Můžeme mít dvě formy ergonomických opatření:

- a) Zvýšení produktivity práce při nezvýšené zátěži pracovníka
- b) Při stejné produktivitě snížení nepříznivých psychofyziologického zatížení člověka

##### 2. Spolehlivost systému – včasné a bezchybné splnění úkolu nebo cíle systému.

3. **Ekonomičnost systému** – je určena ve formě nákladů na jednotku produkce z pořízovacích a provozních nákladů.
4. **Fyzická namáhavost funkce systému** - u fyzické namáhavosti se měří spotřeba energie na pracovní cyklus či jednotku práce
5. **Psychická namáhavost funkce systému** – u psychické namáhavosti se určuje psychická zátěž, kterou systém u člověka vyvolává.
6. **Nebezpečnost a hygieničnost systému** – údaj, který ukazuje, zda může v systému dojít ke zranění či nemoci.
7. **Estetičnost systému** – významný faktor, nicméně se jedná o údaj bez jednoznačných kritérií
8. **Ergonomičnost systému** – komplexní ukazatel, jehož uplatňování má za cíl dosáhnout těchto efektů:
  - a) **Ekonomické** – vyplývají ze zdrojů jako jsou zkrácení doby na vykonání činnosti, zvýšení produktivity práce, odstranění neproduktivní práce, snížení absence při úrazech či onemocnění a snížení fluktuace zaměstnanců
  - b) **Sociální** – nejedná se o přímo vyčíslitelný údaj, projevuje se spokojeností člověka a jeho uspokojením z práce, dobrém zdravotním stavu či rodinném životě. Toto všechno se po určité době může pozitivně i negativně projevit na hospodářském výsledku podniku ale také na životní úrovni zaměstnance. [9]

## 4.2. Pracovní prostředí

Zabývat se otázkou pracovního prostředí je důležité při každém návrhu nebo optimalizaci pracoviště. Je důležité se tak zabývat eliminací škodlivých a nepříznivých faktorů a vytvořit prostředí, které bude pro zaměstnance přijatelné pro podání optimálních výkonů. Níže bych se rád zabýval některými faktory, které jsou označovány jako rizikové a definuje je nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10]

### 4.2.1. Osvětlení

Člověk kontroluje vykonanou práci především svým zrakem (z 80 až 90 %), osvětlení je tak jedním z důležitých faktorů pracovního prostředí. Správným osvětlením může ovlivnit nejen vykonání práce jako takové ale také její kvalitu, čistotu nebo bezpečnost.

Osvětlení může být druhu:

- a) Denní (přirozené) – zdrojem světla je slunce, které je zadarmo a ve spektru na které je člověk adaptován
- b) Umělé – jediný způsob trvalého zajištění stálých světelných podmínek na pracovišti
- c) Sdružené – kombinace všech předchozích, ideální pro použití v praxi, kdy při poklesu intenzity přirozeného zdroje pod určitou mez se aktivuje osvětlení umělé.

Právě intenzita zdroje světla (přirozeného nebo umělého) má významný vliv na zrakový vjem, proto je potřebná hodnota intenzity dána druhem a jemností vykonávané práce. Z těchto důvodů jsou práce rozděleny do 6 tříd uvedených v Tab 1, kde podrobností je myšlen právě kritický detail.

Tab 1 Třídy prací s ohledem na potřebné osvětlení [9]

Třída	Požadavky na osvětlení	Velikost kritického detailu (mm) ze vzdálenosti		Osvětlení [lx]
		350 mm	1000 mm	
1	Mimořádné	0,1	0,3	Nad 5000
2	Velmi vysoké	0,1 - 0,2	0,3 - 0,6	2000 - 5000
3	Vysoké	0,2 - 0,4	0,6 - 1,2	600 - 2000
4	Průměrné	0,4 - 0,8	1,2 - 2,3	250 - 600
5	Malé	0,8 - 1,5	2,3 - 4,4	100 - 250
6	Velmi malé	1,5 - 3	4,4 - 8,8	25 - 100

S intenzitou je spojen pojem kontrast. Pokud je kontrast mezi detailem a pozadím malý, jsou oba předměty tmavé nebo světlé, a velký, pokud je jeden z předmětů tmavý a druhý světlý. Kontrast je jedním z faktorů, který přispívá ke zmenšení zrakové námahy.

#### 4.2.2. Hluk

Rozvojem techniky, automatizace, dopravy nebo telekomunikačních služeb je hladina hluku na stále vyšší a vyšší hladině, proto je nezbytné se tomuto aspektu věnovat i při návrhu pracoviště jako takového. Hlukem myslíme právě takový zvukový jev, který je nepříjemný, škodlivý či rušivý a jehož vliv na lidský organismus není zanedbatelný. Vysoká hladina hluku může mít kromě poškození sluchu také vliv na zhoršení krevního oběhu nebo zažívacích schopností člověka. Jednotka užívaná pro určení hladiny zvuku se nazývá intenzita (hlasitost) hluku ( $L_p$ ) a její jednotka decibel (dB). Při běžných činnostech je jako rušivý zvuk označován hluk o



intenzitě 30 – 65 dB. Hluk od intenzity 66 dB výše je označován jako absolutní hluk, který je zdraví škodlivý. Mezi používané ochranné pomůcky (OOP) patří ušní zátky, sluchátkové chrániče nebo ochranné protihlukové přilby. Při práci za vysoké intenzitě hluku mají zaměstnanci užívající OOP nárok na pracovní přestávky v nehlukném prostředí. [9]

#### 4.2.3. Fyzická zátěž

Fyzická zátěž se dělí na statickou a dynamickou. Při statické zátěži nedochází k prodlužování svalu ale pouze ke zvyšování jeho zátěže. Kontrakce svalu v tomto případě trvá déle jak 3 sekundy a tím nedochází ke správnému prokrvení svalu a vzniká únava. Typickým příkladem je držení břemene bez pohybu. Během dynamické svalové zátěže naopak dochází k prodloužení a následnému uvolnění svalu, a to po dobu kratší než 3 sekundy. Při takovém zatížení svalu je zajištěno jeho plné prokrvení a nedochází k tak rychlé únavě jako v předchozím případě. [10], [11]

##### a) Celková fyzická zátěž

Činnost, při které je zatěžováno alespoň 50% svalové hmoty dynamickým fyzickým zatížením, se nazývá celkovou fyzickou zátěží. Hodnotí se zpravidla dle energetického výdeje či srdeční frekvence. Přípustné (směnové nebo minutové) energetické výdaje či srdeční frekvence jsou stanoveny nařízením vlády č. 367/2007 Sb. [10]

##### b) Lokální fyzická zátěž

V rámci lokální svalové zátěže mluvíme o zatěžování malých svalových skupin, zejména práci končetin. Posuzuje se maximální počet pohybů (za směnu nebo za minutu) podle vynaložené síly a polohy končetin při práci. Dále se také hodnotí doba lokální svalové zátěže, jednostrannost nebo nadměrnost. [10]

### 4.3. Další rizikové faktory

K dalším rizikovým faktorům ovlivňující zdraví a pracovní pohodu zaměstnance patří:

- Záření
- Vibrace (chvění a otřesy)
- Klimatické podmínky
- Barevné řešení
- Chemické faktory [10]

## 4.4. Vybavení pracoviště

Aby mohl pracovník pohodlně vykonávat svoji práci, mělo by pracoviště odpovídat všem potřebným náležitostem. Kromě eliminace výše zmíněných faktorů je třeba také dbát na správné vybavení pracoviště nářadím a pomůckami, sedadly (případně podnožkou) a samozřejmě vhodné zvolení pracovní polohy.

### 4.4.1. Ruční nářadí a pomůcky

Při ergonomickém návrhu pomůcek je třeba dbát na tvary a rozměry, hmotnost, bezpečnost a hygienu, materiály a jakosti povrchu a estetické působení.

**Tvary a rozměry** – při jejich řešení a návrhu je důležité se zaměřit především na úchopovou část, hmatník a držadla. Zde je důležité respektovat hmotnost a velikost nářadí, způsob uchopení, směr a velikost vyvíjené síly potřebné k práci a pohybu, polohu těla při práci, druh práce (přesná, hrubá apod.) či podmínky práce. Nesprávné řešení těchto částí může vést ke snížení produktivity a kvality, zvýšení zátěže pracovníka a poškození jeho zdraví. Co se týče tvaru, není určen univerzální vzor, který by byl vhodný pro všechny, a proto je dobré mít dostupné různé velikosti (pro muže, ženy, mladistvé). V neposlední řadě je dobré myslet na leváky, kterým hmatník tvarovaný pro praváka nemusí vyhovovat (např. nůžky).

**Hmotnost** – pokud je to možné, eliminuje se hmotnost nářadí na minimum. Dále se doporučuje umístit nářadí co nejbližší k tělu, umožnit zapojených silných svalů pracovníka, využívat protizávaží nebo pružiny, které „odlehčí“ používané nářadí. Dále se také přihlíží k podmínkám užívání, např. klima (uvnitř/venku, teplota, vlhkost) a používání rukavic.

**Bezpečnost a hygiena** – Nářadí nesmí být zdrojem úrazů ani příčinou onemocnění, například vlivem vibrací nebo deformací prstů.

**Materiálu a jakosti povrchu** – musí být vhodné pro manipulaci a zároveň pro údržbu, čištění nebo seřizování. Drsnost povrchu je dobré co nejvíce přizpůsobit povaze práce a prostředí. Velmi hrubý povrch může vést také ke zvýšenému riziku vzniku puchýřů a mozolů, naopak velmi hladký povrch může způsobit vyklouzávání nářadí z rukou. [9]

#### 4.4.2. Sedadlo

Jelikož sed je pro dlouhodobou práci nejvýhodnější, je zapotřebí kvalitní sedadlo. Sedadla lze rozdělit do dvou kategorií – pracovní a odpočinková – v rámci bakalářské práce jsou uvedena pouze sedadla pracovní.

Faktory určující typ a tvar sedadla:

- Celková situace u stroje – prostorové uspořádání, použité zařízení apod.
- Druh práce – fyzická-psychická, lehká-těžká
- Základní pracovní poloha – s předklonem, svislý trup, podepřené ruce apod.
- Hlavní pracovní pohyby – ruce, nohy, rozsah, síly
- Nároky na střídání polohy – stoj-sed, frekvence střídání
- Změna polohy v sedu – natáčení trupu, předklony, úkony
- Účinky vnějších sil – vibrace, zrychlení, rotace

Na základě těchto faktorů lze z nepřeberného portfolia produktů na trhu vybrat vhodné sedadlo. Ke správnému držení těla lze dopomoci pomocí opěrky (např. bederní, trupová, šijová nebo loketní), které podpoří správné držení těla a pohodlí zaměstnance.

Pokud to podmínky dovolují, spočívají nohy pracovníka na podlaze. Nicméně v případě, že je rozměrové řešení pracoviště vyšší nebo naopak je zaměstnanec menšího vzrůstu, je vhodné sedadlo doplnit o tzv. podnožky. Podnožky mohou být pevné nebo stavitelné, plocha může být šikmá nebo válcová. [9]

#### 4.4.3. Pracovní poloha

Pracovní poloha popisuje postavení těla při práci. Pro člověka jsou nejvýhodnější polohy vsedě, ve stoje, chůze, vleže, vkleče či jejich různá kombinace. Nejběžnější jsou ovšem polohy v sedě a ve stoje, které jsou porovnány v Tab 2.

Tab 2 Porovnání výhod sedu a stoje [9]

Výhody sedu	Výhody stoje
Menší energetická namáhavost	Možnost střídání poloh
Jemnější a přesnější pohyby	Větší rozsah končetin
Odlehčení nohou	Větší síly
Větší soustředění	Větší bdělost
Odpočinek při mikro pauzách	Možnost rychlého úniku
Využívání činnosti nohou	Možnost střídání pracovišť

Z fyziologického hlediska je sice nejvýhodnější sed, ovšem je třeba aby bylo zaměstnanci umožněno měnit polohu. V rámci montážní linky je ideální, aby zaměstnanec mohl střídát polohy v sedě a ve stoje. Samozřejmě by také měli být krátké bezpečnostní přestávky po dvou hodinách, aby se zaměstnanec měl možnost protáhnout. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. proto rozeznává tři druhy pracovních poloh:

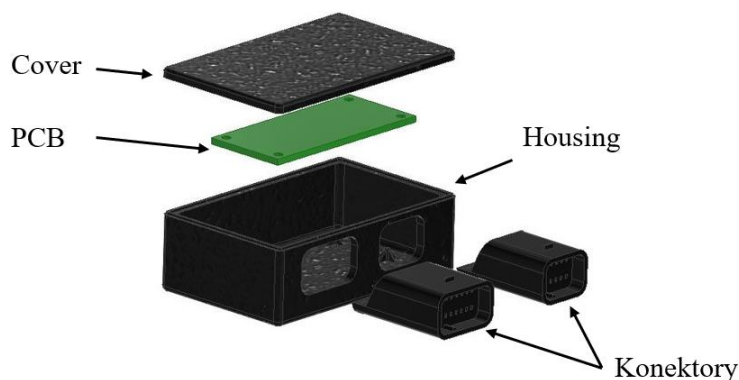
- Přijatelná poloha – poloha doporučená pro práci bez dalších omezení
- Podmíněně přijatelná poloha – Mezistupeň mezi přijatelnou a nepřijatelnou polohou. Například frekvence pohybů menší než 2 za minutu při dynamické zátěži.
- Nepřijatelná poloha – Nepřirozená poloha těla, které bychom se měli vyvarovat. Protože se ji nelze vyhnout, je nařízením vlády stanovena doba maximálně 30 minut za osmihodinovou směnu, kdy zaměstnanec může v takové poloze setrvat. [9] , [10]

## 5. Analýza současného stavu linky

Cílem bakalářské práce je optimalizace a návrh layoutu montážní linky. Právě proto je nutné nejdříve provést důkladnou analýzu současného stavu. Dále na základě reálných dat je nutné navrhnout několik variant řešení a následně vybrat tu nejoptimálnější. V této části bakalářské práce je stručně představen produkt ECU a provedena analýza současného stavu její montážní linky. Následně je popsáno současné schéma toku materiálu montážní linkou, představeno několik variant řešení optimalizace s různým stupněm automatizace a pomocí rozhodovacích kritérií určena nejvhodnější varianta. Použitá data jsou zkrácena z důvodu utajení citlivých informací.

### 5.1. Electronic control unit

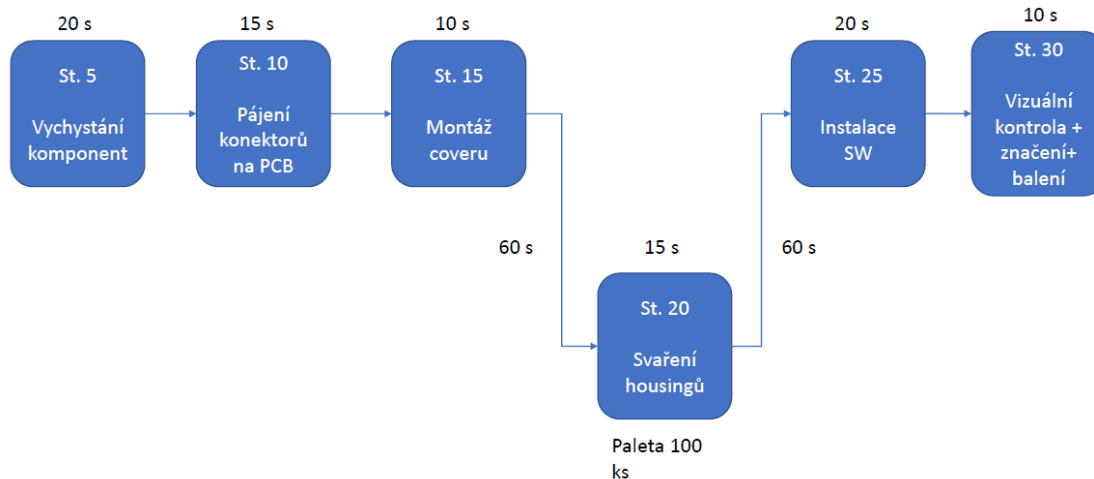
Electronic control unit (ECU) neboli elektronická řídicí jednotka je vestavěný počítač, který řídí automobilové systémy, například chod motoru, parkovací senzory, audio systémy a podobně. Takových řídicích jednotek najdeme v každém moderním vozu několik desítek, které jsou vzájemně propojeny pomocí společné sběrnice. V našem případě se jedná o jednoduchou řídicí jednotku, která je v zásadě společná pro každý jeden produkt. Odlišnost najdeme pouze v použitém softwaru a konektorech pro připojení ke sběrnici vozu, které se liší dle jednotlivého zákazníka. Řešená řídicí jednotka (Obr 5) se skládá z housingu, ve kterém je na pevných pinech umístěno PCB. Dále se zde nachází dva konektory, které jsou pomocí pájení spojeny s PCB a jsou umístěné v příslušných rozhraních na stěně housingu. Posledním dílem je kryt, který uzavírá housing s PCB a vnitřní částí konektorů a chrání tak vnitřek řídicí jednotky před nečistotami, vodou apod.



Obr 5 Electronic control unit

## 5.2. Analýza současného stavu

Montážní linka je v současné době používána nárazově pro malé série výrobku pro maximálně 100 ks v jedné výrobní dávce pro jednotlivé zákazníky. Jelikož podnik produkuje více produktů, které využívají technologie laserového svařování plastů, v obdobných sériích, je toto pracoviště společné i pro ostatní výrobní linky s podobným objemem výroby. Toto pracoviště je umístěno na „univerzálním“ stanovišti, kam se v případě výroby přesouvají polotovary pouze za tímto účelem.



Obr 6 Schéma současného stavu

Na Obr 6 je patrné současné řešení montážní linky s naznačeným výrobním tokem a časy jednotlivých operací a převozu materiálu od linky ke stanovišti svařování a zpět k lince. Z obrázku je patrné, že největší zdržení ve výrobním toku nastává právě u pracoviště svařování. Je to dáno nejenom jeho vzdáleností od linky ale také přepravou dílů, které se zpravidla na lince připraví, naskládají do KLT přepravek na paletu a společně se pak odvázejí na svaření. Zde opět nějaký čas trvá, než se všechny svaří a poté jsou společně opět dopraveny k lince na dokončení. Další zdržení samozřejmě může způsobit situace, kdy se u svářečky sejde více produktů z různých linek.

### 5.2.1. Časy jednotlivých operací

Pro větší názornost současného stavu linky jsou uvedeny časy jednotlivých operací v Tab 3. Tyto časy byly změřeny přímo ve výrobě a jsou pro účely bakalářské práce zkrácené a neodpovídají realitě. Výroba na lince probíhá v dávkách, tudíž dokud není ukončena jedna operaci, nemůže začít další. V tabulce (Tab 3) vidíme že časově nejnáročnější je samotný přesun materiálu ke svářečce a s ním spojené hromadění materiálu.

Tab 3 Časy jednotlivých operací

Operace	Čas (s)
Operace č. 5 - Vychystání komponent	10
Operace č. 10 - Pájení	15
Operace č. 15 - Montáž coveru	10
Operace č. 20 - Manipulace	60 (2x)
Operace č. 25 - Svařování	15
Operace č. 30 - Instalace SW	15
Operace č. 35 - Vizuální kontrola/balení/značení	10

### 5.3. Shrnutí současného stavu

Z Tab 3 je názorně vidět velká spotřeba času na manipulaci s materiálem mezi linkou a svařovacím pracovištěm. To je pro potřeby navýšení výrobní kapacity linky nepřijatelné. Dalšími velkými zápory současného řešení jsou dlouhé časy jednotlivých operací. V případě svařování a pájení je problém tyto časy zkrátit z technologických důvodů, proto je zapotřebí se soustředit na ruční operace. Ty je možno sloučit do jednoho pracoviště a zároveň vhodně automatizovat. Dále je potřeba se více zaměřit na vyrovnání taktu jednotlivých pracovišť a snížení zastavené plochy. K dosažení požadavků podniku je nutné provést několik opatření:

- Implementovat pracoviště svařování do jedné linky
  - Snížení manipulačních časů
  - Zamezení hromadění rozpracované výroby
- Minimalizovat počet pracovišť
- Využití větší míry automatizace
- Co nejvíce vyrovnat takt mezi jednotlivými pracovišti

## 6. Návrh variant pracoviště

Hlavním cílem bakalářské práce je předložení možných variant optimalizace a uspořádání výrobní linky. Po seznámení s chodem výroby a požadavky zákazníky i výroby samotné byly zpracovány tři návrhy možného řešení. V kapitole jsou blíže popsány jednotlivé požadavky na montážní proces ze strany výroby. Dále jsou představeny jednotlivé varianty, popsané jednotlivé změny a jednotlivá pracoviště.

### 6.1. Požadavky na montážní linku

Před začátkem samotného návrhu se věnuji požadavkům výroby na montážní linku. Tyto požadavky reagují na zvyklosti výroby v používání stavebních prvků, energetických přípojek, zásobování linek materiálem a odvozem hotových výrobků.

Dále vycházím z obecných požadavků výroby na co největší použití automatizace a snížení zastavěné plochy a počtu pracovních buněk. Tyto požadavky vychází z nedostatku montážních dělníků a nízké dostupnosti výrobních prostor. Samozřejmostí jsou také obecné požadavky na co nejnižší pořizovací a provozní náklady. V neposlední řadě je kladen také důraz na vyrovnaní taktu celé linky.

#### 6.1.1. Požadavky na použité stavební prvky

Při konstrukci každého zařízení je nutné brát ohledy nejen na co nejnižší pořizovací a provozní náklady ale také na požadavky na životnost zařízení a náklady na údržbu zařízení. Jelikož je životnost zařízení z velké části ovlivněna používanými stavebními prvky, jsou uvažovány komponenty renomovaných značek, se kterými jsou dlouhodobě dobré zkušenosti a které mají ověřenou životnost, spolehlivost a dostupnost náhradních dílů.

#### 6.1.2. Požadavky na energetické přípojky

Energetické přípojky jsou z dalším z parametrů zadání pro konstrukční návrh montážní linky. Tyto přípojky jsou společné pro celou výrobní halu a také dostatečně dimenzovány. Použitím právě těchto přípojek se zamezí dalším nákladům na pořízení jiných přípojek či zdrojů. Z těchto důvodů uvažuji tyto standartní přípojky:

- Elektrický rozvod 400 V
- Rozvod stlačeného vzduchu 6 bar a 10 bar



### 6.1.3. Zásobování linky a odvoz hotových výrobků

Požadavkem na zásobování linky bylo využití způsobu Milk-run, který je ve výrobním podniku již zavedený s velmi dobrými výsledky. Tento systém při doplňování zásobníku nijak neovlivňuje montážního dělníka, který tak má vždy k dispozici potřebné díly v dostatečné zásobě.

Hotové výrobky se balí do připravených přepravek, které se následně naskládají na přepravní Europaletu standardních rozměrů a odvezou na expedici. Paleta se umísťuje k poslednímu pracovišti, kde probíhá balení, tak, aby byla pro montážního dělníka i pro logistiku snadno dostupná.

### 6.1.4. Enviromentální dopady

Jako na každý jiný průmysl, tak i na automobilový průmysl jsou kladeny vysoké požadavky týkající se snižování emisí, především pak emise CO<sub>2</sub>. Každé strojní zařízení spotřebovává elektrickou energii, která více či méně zatěžuje životní prostředí emisemi v závislosti na aktuálním energetickém mixu. Při návrhu je tedy nutné brát ohled na spotřebu použitých prvků a vhodně je dimenzovat. V neposlední řadě je ze zmíněných důvodů kladen důraz na znovupoužití již používaných komponent.

## 6.2. Společné prvky

Napříč všemi návrhy se vyskytují prvky, které jsou společné pro všechny návrhy optimalizovaných řešení. V této kapitole jsou proto popsány jejich vlastnosti a parametry, které se napříč jednotlivými návrhy buď nemění vůbec nebo jsou jejich změny pouze minimální.

### ***Dopravník***

K propojení jednotlivých pracovišť byl zvolen paletkový dopravník. Dopravník je uspořádán do čtverce, kdy v rozích čtverce se směr posuvu mění o 90°. Výška dopravníku je uzpůsobena tak, aby se paletka nacházela 99 až 101 cm nad podlahou. Tato výška je dána jednak možnostmi pracoviště svařování pro průchod dopravníku, tak také odpovídá doporučené výšce pro montáž jemných součástí, v našem případě přesné a jemné montáži PCB a konektorů do housingu. Dopravník je osazen „stopery“ ve stanicích i mezi nimi tak, aby nedocházelo k hromadění paletek ve stanicích.

### ***Osvětlení***

K osvětlení pracovišť je dle interních pravidel použito osvětlení s dvěma LED zářivkami. Tyto zářivky jsou svým zářením šetrné k lidskému zraku. Svými parametry se řadí mezi standartní osvětlení o výkonu 5040 lumen, vyzařovacím úhlem 120° a barvou o teplotě 5500 K, které odpovídá dennímu záření.

### ***Stolička***

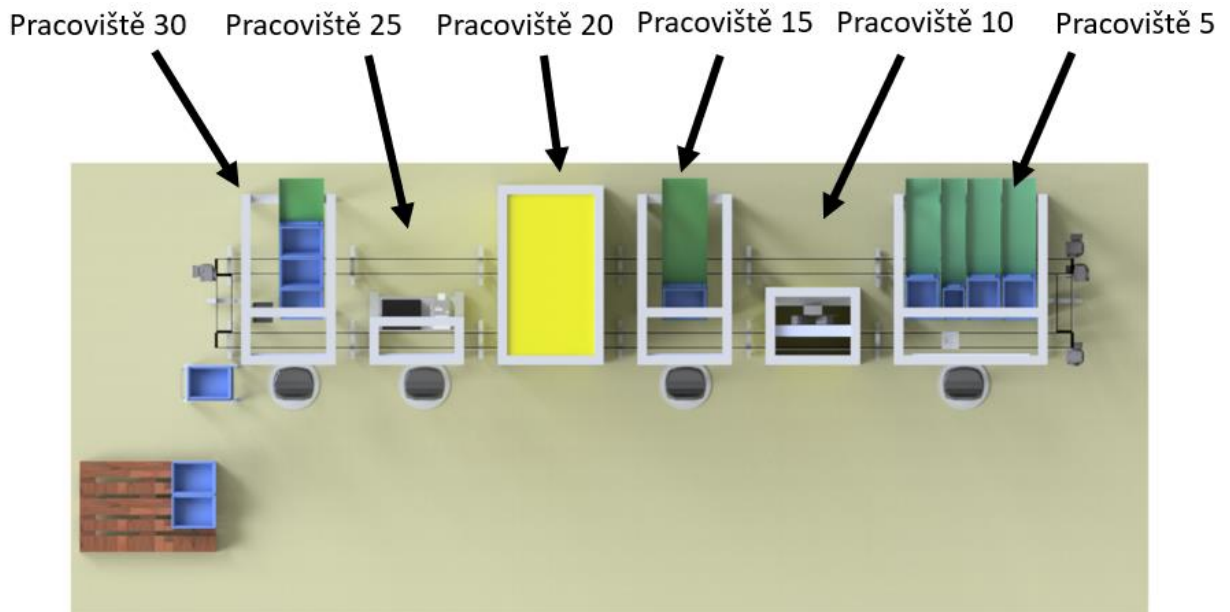
Sedačka patří ke standartní výbavě montážních linek. V rámci optimalizace bylo počítáno se standartní sedačkou k montážní lince, která tvoří podporu těla při práci ve stoje a snižuje tak svalovou zátěž. Základna sedačky je pevná s protiskluzovými prvky. Sedlo je možné seřídit jak výškově, tak úhlem naklonění sedáku tak, aby opora těla byla co nejoptimálnější a nejpříjemnější pro montážního dělníka.

### ***Zastupování lidí***

Obecně jsou všechny pracoviště v podniku vybaveny popisy činností, které zajišťují snadné seznámení montážního dělníka s požadovanými operacemi. Zároveň jsou činnostmi linky seznámeni supervisoři a předáci skupin výrobních linek, kteří tak mají potřebné vědomosti pro zaškolení montážních dělníků. Zároveň tito lidé mohou operativně zastoupit dělníka v případech jako odchod na toaletu mimo přestávku nebo ošetření v případě zranění.

### 6.3. Návrh 1 – uspořádání toku

Návrhu první varianty (Obr 7 , Obr 8) vychází z prostého uspořádání výrobního toku do jedné celistvé linky. Tohoto kroku bylo docíleno prostým zasazením pracoviště svařování do linky. Tímto krokem došlo k odstranění manipulace od linky ke svářečce a zpět a zamezení hromadění zásob rozpracované výroby. Došlo tak k ucelenému toku na celé lince za vynaložení minimálních nákladů, protože se využívá již stávajících pracovišť.



Obr 7 Návrh 1 - uspořádání toku

Z důvodu prostorových možností ve a volného místa ve výrobní hale bylo zvoleno uspořádání linky do tvaru I. Jedná se o nejjednodušší z možných řešení, které se vyznačuje jednoduchou a nenákladnou manipulací. Z důvodu výše zmíněných omezení byl zvolen tok materiálu zprava doleva. Na pravé straně z pohledu na obrázku je umístění linky omezeno stěnou haly, na straně druhé je dostatek prostoru pro manipulaci s paletami s hotovými výrobky.

Doplňování linek vstupními komponenty je přizpůsobeno systému Milk-run, které umožňuje doplňování komponent za stálého chodu linky a montážní dělník tak má vždy jejich dostatek. Doprava komponent na lince je zajištěna pomocí páskového dopravníku s paletkami. Každé z pracovišť je vybaveno vlastním osvětlením s dostatečným výkonem a stop tlačítkem.



*Obr 8 Návrh 1 - prostorový pohled*

### **Pracoviště 5**

První pracoviště montážní linky je pracoviště č. 5 (Obr 9). Jedná se o pracoviště ruční montáže obsluhované jedním montážním dělníkem. Ten na připravenou paletku umístí housing, do kterého vkládá PCB na připravené klipy a do určených otvorů umístí konektory.



*Obr 9 Návrh 1 - pracoviště 5*

Pracoviště je v horní části vybaveno dopravníky pro doplňování bedýnek s komponenty, do dopravníků ve spodní části pak dělník odkládá prázdné bedýnky. Spodního okraje bedýnek v zásobníku se nacházejí ve výšce přibližně 115 cm, což je střední hodnota udávaná společností. Aby byla pracovní poloha pro montážního dělníka co nejpříjemnější, je pracoviště doplněno sedačkou a osvětlením.

### **Pracoviště 10**

Na tomto pracovišti (Obr 10) dochází k pájení spojů konektorů a PCB. Jedná se o plně automatické pracoviště. Pájecí automat je umístěn na manipulátoru, který dovoluje posuv jak ve svislém, tak horizontálním směru. Součástí výbavy pájecího automatu je kamera, která snímá oblast pájeného spoje a umí tak odhalit chybný spoj a obsluha linky tak může vadný kus vyřadit z toku linky. Další funkcionalitou je použití softwaru, který umí uchovat záznamy o procesu pomocí identifikačních údajů pro jednotlivé kusy. Díky této funkcionalitě je možné průběžně sledovat kvalitu procesu a její odchylky od nominálních hodnot. Pro zamezení nadměrné prašnosti je pracovní prostor chráněn polykarbonátovými deskami. Přístup do vnitřku pracoviště je zajištěn pomocí otevíracích dveří v jeho přední části. Zásah lidské obsluhy je nutný pouze v případě poruchy, seřízení stroje či pro doplnění pájecího drátu.



*Obr 10 Návrh 1 - pracoviště 10*

### **Pracoviště 15**

Jedná se o pracoviště s ruční obsluhou (Obr 11). Zde obsluha umístí cover na rozhraní na horní straně housingu. Pracoviště je stejně jako pracoviště 5 doplněno horním dopravníkem pro doplnění bedýnek s komponentou a dolním pro jejich odkládání se stejnými výškovými parametry. K další výbavě pracoviště patří dostatečné osvětlení a stolička.



*Obr 11 Návrh 1 - pracoviště 15*

### **Pracoviště 20**

Pracoviště 20 je pracoviště laserového svařování plastů (Obr 12). Jedná se o zcela automatické zařízení. Stroj si sám umí vyhodnotit přesnou polohu komponenty, ohlídat a vyhodnotit proces svařování a zaznamenat pomocí identifikačních údajů jednotlivé kusy se záznamem o procesu. Na základě diskuse s dodavatelem těchto zařízení lze použít dopravník linky, a to včetně prostupu zpětné větve dopravníku. Z důvodu ochrany okolí stroje před zářením laserového paprsku je celý stroj plně zakrytován. Přístup do zařízení pro seřízení a údržbu je tak možný pouze při vypnutí celého stroje.



*Obr 12 Návrh 1 - pracoviště 20*

### **Pracoviště 25**

Jedná se o ruční pracoviště určené pro instalaci softwaru ECU a nalepení výstupního štítku (Obr 13). Po vstupu paletky připojí obsluha ECU k instalační jednotce. Tato jednotka provede instalaci a rychlý test softwaru. Pokud je vše v pořádku, vytiskne tiskárna štítek, který obsluha nalepí na určené místo. Stejně jako u předchozích pracovišť s lidskou obsluhou je i toto pracoviště vybaveno stoličkou a osvětlením.



*Obr 13 Návrh 1 - pracoviště 25*

### **Pracoviště 30**

Toto pracoviště je posledním v celém toku linky. Jedná se o pracoviště výstupní vizuální kontroly a balení (Obr 14). Balení spočívá v umístění hotové ECU do přepravní bedýnky, která je označena přepravním štítkem, který obsluha nejdříve naskenuje a poté umístí na příslušné místo na bedýnce. Bedýnky jsou na pracoviště dodány pomocí dopravníku v horní části pracoviště. Obsluha vkládá hotové ECU do bedýnky přímo na vstupním dopravníku, případně může použít stolku na kolečkách pro snadnější přístup a pohodlnější skládání výrobku do bedýnky. Plné bedýnky poté skládá na paletu umístěnou vedle pracoviště. Mezi další příslušenství pracoviště patří stolička a osvětlení.



*Obr 14 Návrh 1 - pracoviště 30*

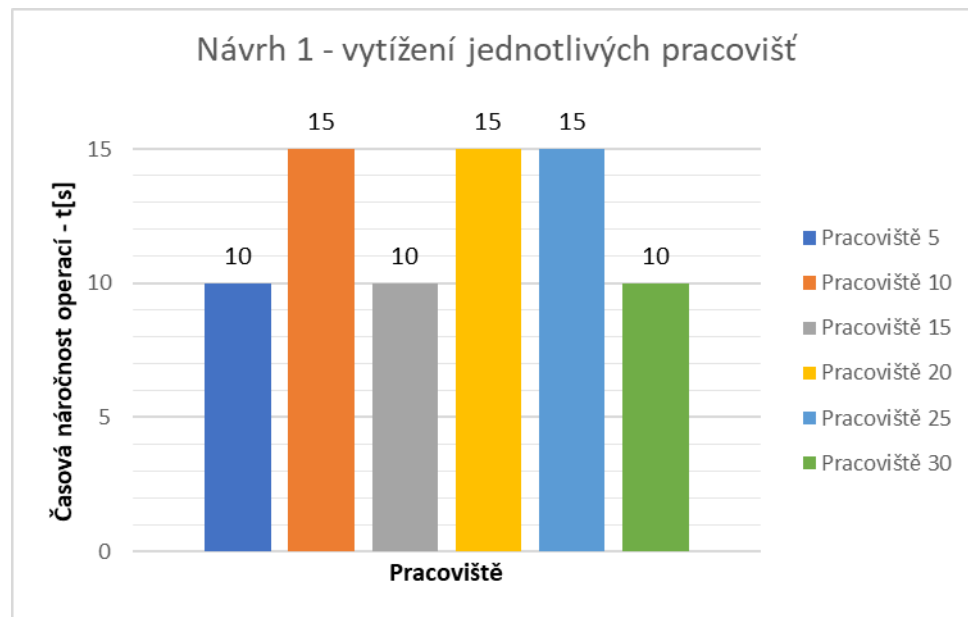
#### **6.3.1 Takt linky**

Ideální a reálný takt při práci pro čtyři montážní dělníky je zobrazen v Tab 4. Jelikož z povahy toku na lince není možné zajistit stejné vytížení všech pracovníků. Takt je stanoven prvním pracovištěm na lince, tj. pracovištěm č. 5, které bude nejvíce vytíženo a ostatní pracoviště na něj budou čekat. Na Obr 15 je uvedena časová náročnost jednotlivých pracovišť. Tyto časy byly zjištěny na základě experimentálních měření při reálné simulaci linky. Samozřejmě se jednotlivé časy mohou u člověkem obsluhovaných pracovišť lišit v závislosti na únavě nebo zručnosti montážního dělníka.



Tab 4 Návrh 1 - takt linky

Ideální takt (s)	Reálný takt (s)	Největší rozdíl (s)
14,2	15	5



Obr 15 Návrh 1 - vytížení jednotlivých pracovišť

### 6.3.2. Celkové parametry linky

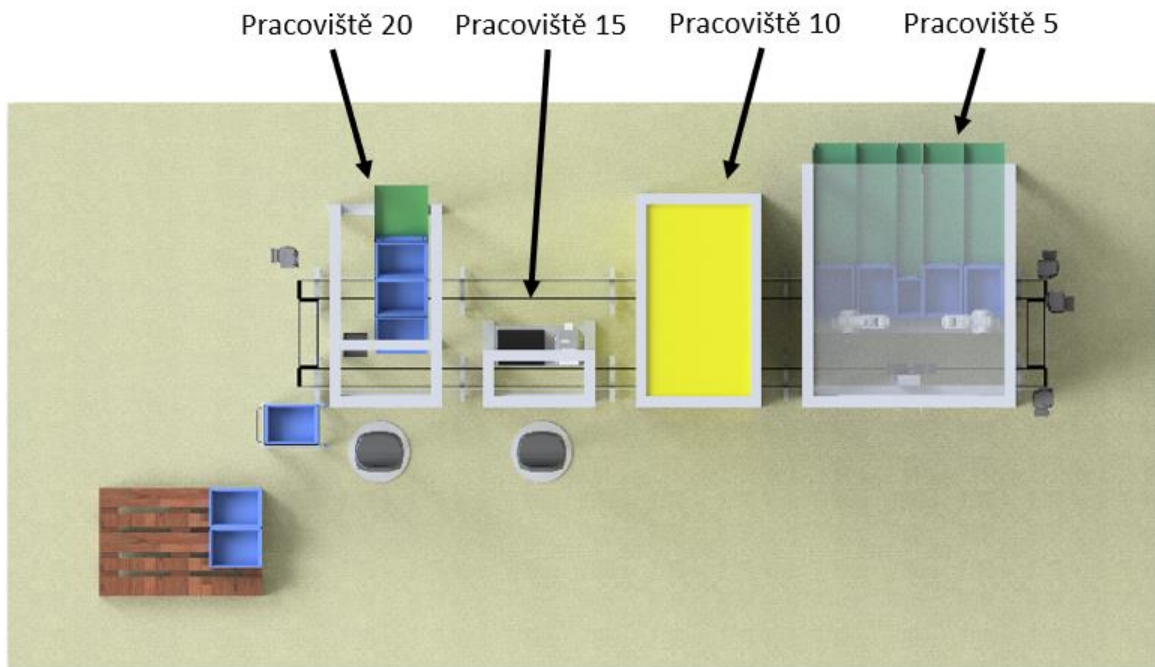
Celkové parametry jsou důležitou informací pro zhodnocení rozvržení daného návrhu. V přehledu (Tab 5) jsou uvedeny základní parametry jako je zastavěná plocha, počet montážních dělníků, takt linky apod.

Tab 5 Návrh 1 - celkové parametry

	Zastavěná plocha (m <sup>2</sup> )	Počet pracovišť	Počet nových pracovišť	Počet mont. dělníků	Takt linky (s)	Největší čas. rozdíl pracovišť (s)
<b>Návrh 1</b>	38	6	1	4	20	10

## 6.4. Návrh 2 – automatizace

Druhá varianta (Obr 16, Obr 17) vychází z požadavku na využití možností automatizace. Na základě analýzy předchozího návrhu bylo rozhodnuto ke sloučení pracovišť č. 5, 10 a 15. Toto nové pracoviště se tak stává zcela automatické a dochází tím k úspoře zástavbové plochy a dvou montážních dělníků. Číslování těchto pracovišť tedy začíná č. 5 a pokračuje dál vždy po pěti. Ostatní pracoviště zůstávají bez změny.



Obr 16 - Návrh 2 - uspořádání toku



Obr 17 Návrh 2 – prostorový pohled

### **Pracoviště 5**

Toto pracoviště vzniklo sloučením předchozích pracovišť č. 5, 10 a 15. Nově se jedná o plně automatizované pracoviště (Obr 18). K automatizaci, a tedy k náhradě lidské obsluhy je zde dosaženo použitím dvou kusů průmyslového robota. V prvním kroku robot umístí housing na paletku, dále umístí PCB na klipy a vloží konektory na svá určená místa. Následně pájecí robot spojí PCB s konektory. Na závěr umístí robot cover na své místo na vrchní straně housingu a připraví jej tak pro další pracoviště svařování. Roboti byli navrženi tak, aby dosáhli do bedýnek s komponentami a zároveň neměli možnost narazit do konstrukce pracoviště. Zásobování pracoviště bylo uzpůsobeno systému Milk-run. Spádové dráhy pro přísun materiálu vybaveny ovládanými zarážkami a pokud některá z bedýnek vyprázdní, je automaticky spuštěna na výstupní spádovou dráhu. Celé pracoviště je zakrytováno pomocí plných polykarbonátových desek. Přístup do vnitřku pracoviště je zajištěn pomocí otevíracích dveří v jeho přední části.



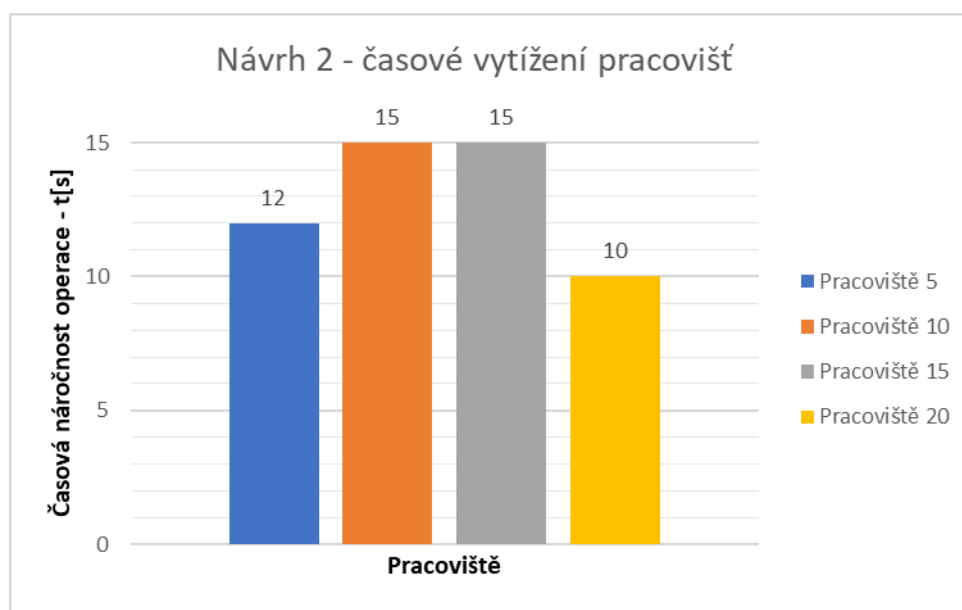
*Obr 18 Návrh 2 - pracoviště 5*

### 6.4.1. Takt linky

Ideální a reálný takt pro návrh 2 je zobrazen v Tab 6. Díky sloučení prvních třech pracovišť do jednoho a zároveň jeho plné automatizace dochází ke snížení rozdílu mezi jednotlivými pracovišti. Tato změna je dána především díky plně automatizovanému montážnímu procesu, který průmyslový robot zvládne daleko rychleji při vyšší přesnosti umístění jednotlivých komponent. Další časovou úsporou je vynechání čekání při přejezdu paletky mezi pracovišti. Na Obr 19 je uvedena časová náročnost jednotlivých pracovišť. Také tyto časy byly zjištěny na základě experimentálního měření a mohou se lišit v závislosti na zručnosti nebo únavě montážního dělníka.

Tab 6 Návrh 2 - takt linky

Ideální takt (s)	Reálný takt (s)	Největší rozdíl (s)
14,2	15	5



Obr 19 Návrh 2 - vytížení jednotlivých pracovišť

### 6.4.2. Celkové parametry linky

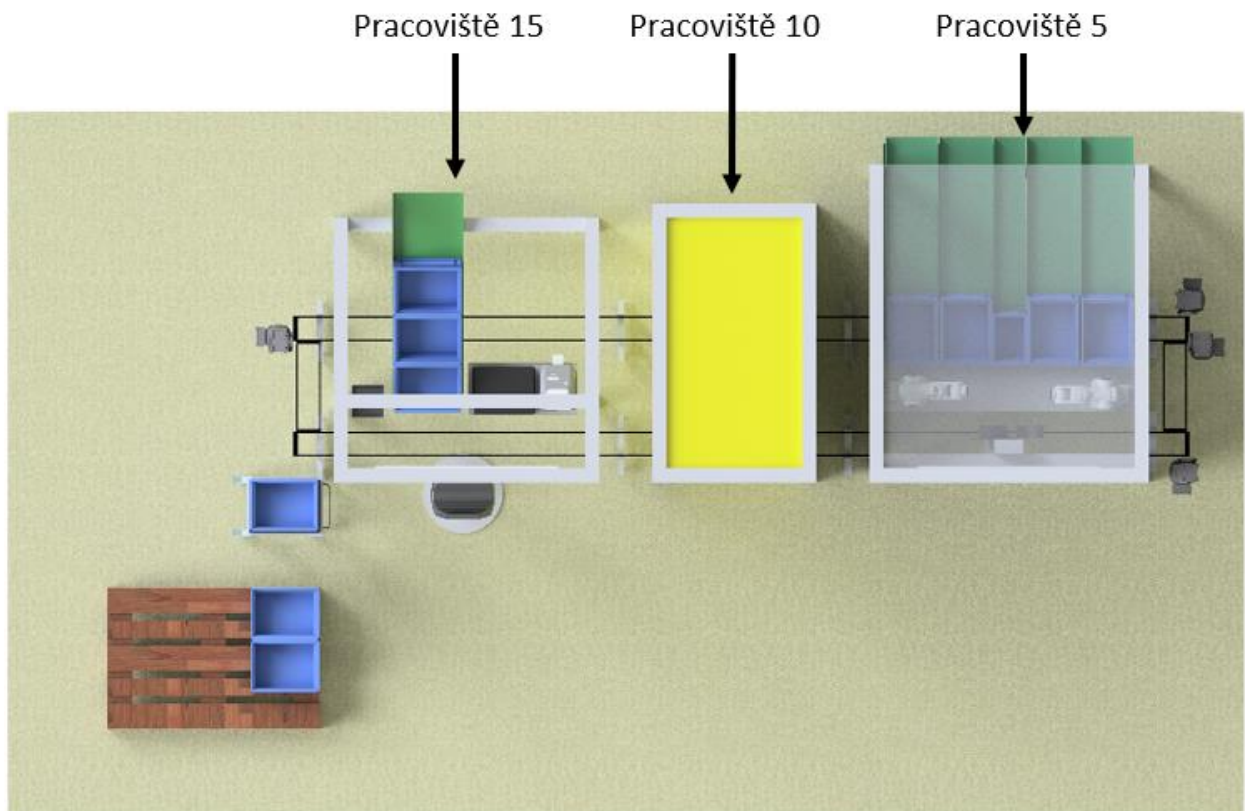
Celkové parametry jsou důležitou informací pro zhodnocení rozvržení daného návrhu. V přehledu (Tab 7) jsou uvedeny základní parametry jako je zastavěná plocha, počet montážních dělníků, takt linky apod.

Tab 7 Návrh 2 - celkové parametry

	Zastavěná plocha (m <sup>2</sup> )	Počet pracovišť	Počet nových pracovišť	Počet mont. dělníků	Takt linky (s)	Největší čas. rozdíl pracovišť (s)
Návrh 2	30	4	2	2	20	10

### 6.5. Návrh 3 – sloučení pracovišť

Třetí varianta (Obr 20, Obr 21) vychází především z požadavku na co největší úsporu v počtu montážních dělníků a zároveň na vyrovnaní taktu linky. Dochází zde ke sloučení pracovišť č. 15 a 20 (dle varianty 2) do jednoho (pracoviště č.15), které je v rámci této varianty obsluhováno jedním montážním dělníkem. Pracoviště č. 5 a 10 jsou shodné s variantou 2.



Obr 20 Návrh 3 - uspořádání toku



*Obr 21 Návrh 3 – prostorový pohled*

### **Pracoviště 15**

Nové pracoviště č. 15 (Obr. 22) vzniklo sloučením pracovišť č. 15 a 20 z předchozí varianty. Toto pracoviště je obsluhováno jedním montážním dělníkem, který přebírá činnosti obou předchozích pracovišť. V prvním kroku je ECU připojena na instalační jednotku a po dokončení instalace softwaru a rychlého testu označí obsluha ECU štítkem na její horní straně. Následně provede vizuální kontrolu a zabalí krabičku do přepravní bedýnky. Bedýnky jsou na pracoviště dodány pomocí dopravníku v horní části pracoviště. Obsluha vkládá hotové ECU do bedýnky umístěné na stolku. Tento stolek s možností nastavení výšky je opatřen kolečky pro přizpůsobení jeho umístění vůči postoji montážního dělníka. Plné bedýnky jsou poté skládány na paletu umístěnou vedle pracoviště.



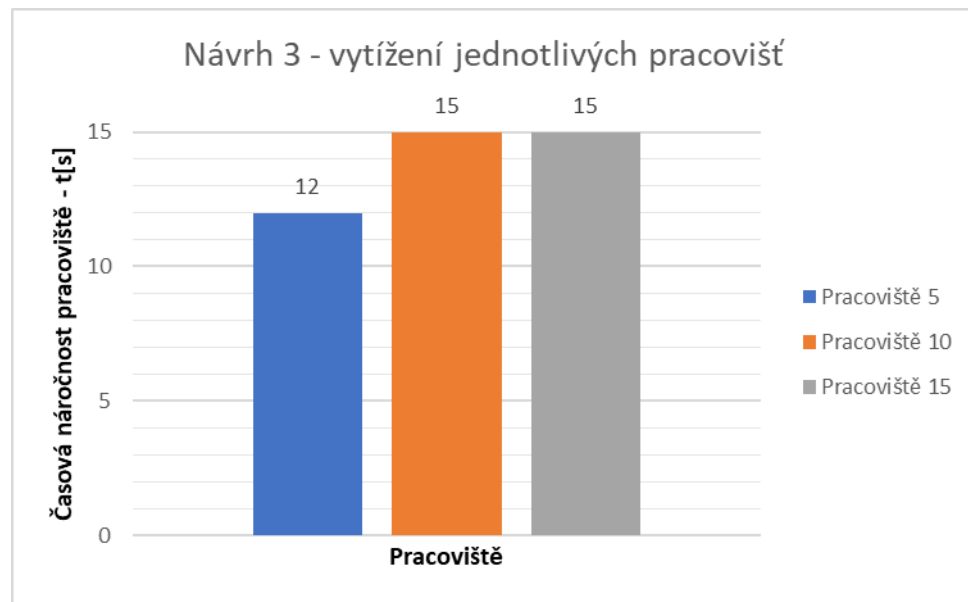
Obr 22 Návrh 3 - pracoviště 15

### 6.5.1. Takt linky

Ideální a reálný takt linky s jedním ručním pracovištěm je uveden v Tab 8 Díky sloučení posledních dvou pracovišť dochází k úspoře jednoho montážního dělníka a snížení času operací. K úspoře času dochází díky odstranění přejezdu paletky mezi dvěma pracovišti a díky větší variabilitě tohoto pracoviště. Například během instalace softwaru může montážní dělník manipulovat s přepravními bedýnkami a tím zamezit plýtvání času. Díky těmto úpravám dochází k přiblížení ideálního a reálného taktu linky a ke snížení rozdílu mezi jednotlivými pracovišti. Na Obr. 23 je uvedena časová náročnost jednotlivých operací. Stejně jako v předchozí variantě byly tyto časy zjištěny na základě experimentálního měření a mohou se lišit v závislosti na zručnosti nebo únavě montážního dělníka.

Tab 8 Návrh 3 - takt linky

Ideální takt (s)	Reálný takt (s)	Největší rozdíl (s)
18,3	15	3



Obr 23 Návrh 3 - vytížení jednotlivých pracovišť

### 6.5.2. Celkové parametry linky

Celkové parametry jsou důležitou informací pro zhodnocení rozvržení daného návrhu. V přehledu (Tab 9) jsou uvedeny základní parametry jako je zastavěná plocha, počet montážních dělníků, takt linky apod.

Tab 9 Návrh 3 - celkové parametry

	Zastavěná plocha (m <sup>2</sup> )	Počet pracovišť	Počet nových pracovišť	Počet mont. dělníků	Takt linky (s)	Největší čas. rozdíl pracovišť (s)
<b>Návrh 2</b>	28	3	3	1	20	10



## 6.6. Porovnání jednotlivých návrhů

Po provedení analýzy současného stavu a vytvoření jednotlivých návrhů, je možné porovnat jednotlivé návrhy vůči sobě. Pro porovnání jsou představeny tři varianty řešení optimalizace, které byly představeny v předchozí kapitole. Jednotlivé návrhy se od sebe liší využitím různé míry automatizace, počtem pracovišť a montážních dělníků, taktem linky a zastavěnou plochou. Návrh 1 obsahuje pouhou implementaci svařovacího pracoviště do toku linky. Ve návrhu 2 došlo ke sloučení prvních třech pracovišť, dvou s lidskou obsluhou a jedním automatizovaným, do jednoho plně automatického. Třetí návrh využil nové automatizované pracoviště z předchozího návrhu a sloučil poslední dvě tuční pracoviště do jednoho taktéž s ruční obsluhou. Napříč všemi návrhy se vyskytuje jednotné uspořádání pracovišť do tvaru I, a to z důvodu prostoru určeného pro budoucí umístění linky. Dále návrhy odpovídají interním požadavkům na větší využití prvků automatizace a snížení počtu montážních dělníků pro potřeby montážního procesu na lince a vyrovnání výrobního taktu na lince. Celkové porovnání jednotlivých linek zachycuje Tab 10.

Tab 10 Porovnání jednotlivých návrhů

	Zastavěná plocha (m <sup>2</sup> )	Počet pracovišť	Počet nových pracovišť	Počet mont. dělníků	Takt linky (s)	Největší čas. rozdíl pracovišť (s)
<b>Návrh 1</b>	38	6	1	4	20	10
<b>Návrh 2</b>	30	4	2	2	20	10
<b>Návrh 3</b>	28	3	3	1	20	5

## 6.7. Ekonomické zhodnocení

Pro rozhodnutí o finálním návrhu je kromě nároků na technické řešení montážní linky důležité stanovit výši investičních nákladů a dobu návratnosti takové investice. Jelikož společnost používá vlastní výpočty ekonomického zhodnocení, byl pro účely bakalářské práce použit výpočet doby návratnosti. Tento výpočet byl zvolen z důvodu utajení důvěrných informací. Zároveň z toho samého důvodu jsou všechny neveřejné finanční částky zkráceny.

### 6.7.1. Investiční náklady na optimalizaci

V následující tabulce (Tab 11) je znázorněn výpočet investičních nákladů na optimalizaci. Mezi investiční náklady patří přímo vynaložené částky například na nákup nových zařízení či stavbu nových pracovišť. Mezi největší položky tak patří nákup automatického svařovacího pracoviště, které je společné pro všechny nové návrhy. Dále se mezi největšími položkami nachází náklady na pořízení robotů, konstrukci pracovišť či páskového dopravníku s paletkami. Přesná kalkulace vychází ze smluv uzavřených s dodavateli těchto zařízení, cen již zakoupených komponent a z odhadů pracovní náročnosti.

Tab 11 Investiční náklady na optimalizaci

Položka	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
Stavební prvky	-	150 000 CZK	240 000 CZK
Dopravník	450 000 CZK	400 000 CZK	330 000 CZK
Robot	-	1 600 000 CZK	1 600 000 CZK
Pneumatické komponenty	-	70 000 CZK	70 000 CZK
Elektro díly	20 000 CZK	35 000 CZK	35 000 CZK
PLC	16 000 CZK	220 000 CZK	220 000 CZK
Software	55 000 CZK	170 000 CZK	170 000 CZK
Projektové vedení	40 000 CZK	55 000 CZK	75 000 CZK
Konstrukční práce	12 000 CZK	75 000 CZK	110 000 CZK
Montážní práce	49 000 CZK	210 000 CZK	300 000 CZK
Revize stávajících zařízení	75 000 CZK	25 000 CZK	-
<b>Celkem</b>	<b>717 000 CZK</b>	<b>3 010 000 CZK</b>	<b>3 150 000 CZK</b>

### 6.7.2. Provozní náklady na elektrickou energii

Kromě investičních nákladů spojených s optimalizací je nutné zohlednit také náklady na spotřebu elektrické energie (Tab 12). Odhad spotřeby elektrické energie byl proveden na základě katalogových hodnot nově uvažovaných zařízení a měření spotřeby současných zařízení. Předpokládaná roční spotřeba je uvedena v tabulce.

Tab 12 Náklady na elektrickou energii

Položka	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
Spotřeba kW/h	2,50	6,50	6,00
Spotřeba kW/h za směnu	18,75	48,75	42,00
Spotřeba kW/h za rok	14062,50	36562,50	31500,00
Cena za kW/h	4,30 CZK	4,30 CZK	4,30 CZK
<b>Celkem</b>	<b>60 469 CZK</b>	<b>157 219 CZK</b>	<b>135 450 CZK</b>

### 6.7.3. Výpočet ROI

Z důvodů ochrany důvěrných informací není možné použít sofistikovaného výpočtu doby návratnosti investice, proto bude tato veličina vypočtena zjednodušeným výpočet doby návratnosti. [16] Doba návratnosti investice uvedená ve vztahu (3) udává čas za jaký budou investice na optimalizaci uhrazeny příjmy vytvořené investicí.

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (3)$$

V čitateli vidíme investiční náklady (IN) na optimalizaci a ve jmenovateli roční peněžní toky neboli Cashflow (CF). Cashflow v tomto případě bude uvažováno jako roční úspora nákladů na pracovníka (RÚN) vynásobená směnným provozem (SP) a dále poníženo o provozní náklady za elektrickou energii (PNE). Roční úsporu nákladů (RÚN) za pracovníka bude uvažována částka 650 000 Kč. Výsledný vzorec výpočtu je dán vztahem (4). K úsporám v počtu pracovníků došlo na základě slučování a automatizace jednotlivých pracovišť. V návrhu 1 nebyl ušetřen žádný pracovník, v návrhu 2 poté dva pracovníci a v posledním návrhu tři pracovníci oproti výchozímu stavu. Ostatní náklady jako jsou náklady za stlačený vzduch, klimatizaci haly a podobně zanedbávám. Vzorec pro dobu návratnosti investice bude vypadat následovně:

$$T_s = \frac{IN}{RÚN \times SP - PNE} \quad (4)$$

Dobu návratnosti jednotlivých návrhů je znázorněna v Tab 13.

Tab 13 Doba návratnosti jednotlivých návrhů

Položka	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
Investiční náklady	668 049 CZK	3 010 000 CZK	3 150 000 CZK
Počet směn	3,00	3,00	3,00
Roční úspora nákladů za pracovníka	0 CZK	1 300 000 CZK	1 950 000 CZK
Provozní náklady za elektrickou energii	60 469 CZK	157 219 CZK	135 450 CZK
<b>Doba návratnosti investice (let)</b>	<b>11,05</b>	<b>0,80</b>	<b>0,55</b>

## 7. Výběr finální varianty

Na základě informací o návrzích optimalizace, jejich technickém řešení, úsporám a dob návratnosti investic je nyní možné rozhodnout o finální variantě řešení. V kapitole 6 byly předloženy tři návrhy možných optimalizačních řešení. Jednotlivé návrhy se liší především v počtu pracovišť a montážních dělníků, zástavbovou plochou, mírou automatizace a vyrovnáním výrobního taktu. Tyto hodnoty jsou porovnány v tabulce. Dále byly odhadnuty investiční náklady, náklady na elektrinu a vypočítána doba návratnosti investice. Jako vhodná metoda výběru byla použita vícekriteriální analýza. Tato analýza posuzuje jednotlivá řešení podle několika kritérií, kterým jsou přiděleny váhy a na základě preferencí uděleny body jejichž konečný vážený součet udává pořadí variant.

### 7.1. Vícekriteriální analýza

Návrhy optimalizovaných řešení montážní linky jsou pro účely vícekriteriálního rozhodování označeny podle Tab 14.

Tab 14 Vícekriteriální analýza - označení variant

<b>V1</b>	Návrh č.1
<b>V2</b>	Návrh č.2
<b>V3</b>	Návrh č.3

Takt linky je stejný u všech variant, není proto uvažován. Hodnotící kritéria jsou označena dle Tab 15.

Tab 15 Vícekriteriální analýza - označení hodnotících kritérií

<b>K1</b>	Zastavěná plocha
<b>K2</b>	Počet nových pracovišť
<b>K3</b>	Počet montážních dělníků
<b>K4</b>	Doba návratnosti investice
<b>K5</b>	Největší časový rozdíl pracovišť

Každé kritérium je pro přiřazenou bodovou stupnici 1-4 doplněno slovním popisem. Popis kritérií je v Tab 16.

Tab 16 Vícekriteriální analýza - bodovací tabulka

	<b>Kritéria</b>				
<b>Body</b>	<b>Zastavěná plocha</b>	<b>Počet nových pracovišť</b>	<b>Počet montážních dělníků</b>	<b>Doba návratnosti investice</b>	<b>Největší časový rozdíl pracovišť</b>
<b>1</b>	Nevyhovující	Vysoký	Vysoký	Vysoká	Nevyhovující
<b>2</b>	Dobrá	Střední	Střední	Střední	
<b>3</b>	Vyhovující	Malý	Nízký	Nízká	
<b>4</b>	Výborná	Žádný	Žádný	Zanedbatelná	Vyhovující

Ke každému zvolenému kritériu byl přidělen příslušný počet bodů a jejich váha. Nejvhodnější varianta je ta s nejvyšším bodovým ziskem. Udělené body jsou uvedeny v Tab 17.

Tab 17 Vícekriteriální analýza - rozhodovací tabulka

Varianta	K1	K2	K3	K4	K5	Vážený součet	Pořadí
V1	1	3	1	1	1	3,5	3
V2	2	2	2	3	1	5,1	2
V3	4	1	3	4	4	7,7	1
Váha	0,3	0,5	0,8	0,5	0,4		

## 7.2. Zhodnocení vítězné varianty

Vícekriteriální analýza ukázala stručné porovnání navržených návrhů. Jako nejvýhodnější návrh byl vyhodnocen návrh č. 3, který získal 16 bodů z 20. V této variantě se podařilo snížit zástavbovou plochu na minimum, zároveň se snížil počet montážních dělníků na jednoho a povedlo se zcela automatizovat a spojit pracoviště ručních montáží a pájení do jednoho automatizovaného pracoviště. Na druhém místě se umístil návrh č.2 se ziskem 10 bodů. Tento návrh sice stále zachovává dvě pracoviště s ruční obsluhou. Na posledním místě se umístil návrh č. 1 s nejnižším ziskem bodů.

### Hodnocení návrhu č. 3

- **Zastavěná plocha**

Díky optimalizaci a snížení počtu montážních pracovišť byla také snížena rozloha zastavěné plochy. Zastavěná plocha návrhu č. 3 je 28 m<sup>2</sup>, což je o 17% (10 m<sup>2</sup>) méně než v případě prvního návrhu.

- **Počet pracovišť a počet montážních dělníků**

Vhodným způsobem optimalizace bylo docíleno zmenšení počtu pracovišť na tři v jedné montážní lince oproti šesti stávajícím pracovištím v přerušené lince. Díky tomuto uspořádání došlo také k redukci počtu montážních dělníků ze tří na jednoho.

- **Počet nových pracovišť**

Vítězný návrh zároveň obsahuje největší počet nových pracovišť a to tři. Na základě ekonomického zhodnocení bylo ovšem zjištěno, že se jedná o druhou nejvýhodnější investici z pohledu návratnosti investice.

- **Časových rozdíl mezi pracovišti**

Z technologických důvodů se ani v jednom návrhu nepodařilo snížit takt linky. Vhodnou optimalizací bylo docíleno snížení časového rozdílu jednotlivých pracovišť a zároveň k plynulejšímu toku montážní linky.

- **Využití prvků automatizace**

Návrh č. 3 se zároveň vyznačuje vysokým podílem využití automatizace. Tento podíl má pro podnik význam nejen z pohledu úspory nákladů na montážní dělníky ale také na personální situaci, kdy se potýká s jejich dlouhodobým nedostatkem.



Obr 24 Vítězná varianta - návrh 3 – prostorový pohled

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat návrhy optimalizace montážní linky produktu ECU. Součástí všech návrhů bylo implementovat pracoviště laserového svařování do toku linky. Zároveň se jednotlivými návrhy od sebe liší různým stupněm automatizace.

V první části byla provedena literární rešerše základních pojmů týkajících se montážních procesů a její automatizace. Dále byly představeny použité principy štíhlé výroby, které byly použity pro optimalizační návrhy. Na závěr byly popsány pojmy z oblasti ergonomie, které se přímo dotýkají této montážní linky.

Ve druhé praktické části byla provedena analýza současného stavu montážní linky, popsány její největší nedostatky a zároveň popsány požadavky na optimalizovaná řešení. Celkově byly představeny tři návrhy, které se od sebe liší především mírou automatizace, počtem pracovišť a montážních dělníků. Návrh 1 vychází ze stávajícího řešení, bylo implementováno svařovací pracoviště do taktu linky. Výhodou tohoto řešení jsou nízké pořizovací náklady. Nevýhodou pak vysoký počet pracovišť a celková časová nevyrovnanost pracovišť mezi sebou. Návrh 2 předpokládá sloučení dvou ručních pracovišť a pracoviště pájení do jednoho zcela automatizovaného. Toto řešení vyrovnává takt na začátku linky, zmenšuje celkovou zastavbovou plochu linky a snižuje počet dělníků na lince na dva. Návrh 3 oproti druhému návrhu slučuje poslední dvě ruční pracoviště do jednoho. Což má za následek snížení počtu montážních dělníků o tři oproti prvnímu návrhu. Zároveň dochází k nejvyrovnanějšímu toku linky ze všech návrhů.

Návrhy byly dále podrobeny kalkulaci investičních nákladů a jejich návratnosti. Na základě získaných podkladů byla provedena vícekriteriální analýza a vybrána vítězná varianta. Vybraná varianta byla podrobena hodnocení a byly představeny největší přednosti a přínosy pro výrobní podnik.

Návrhy optimalizačních řešení splňují představy podniku na optimalizaci a cíle vytýčené v úvodu mé práce. Vítězná varianta bude podrobena detailní konstrukci, na jejímž základě bude podrobena detailnější kalkulace a studie proveditelnosti investice.



## Bibliografie

- [1] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. Základy montáže: učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5
- [2] ZELENKA, Antonín. Projektování výrobních procesů a systémů. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [3] ZELENKA, Antonín, Milan HANINGER a Vratislav PRECLÍK. Automatizace a automatizační technika: automatické systémy. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2000, 166 s. ISBN 80-722-6249-1.
- [4] ŠVARC, Ivan. Automatizace: automatické řízení. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2087-1.
- [5] SOVA, František. Technologie obrábění a montáže. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 978-807-0828-236.
- [6] ZELENKA, Antonín, Milan HANINGER a Vratislav PRECLÍK. Projektování procesů obrábění a montáží. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 190 s. ISBN 80-010-2013-4.
- [7] *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ú12135, 2012. Obsah přednášek. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladimír ANDRLÍK, CSc. a kol.
- [8] Montážní linky. *Fokus industry: montážní linky - linky pro montáž v sériové výrobě, průmyslové montážní linky* [online]. Praha: Fokus industry, 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://fokusindustry.cz/i/?Dopravn%C3%ADkov%C3%A9+syst%C3%A9my/mont%C3%A1%C5%BEen%C3%AD+linky>
- [9] CHUNDELA, Lubor. Ergonomie. 3. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [10] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Zákony pro lidi [online]. Zlín: AION CS, 2007 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361?text=osv%C4%9Btlen%C3%AD>

- [11] MALÝ, Stanislav, Miroslav KRÁL a Eva HANÁKOVÁ. ABC ergonomie. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-027-0.
- [12] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. Štíhlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-868-5138-9.
- [13] KEŘKOVSKÝ, Miloslav. Moderní přístupy k řízení výroby. 1. Praha: C.H. Beck, 2001. C.H. Beck pro praxi. ISBN 80-717-9471-6.
- [14] FALC, Jiří. Návrh montážní linky. Praha, 2020. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [15] ZLOCHOVÁ, Martina. Optimalizace výrobních buněk. Academy of Productivity and Innovations [online]. Slaný: API - Akademie produktivity a inovací, 2015 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25780n-optimalizace-vyrobnich-bunek>
- [16] Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II): Příklad použití. *TZB-info* [online]. Praha: TZB-info, 2005, 17.10.2005 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [17] KOLEKTIV AUTORŮ. Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [18] KOLEKTIV AUTORŮ. Terminologie obrábění a montáže. Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, 2004. ISBN 80-7044-616-1.
- [19] ŠRAJBR, Jiří. Zavedení metody Milk run do procesu zásobování ve společnosti Christ Car Wash s.r.o. Plzeň, 2013. Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.

## Seznam obrázků

Obr 1 Druhy montážních systémů [2][6] .....	9
Obr 2 Montáž dle sériovosti[2] .....	10
Obr 3 Rozdělení montáže dle stupně mechanizace [3] .....	14
Obr 4 Schéma rozdělení manipulačních mechanismů [7] .....	16
Obr 5 Electronic control unit .....	28
Obr 6 Schéma současného stavu .....	29
Obr 7 Návrh 1 - uspořádání toku .....	34
Obr 8 Návrh 1 - prostorový pohled .....	35
Obr 9 Návrh 1 - pracoviště 5.....	35
Obr 10 Návrh 1 - pracoviště 10.....	36
Obr 11 Návrh 1 - pracoviště 15.....	37
Obr 12 Návrh 1 - pracoviště 20.....	38
Obr 13 Návrh 1 - pracoviště 25.....	38
Obr 14 Návrh 1 - pracoviště 30.....	39
Obr 15 Návrh 1 - vytížení jednotlivých pracovišť .....	40
Obr 16 - Návrh 2 - uspořádání toku .....	41
Obr 17 Návrh 2 – prostorový pohled .....	41
Obr 18 Návrh 2 - pracoviště 5.....	42
Obr 19 Návrh 2 - vytížení jednotlivých pracovišť .....	43
Obr 20 Návrh 3 - uspořádání toku .....	44
Obr 21 Návrh 3 – prostorový pohled .....	45
Obr 22 Návrh 3 - pracoviště 15.....	46
Obr 23 Návrh 3 - vytížení jednotlivých pracovišť .....	47
Obr 24 Vítězná varianta - návrh 3 – prostorový pohled .....	54

---

## Seznam tabulek

Tab 1 Třídy prací s ohledem na potřebné osvětlení [9] .....	23
Tab 2 Porovnání výhod sedu a stoje [9].....	27
Tab 3 Časy jednotlivých operací.....	30
Tab 4 Návrh 1 - takt linky .....	40
Tab 5 Návrh 1 - celkové parametry .....	40
Tab 6 Návrh 2 - takt linky .....	43
Tab 7 Návrh 2 - celkové parametry .....	44
Tab 8 Návrh 3 - takt linky .....	47
Tab 9 Návrh 3 - celkové parametry .....	47
Tab 10 Porovnání jednotlivých návrhů .....	48
Tab 11 Investiční náklady na optimalizaci .....	49
Tab 12 Náklady na elektrickou energii .....	50
Tab 13 Doba návratnosti jednotlivých návrhů.....	51
Tab 14 Vícekriteriální analýza - označení variant .....	51
Tab 15 Vícekriteriální analýza - označení hodnotících kritérií.....	52
Tab 16 Vícekriteriální analýza - bodovací tabulka .....	52
Tab 17 Vícekriteriální analýza - rozhodovací tabulka .....	53