

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2021

**MARTIN
VOJTÍŠEK**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vojtišek Jméno: Martin Osobní číslo: 483948
Fakulta/ústav: Fakulta strojní
Zadávací 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 optimalizace montážního pracoviště

Název bakalářské práce anglicky:

Assembly Workplace Optimization Design

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky optimalizace montážních pracovišť
2. Rešerše ergonomie pracovišť
3. Analýza vybraného pracoviště montáže
4. Návrh optimalizace pracoviště montáže
5. Zhodnocení návrhu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

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

Datum zadání bakalářské práce: 30.04.2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 29.07.2021

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.
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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne: 29. 07. 2021

.....

Podpis

Anotace

Bakalářská práce analyzuje současný stav procesu izolace rotorů ve společnosti SOPO s.r.o., která je zaměřena primárně na navíjení statorů a rotorů. Cílem bakalářské práce je identifikovat faktory ovlivňující neefektivitu a navrhnout řešení v podobě ergonomické organizace pracovního prostředí a návrhu přípravku. Dále se zabývá rešerší problematiky optimalizace montážních pracovišť a ergonomie pracovišť.

Klíčová slova

Ergonomie, Průmyslové inženýrství, Štíhlá výroba, Optimalizace, Výrobní proces, Dispoziční řešení.

Annotation

The bachelor's thesis analyzes the current state of the rotor isolation process in the company SOPO s.r.o., which is focused primarily on the winding of stators and rotors. The purpose of the bachelor's thesis is to identify the factors influencing inefficiency and to propose solutions in the form of ergonomic organization of the work environment and product design. It also deals with research on the optimization of assembly workplaces and workplace ergonomics.

Keywords

Ergonomics, Industrial Engineering, Lean Manufacturing, Optimization, Manufacturing process, Layout design.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Kynclovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za poskytnutí věcných připomínek, odborné vedení mé bakalářské práce a vstřícný přístup.

Obsah

1. Úvod.....	8
2 Problematika optimalizace montážních pracovišť	9
2.1 Strojní výroba a montáž	9
2.2 Základy montáže	10
2.3 Montážní činnosti	13
2.4 Technicko – organizační hlediska montážního pracoviště	14
2.4.1 Stacionární montáž (nepohyblivá)	15
2.4.2 Nestacionární montáž (pohyblivá)	17
2.5 Štíhlá výroba	20
2.5.1 Muda – plýtvání.....	20
2.5.2 Metoda 5S	23
2.5.3 Poka-yoke.....	27
3. Ergonomie pracoviště	28
3.1 Systém člověk – technika – prostředí	29
3.2 Prostředí pracoviště.....	31
3.2.1 Fyzikální faktory	32
3.3 Hodnocení ergonomie.....	38
3.3.1 Pracovní poloha.....	39
3.3.2 Pracovní místo.....	40
3.3.3 Pracovní polohy těla dle ergonomických kritérií	43
3.3.4 Metody pro hodnocení ergonomického stavu	47
3.4 Legislativa ergonomie.....	49
3.4.1 Legislativa EU.....	49
3.4.2 Zásadní směrnice vztahující se k montážnímu pracovišti.....	49
3.4.3 Zásadní legislativa ČR	50
3.4.4 Zásadní normy zohledňující ergonomii pracovišť a zařízení.....	54

4 Analýza současného stavu montážního pracoviště.....	56
4.1 Charakteristika stávající montážní pracoviště izolace rotorů	57
4.2 Analýza pracoviště.....	61
5 Návrh optimalizace montážního pracoviště	69
5.1 Návrh optimalizace operace izolování pomocí přípravku	69
5.2 Návrh optimalizace montážního pracoviště.....	73
6 Zhodnocení návrhu	79
7 Závěr	84

1. Úvod

Téma bakalářská práce je návrh optimalizace montážního pracoviště. Práce se zabývá problematikou optimalizace pracoviště a ergonomií. Cílem je navrhnout optimalizaci pracoviště, které se zabývá izolací rotorů ve společnosti SOPO s.r.o.

První část práce je teoretická, věnuje se rešeršnímu zpracování popisu montáže, jejími formami, metodami a činnostmi. Rešerše uzavřena problematikou optimalizace montážních pracovišť, jako je plýtvání a následně jsou popsány vybrané metody štihle výroby, například metoda 5S.

Další, rešeršní, část práce se zabývá ergonomií pracovišť. Ergonomie je pro návrh pracoviště úplně nejdůležitější a je nutné ji velmi pečlivě rozpracovat a představit. Na začátku je důležité definovat ergonomii a vztah člověka a techniky. Dále se rešerše věnuje prostředí pracoviště, hodnocení ergonomie z pohledu pracovní polohy, místa a tělesných limitů člověka. Kapitola je uzavřena popisem zásadní legislativy ergonomie.

V další kapitole je stávající pracoviště izolace rotorů podrobně analyzováno, a to z pohledu vyskytující se problematiky montážního procesu a ergonomie pracoviště. Ergonomie je zpracována převážně pomocí softwaru Tecnomatix Jack 9.0 a dosahových oblastí. Předměty montáže jsou vytištěny na 3D tiskárně a podrobeny důkladné analýze. Kapitola končí Zpracováním informací pro aplikaci metody štihlé výroby 5S a redukcí plýtvání pohybů.

Předposlední kapitola se v úvodu na základně analýzy zabývá návrhy přípravků pro optimalizaci montážního procesu a jejich testováním v praxi. Následuje návrh optimalizace montážního pracoviště obsahující návrhy ergonomického rozložení pracoviště a návrhy optimalizací jednotlivých předmětů, které jsou součástí montážního procesu.

Poslední část bakalářské práce je věnována vyhodnocení jednotlivých návrhů optimalizace problematiky montážního procesu. V zhodnocení jsou shrnuty vyřešené ergonomické nedostatky a je zde i uveden odhad časové úspory.

2 Problematika optimalizace montážních pracovišť

První kapitola se zabývá problematikou optimalizace montážních pracovišť, považují za vhodné uvést čtenáře rešerše z širšího pohledu. Úvod kapitoly je zaměřen na definování výrobního systému, procesu a montážního procesu. Dále se kapitola zabývá zpracování popisu montáže, přesněji na její techniky, druhy, formy a činnosti vykonávané na montážních pracovištích. Poslední část kapitoly se zabývá problematikou optimalizace montážních pracovišť, je zde popsán hlavní zdroj neefektivnosti montážního procesu plýtvání. Dále ze systému štíhlé výroby je popsána metoda 5S a metoda s cílem vyhýbání se chybám poka-yoke.

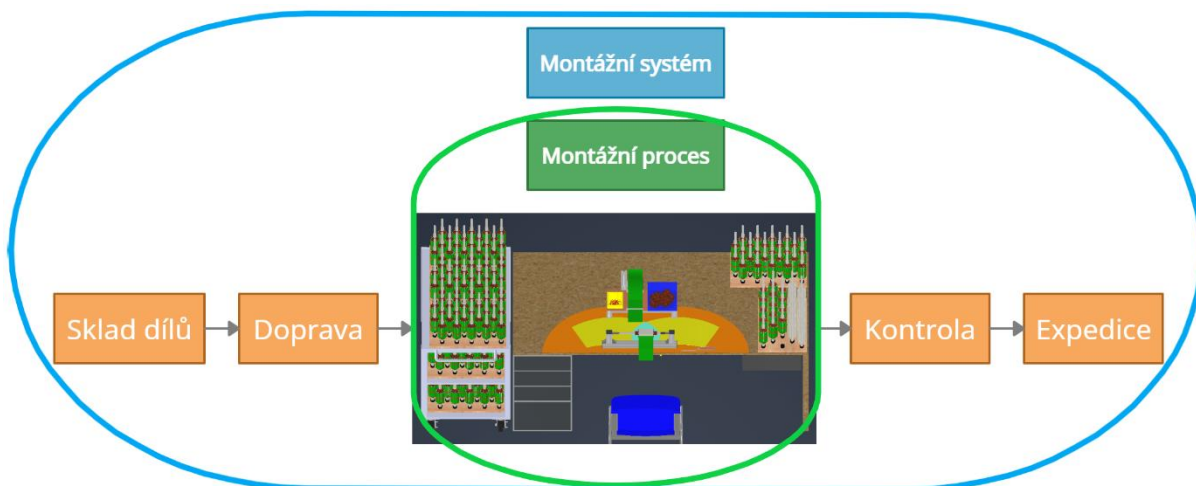
2.1 Strojní výroba a montáž

Pokud chceme navrhnout kvalitní optimalizaci montážního procesu je třeba znát čeho je montážní proces součástí. Jak bylo řečeno výše, montážní proces je součástí výrobního systému. Rešeršní část se dále zabývá definování pojmů výrobního systému, procesu a montážního procesu.

Výrobní systém představuje systém navzájem propojených výrobních a pomocných prostředků (strojů, dopravních a manipulačních zařízení, skladů aj.), výrobních sil a předmětů výroby, jako je materiál, energie a jiné. Výrobní systém má za cíl přetvářet vstupy na výstupy a naplnit tak vize a strategie firmy s určitou přidanou hodnotou. [1][3]

Výrobní proces strojírenského závodu je daný souhrnem technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností, jejichž cílem je měnit tvar, rozměry, složení, jakost a spojení výchozích materiálů a polotovarů z hlediska požadovaných podmínek jednotlivých výrobků a zhotovit finální výrobky různého druhu. K realizaci výrobního procesu je potřeba lidských zdrojů (pracovní síly) a podnikových prostředků (stroje, nástroje). [1]

Hlavní a převládající činností montáže je manipulace a spojování. Montážní proces je podsystém výrobního systému, sloužící ke změna vstupních komponent do montážního celku. Tento proces můžeme rozdělovat z hlediska jeho začlenění do výrobního systému, funkce, nebo regulačních vlastností. Montážní proces je znázorněn na obrázku číslo 1. [1][2]



Obrázek 1: Montážní systém a proces [1]

V této kapitole byly definovány systémy a procesy výroby a montáže. Bakalářská práce se dále zaměřuje pouze na montážní proces.

2.2 Základy montáže

Podkapitola základy montáže se zaměřuje na základní rozdělení montáže. Úvod se zabývá technikami montáže a uvádí příklady těchto montáží. Dále je velice důležité rozeznávat stupeň mechanizace, jako je ruční, mechanizovaná a automatizovaná montáž. Tímto tématem se zabývá další podkapitola, přesněji pak popisuje, jak velký podíl na montážní proces mají jednotlivé prvky.

Dvě základní montážní techniky:

- 1) **Předmětové:** montážní technika je zařazena za sebou podle pořadí operací. Cílem tohoto uspořádání je vytvořit předmět montáže, finální montovaný výrobek. [2]

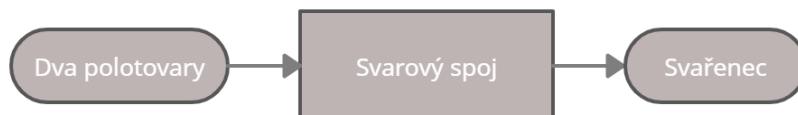
Příklad:



Obrázek 2: Příklad předmětové montážní techniky [2]

- 2) **Technologické:** montáž se uskutečňuje na jednom místě a je soustředěna pouze pro jeden typ montážní operace. Obsahuje technologickou specializaci, jako je svařování šroubování a jiné. [2]

Příklad:



















Obrázek 3: Technologická montážní technika [2]

Z hlediska stupně mechanizace rozlišujeme montážní procesy

Co se týče ručního montážního procesu jde tedy o proces, ve kterém dominuje člověk, který vykonává veškeré činnosti v procesu s tím, že využívá manuálních nástrojů a náradí. V mechanizované montáži jsou v hlavní roli stroje, kterým člověk pouze pomocí ovladačů a sdělovačů definuje činnost. U automatizované montáže se člověk v některých případech ani nevyskytuje, neboť je nahrazen čidly. Pokud je člověk součástí automatické montáže, je zde pouze s úkolem kontroly procesu. Celkově jsou tedy druhy montáže děleny na tři druhy: [2, 5]

- Ruční
- Mechanizované
- Automatizované (tvrdě a pružně) [5]

Tyto druhy montáže charakterizuje zejména zdroj síly (výkonu), ovládání nástroje, řízení procesu a kontrola. Přehledně zobrazena viz. obr. č. 6. [5]

Charakteristika:	Druh montáže			
	ruční	mechanizovaná	automatizovaná tvrdě	automatizovaná pružně
Zdroj síly (výkonu)	 člověk	 motor	 motor	 motor
Ovládání nástroje	 člověk	 člověk	 stroj	 stroj
Řízení procesu	 člověk	 člověk	 tvrdé řízení	 pružné řízení
Kontrola	 člověk	 člověk	 člověk, čidla	 čidla

Obrázek 4: Druhy montáže z hlediska stupně mechanizace [5]

Ruční montáž je nejrozšířenějším druhem montážních procesů. Pro ruční montáž je charakteristické používání upínacího zařízení, různých speciálních a univerzálních nástrojů pro danou operaci. Je velice důležitá racionální doprava součástí a zaměření na ergonomii. Z pohledu ergonomie pracoviště jde o rozmístění spojovaných součástí a dosažení pracovní pohody. [2, 4]



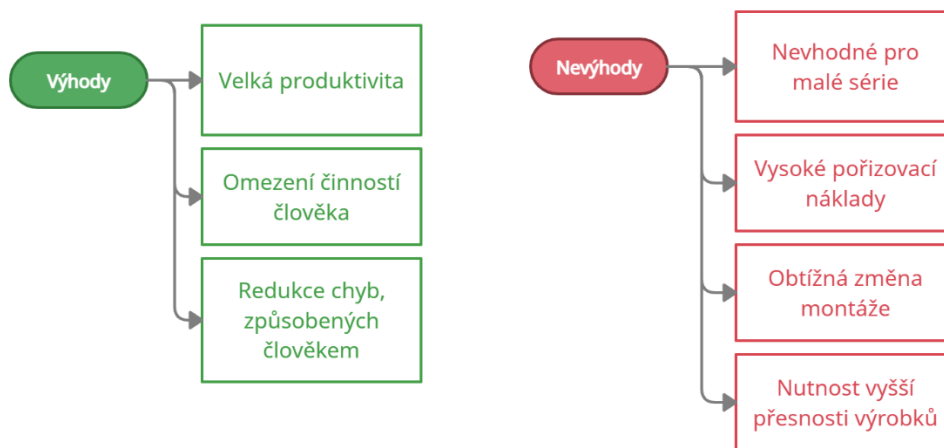
Obrázek 5: Výhody a nevýhody ruční montáže [7]

Mechanizovaná montáž neboli poloautomatická montáž, je montáž využívání motorického nářadí a mechanizovaných zařízení. Člověk je součástí procesu, pomocí ovladačů a sdělovačů ovládá motory poháněné mechanismy zajišťující montážní činnost, zároveň je zde jako kontrola montážního procesu. [2]



Obrázek 6: Výhody a nevýhody mechanizované montáže [7]

Automatizované montážní procesy zabezpečují nejvyšší stupeň racionalizace a optimalizace, jsou cílem rozvoje montážních procesů. Člověk se v tomto typu montážního procesu vyskytuje pouze jako kontrolní prvek. Většinou jsou kontrolní prvky zajištěny pomocí čidel. [2]



Obrázek 7: Výhody a nevýhody automatizované montáže [7]

Tato část shrnuje základní rozdělení montážních pracovišť a ukázala hlavní výhody a nevýhody jednotlivých variant v důsledku úrovně automatizace montážních pracovišť.

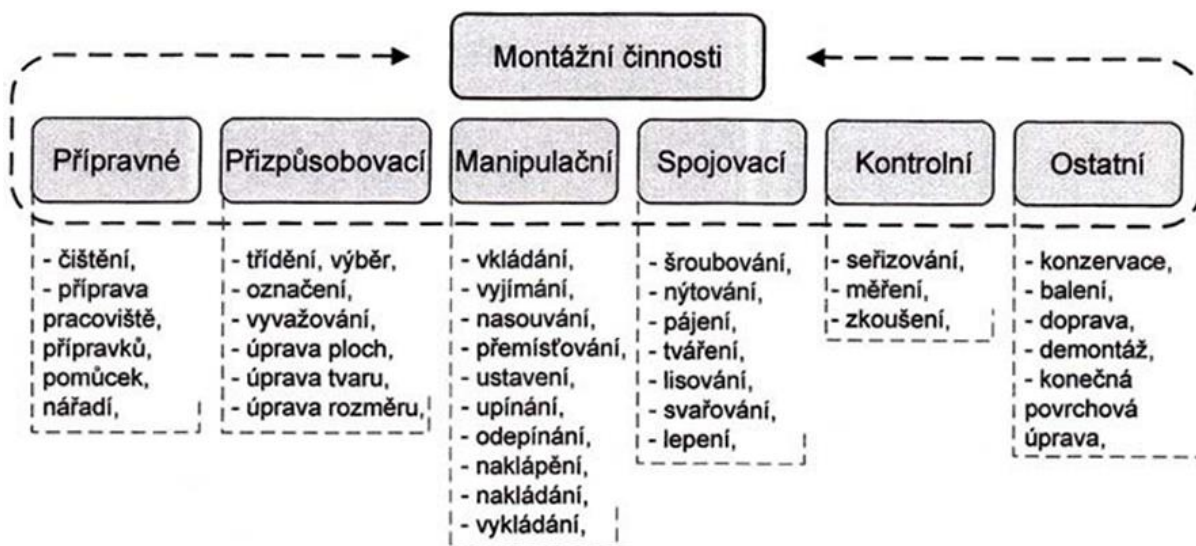
2.3 Montážní činnosti

Tato část definuje veškeré činnosti, které se vyskytují v montážním procesu. Dále jsou zde uvedeny příklady v závislosti na sériovosti výroby.

Podíl jednotlivých montážních činností je závislý především na druhu výroby. V malosériové až kusové montáži jsou rozhodující především přizpůsobovací a přípravné práce a z vlastní montáže má značný význam kontrola a seřizování včetně demontážních prací. Tyto činnosti tvoří v souhrnu asi 80 % pracnosti montáže. V sériové a hromadné montáži se bude zvyšovat podíl typických montážních činností, tj. spojování a manipulace (vkládání, nasouvání atd.). [6] V současné době se při montáži strojírenských výrobků setkáváme s řadou činností, které lze rozdělit do skupin viz obr. č. 8.

Montážní postup je ovlivněn sériovostí výroby, ta se rozděluje na:

- Kusový – výroba, která probíhá v jednotkách kusů maximálně do desítek
- Malosériová výroba – výroba, která probíhá v rozsahu desítek kusů až stovek
- Sériová výroba – ve výrobním procesu se zpracovávají dávky o několika desítkách až stovkách kusů
- Velkosériová výroba – přibližně 100 až 1000 ks
- Hromadná výroba – přibližně 10 000 ks a více



Obrázek 8: Montážní činnosti [6]

Pro zvýšení efektivity montážního procesu je nutné věnovat zvýšenou pozornost výběru vhodných činností, a to z hledisek:

- Snížení počtu ručních prací,
- snížení pracnosti montáže a zvýšení produktivity práce,
- zvýšení stupně mechanizace a automatizace montážních činností,
- zvýšení stupně standardizace, unifikace,
- typizovat technologie a vybavenost pracovišť. [1]

2.4 Technicko – organizační hlediska montážního pracoviště

Poslední podkapitola související s popisem montáží a montážních procesů se zabývá rozdělením montáží dle prostředí, rozděluje je na interní a externí. Dále popisuje interní varianty, které se rozdělují na stacionární (člověk ani montovaný výrobek se nepohybuje) a nestacionární (buď člověk, nebo montovaný výrobek je v pohybu). Tyto dvě interní varianty se dále podrobně rozdělují na konečné varianty montážních pracovišť.

Veškeré montážní systémy jsou rozdělitelné dle časové a technologické návaznosti, časovým a výkonovým využitím pracovních sil, prostředků, energie a prostorovým uspořádáním jednotlivých montážních celků a pracovišť. Velkou roli zde zastává složitost, velikost a množství montovaných výrobků. Časová a prostorová struktura tedy vychází ze složitosti, velikosti a množství montovaných výrobků a je dána technicko – organizační formou. [1, 7]

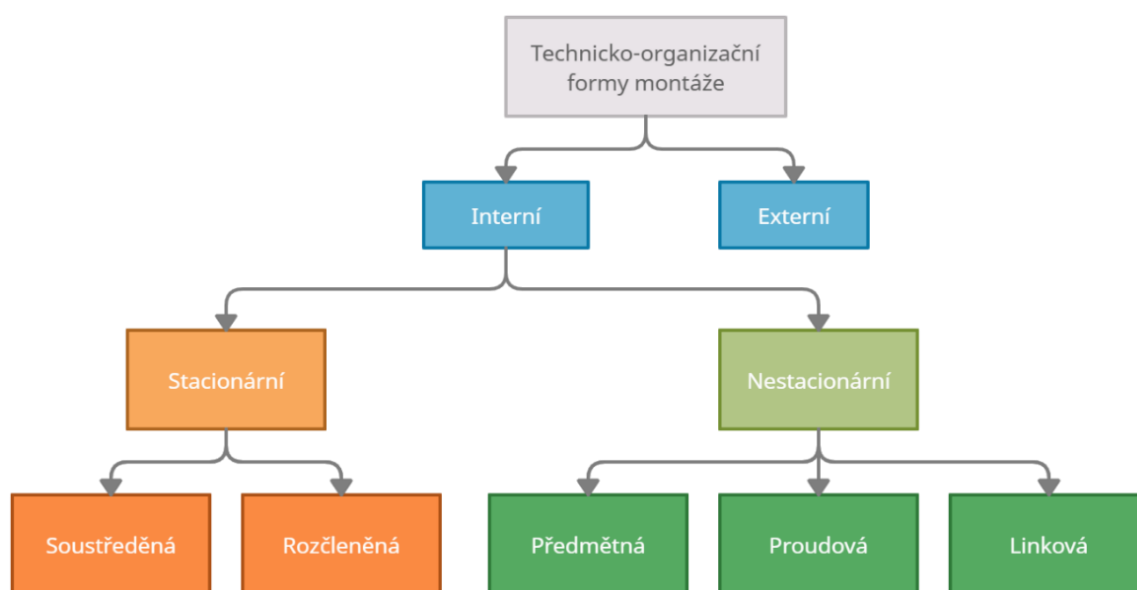
Montáž dle prostředí

Dle prostředí rozlišujeme dva druhy montáže a to:

Externí montáž – jedná se o montáž mimo podnik na domluveném místě (většinou u zákazníka). Při externí montáži je snaha co nejvíce součástí spojit interně a jen nutné úpravy provádět externě. Jedná se například o mosty, potrubí, armatury atd. [2]

Interní montáž – probíhá v uzavřeném prostoru výrobního závodu a je součástí výroby, výrobek opouští výrobní proces obvykle ve stavu způsobilém k přímému použití. [2]

Formy montáže se nejčastěji dělí na stacionární a nestacionární (pohyblivé) montáže, viz obr. 9. [2]



Obrázek 9: Technicko – organizační formy montáže [1]

2.4.1 Stacionární montáž (nepohyblivá)

Zde jsou popsány základní druhy stacionárních montáží neboli pracoviště montáže, kde se člověk ani montovaný výrobek nepohybuje. Podrobně je zde popsána soustředěná montáž a rozčleněný druh montáže.

Za stacionární neboli nepohyblivou montáž se považuje, když samotná montáž výrobku, nebo montážního celku probíhá postupně na stálém pracovišti na kterém pracuje jeden nebo více pracovníků. Nepohyblivá montáž je typická pro kusovou a malosériovou výrobu. Stacionární montáže se dělí na: (viz obr. 9). [1, 7]

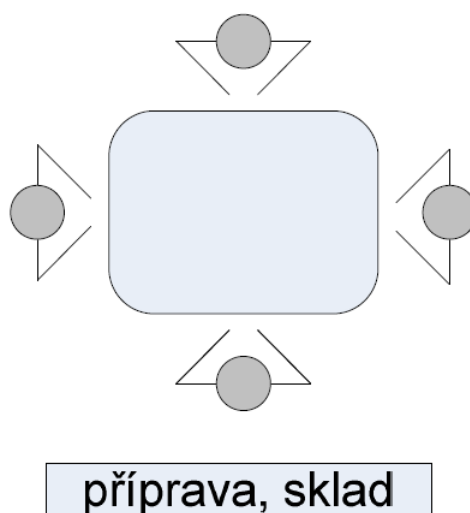
- Soustředěná montáž
- Rozčleněná montáž [1]

Soustředěná montáž

Soustředěná montáž je prováděna převážně ze spojování součástí na jednom pracovním místě a vykonávána jedním, nebo skupinou pracovníků (viz. obr. č. 10). Činnost je ve většině případů vykonávána pouze podle rámcových montážních postupů, a to bez podrobného časového hodnocení. Tato metoda je využívána u kusové a malosériové výroby, např. montáž velkostrojů, jako je kolesové rypadlo. [1, 6, 7]

Soustředěná montáž obsahuje velké množství nevýhod:

- Nároky na kvalifikaci pracovníků
- Počet pracovníků je omezen velikostí montážní jednotky
- Nároky na montážní plochy
- Dlouhá průběžná doba montáže (montáž probíhá postupným způsobem)
- Nepřesné normy času (náročná predikce časové náročnosti montáže)
- Nepravidelný průběh montáže [6, 7]

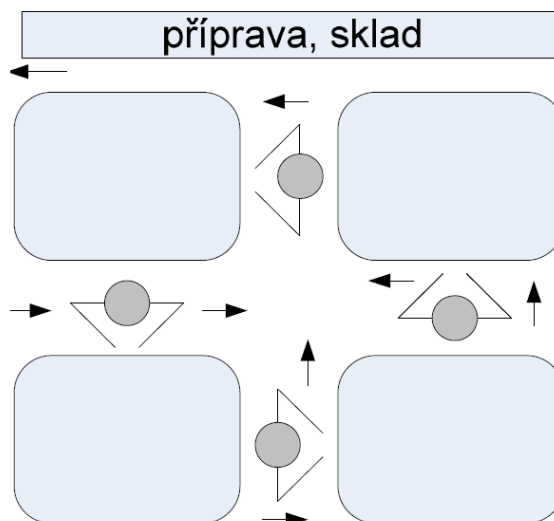


Obrázek 10: Schéma soustředěné montáže [7]

Rozčleněná montáž

Rozčleněná montáž si zakládá svůj postup na principu dělení operací, ale časová norma se pro rozčleněnou montáž zpracovává pro celou montážní linku. V důsledku poměrně velkého objemu operací, je zde určitá časová volnost pro předání montážních celků nebo uskutečnění činnosti v montáži. Předpoklad pro tento typ montáže je možnost rozčlenění výrobku na jednotlivé díly, podsestavy a sestavy dle montážního schématu a objemu práce v jednotlivých montážních operacích. Výrobek se montuje na několika stacionárních montážních pracovištích současně (viz. obr. č. 11). Tato metoda montáže se využívá pro kusovou a malosériovou výrobu, (např. frézky, soustruhy aj.). [1, 6, 7]

Výhodou uplatnění rozčleněné montáže je uskutečnitelnost souběžné předmontáže jednotlivých celků. V případě, kdy v montážní hale probíhá montáž různých výrobků, skupiny pracovníků se přesouvají od jednoho celku k dalším montážním celkům v jednotlivých fázích. Celková montáž pak představuje spojování dílů, podsestav a sestav v hotový výrobek. [6, 7]



Obrázek 11: Schéma rozčleněné montáže [7]

2.4.2 Nestacionární montáž (pohyblivá)

Zde jsou popsány základní druhy nestacionárních montáží neboli pracoviště montáže, kde je člověk, nebo montovaný předmět v pohybu (v drtivé většině případů je v pohybu montovaný předmět). Tato část popisuje jednotlivé varianty nestacionárních montážních pracovišť. Popis začíná předmětnou (řadovou) poté proudovou (synchronní) a je zakončen linkovou variantou montáže.

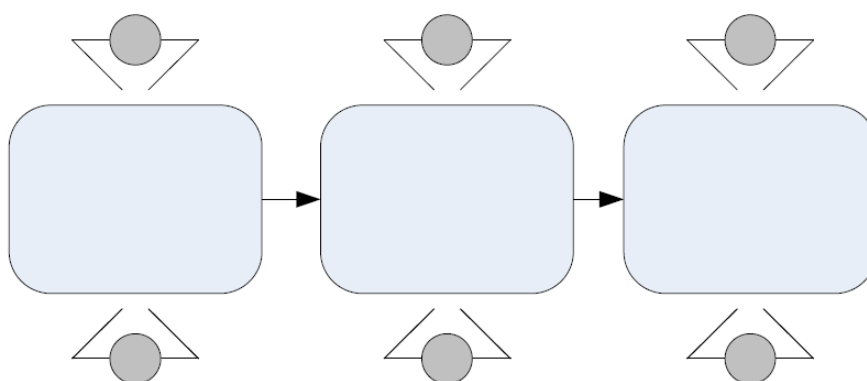
Nestacionární montáž probíhá současně v několika montážních procesech nebo ve skupinách pracovníků. Je důležité definovat, zda se pohybují pracovníci, či objekt montáže. Během procesu montáže se montážní celky přesunou z jedné pracovní stanice do druhé (pohybující se předmět), a to vždy z hlediska technologického a časového sledu montáže. U druhé varianty se postupuje tak, že smontované výrobky jsou umístěny na stacionárních montážních stanicích a skupina pracovníků (provádějící konkrétní, stále stejnou operaci) kráčí po dokončení operace na jiné místo (stacionární objekt). [1, 6]

Montáž s pohyblivým předmětem může být:

- Předmětná (řadová)
- Proudová (synchronní)
- Linková [1]

Předmětná (řadová) montáž

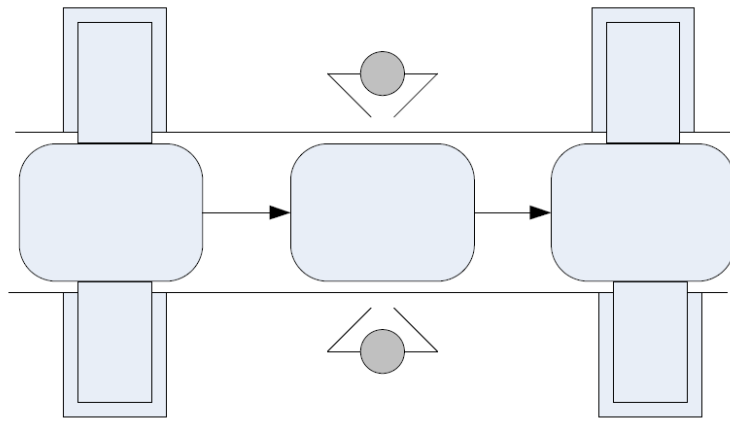
Předmětná montážní jednotka je nejjednodušší forma pohybové montáže, vyžaduje pouze vybavení jednotlivých pracovišť a jejich uspořádání dle montážního schématu. Je charakterizována volným taktem (pohybem) montovaného předmětu procházejícího jednotlivými pracovišti (viz. obr. 12), v důsledku volného taktu dochází u pracovních stanice k časové nevyváženosti v objemu montážních prací. [1, 7]



Obrázek 12: Schéma předmětné (řadové) montáže [7]

Proudová (synchronní) montáž

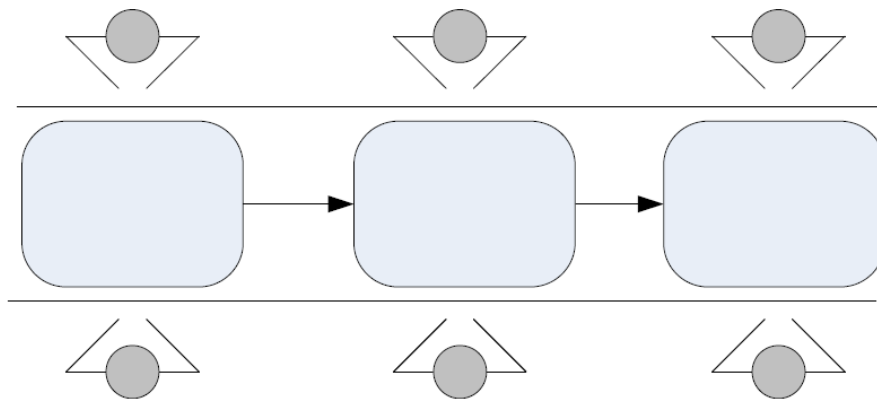
Tento druh montáže vyžaduje úplnou synchronizaci z hlediska objemu montážních prací v operaci. Využívá se převážně u jedno předmětných montáží s vysokým stupněm mechanizace a striktní časové kapacitě vůči montáži celku. Proudová montáž probíhá na stacionárních montážních pracovištích, kde určitou část montáže provádějí specializované skupiny pracovníků (viz obr. 13). Specializovaní pracovníci mají definovaný pouze určitý rozsah práce. Montážní práce jsou rozčleněny na operace nebo úkony. Vzhledem k přesně načasovanému transportu (synchronizaci) komponent je tento typ montáže vhodný pro automatizaci procesu montáže. Proudová montáž se využívá u velkosériových výrob, (např. při výrobě valivých ložisek, motorů, převodovek aj.). [1, 7]



Obrázek 13: Schéma proudové (synchronní) montáže [7]

Linková montáž

Tato forma montáže se vyskytuje tam, kde je větší podíl ručních prací a zejména v případech, které mají větší sortiment výrobků montážních celků. Je charakteristická nuceným pohybem montovaného předmětu, který je dán taktem montážní linky (viz. obr. 14). Vyžaduje podrobnější rozdělení montážních celků do jednotlivých operací. Kvůli variabilitě pracovního tempa jednotlivých pracovišť se tento druh montáže často označuje jako nesynchronní. V případě, kdy je montážní linka organizovaná v plynulém taktu a zároveň i odběr výrobků, jedná se o synchronizovanou montáž. Linková montáž se využívá ve velkosériových výrobcích, (např. čerpadla). [1, 7]



Obrázek 14: Schéma linkové montáže [7]

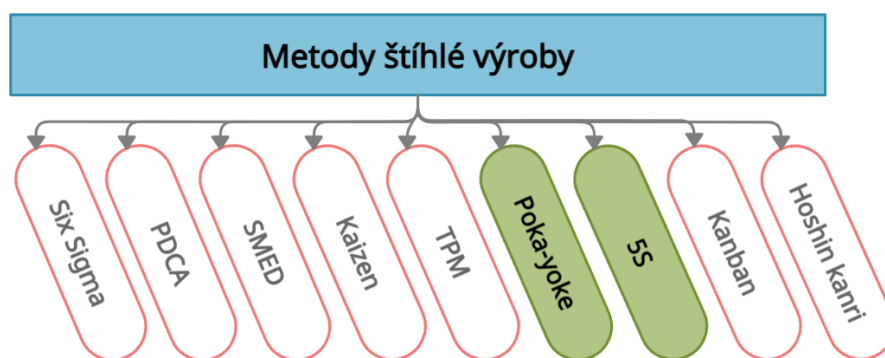
V rešeršní části zabývající se montáží byla montáž probrána z hlediska začlenění montážního procesu do výrobního systému. Dále obsahuje informace ohledně základů montáže, rozdělení technik, stupňů mechanizace, montážních činností, prostředí, stacionárních a nestacionárních montážních pracovišť. Tyto informace jsou potřebné k následné analýze a návrhu optimalizace montážního pracoviště.

2.5 Štíhlá výroba

Tato poslední podkapitola z kapitoly problematika optimalizace montážních pracovišť se zabývá vybranými metodami štíhlé výroby. Začátek je věnován obeznámením s cílem štíhlé výroby a hlavní metody, které štíhlá výroba obsahuje. Dále je definován negativní faktor výroby plýtvání, to je rozdělené do osmi podkategorií a jednotlivé druhy jsou podrobně popsány. Poté se tato část věnuje metodě 5S a metodě díky které se předchází chybám při montáži: poka-yoke.

Obecně štíhlá výroba má za cíl zvýšit výkonnost firmy prostřednictvím optimalizace výrobních procesů a zlepšení pracovních podmínek. Tohoto cíle dosahuje pomocí jednotlivých metod, které se například zaměřují na zkrácení vzdáleností pohybů, označení a přesné uspořádání nástrojů a obecně všech předmětů potřebných k výrobě či montáži a tím odstraní časové ztráty pracovníka, který by jinak daný předmět musel v určitých případech hledat a v neoptimalizovaném stavu musel vykonávat zbytečné pohyby. [39, 40, 45]

System lean manufacturing (štíhlá výroba) je tedy koncepce zaměřená na optimalizaci procesů a zároveň co největší uspokojování potřeb zákazníka. Lean představuje výrobu pružně reagující na potřeby zákazníka a na poptávku, při nízkém počtu na sebe navazujících výrobních stupních. [39, 40, 45]



Obrázek 15: Metody štíhlé výroby [45]

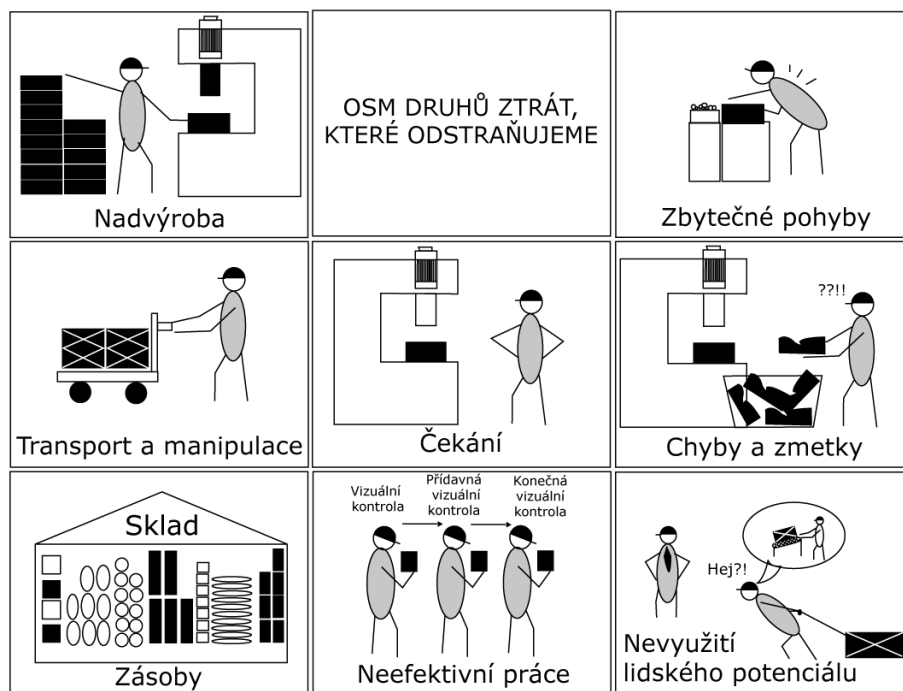
Z metod štíhlé výroby se bude dále podrobněji popisována metoda 5S a metoda poka-yoke.

2.5.1 Muda – plýtvání

Jako plýtvání můžeme považovat veškeré skutečnosti, které nepřidávají hodnotu a zákazník za ně nechce zbytečně platit. Plýtvání tedy vyjadřuje nadměrné vynaložení zdrojů, které neodpovídají reálné potřebě pro uspokojení potřeby zákazníka. Například kvalita a množství výrobků, či termín zhotovení zakázky. [39, 40]

Plýtvání lze rozdělit do 8 základních podkategorií:

1. Nadprodukce
2. Čekání
3. Zásoby
4. Zmetky
5. Pohyb
6. Přeprava
7. Nadpráce
8. Nevyužitý potenciál pracovníků



Obrázek 16: 8 druhů plýtvání ve výrobě [37]

Plýtvání způsobené nadprodukcí

Vzniká ve výrobach s větším množstvím výrobků, než zákazník nebo jiný proces vyžaduje, často proto, že výroba je zahájena příliš brzy. Nadvýroba nastává také, když je ve výrobě stanovené určité množství dokončených výrobků pro případy nouze, jako jsou poruchy zařízení, náhlé zmetkovosti apod. To vytváří zbytečné požadavky na úložný prostor a zvyšuje se administrativní zátěž a cena dopravy. [38, 39, 40]

Plýtvání způsobené čekáním

Čekání na materiál, nástroj, odstranění poruchy ale také při absenci informací jednoduše řečeno čekání na cokoliv představuje plýtvání. Zákazník odmítá čekat, je tedy nutné tento druh plýtvání, které prodlužuje dodací dobu, než se produktu dostane k zákazníkovi odstranit. Kvůli čekání není možné pokračovat ve výrobním procesu. Tento druh plýtvání lze jednoduše identifikovat. [38, 39, 40]

Plýtvání způsobené nadbytečnými zásobami

Tato forma plýtvání se považuje za nejčastější a zároveň nejzávažnější. Zásoby představují plýtvání způsobené nadbytečným skladováním ve strojírenství se převážně jedná o náhradní díly, materiál, nedokončené a hotové výrobky apod. Tyto nadbytečné zásoby zbytečně zabírají skladovací prostory regálů apod. Zároveň musíme zbytečně zaměstnávat lidi, kteří se starají o manipulaci a údržbu těchto zásob. [38, 39, 40]

Plýtvání v podobě zmetků

Jedná se o výrobky, které nesplňují požadavky, jsou chybné či nekvalitní apod. V případě vytvoření zmetku můžeme buď chybný výrobek vyhodit a tím způsobit finanční ztrátu, nebo pokud je to možné zmetek opravit. Oprava ovšem vyžaduje čas, práci zaměstnanců a finanční prostředky. Oba případy jsou pro podnik negativní a činní ztrátu. Některé defektní rozpracované výrobky mohou v dalších procesech výroby vážně poškodit výrobní zařízení, a pokud se navíc zmetky dostanou k zákazníkovi, následky mohou být ještě větší. Je tak důležité zjistit příčinu vzniku problému a snažit se dosáhnout ideálu, kdy se vyrábí vše napoprvé v požadované kvalitě. [38, 39, 40]

Plýtvání způsobené zbytečnými pohyby

Pohyb v kontextu plýtvání představuje jakýkoli pohyb pracovníka nebo stroje, který nepřidává žádnou hodnotu. Pokud například pracovník dlouho hledat potřebný předmět, jedná se o neefektivní pohyb a je třeba tento problém odstranit. Čím kratší pohyb pracovník musí vykonat tím vyšší efektivnosti práce dosahuje, proto je třeba se na tento způsob plýtvání zaměřit a eliminovat neefektivní pohyby a zkrátit potřebné. [38, 39, 40]

Plýtvání v přepravě (transportu, manipulaci)

Plýtvání v přepravě představuje veškerý interní i externí transport, který je vykonán komplikovaněji, než je nutné či chybný transport. Zbytečné manipulaci je třeba zabránit strategickým umístěním techniky apod. na správná a trvalá místa, proto bychom mohli udržovat co nejkratší vzdálenosti mezi jednotlivými výrobními procesy. Navazující procesy uvnitř závodu by tedy měly být co nejbliže u sebe a blízko dodavatelů. [38, 39, 40]

Plýtvání v podobě nadpráce (vícepráce)

Vícepráce v rámci plýtvání představuje veškerou práci, za kterou zákazník není ochoten zaplatit, nebo si ji nepřeje. Výsledný výrobek by tedy nemělo obsahovat prvky, o které nemá zákazník zájem. [38, 39, 40]

Nevyužitý potenciál pracovníků

Tento druh plýtvání byl přidán až relativně nedávno k předchozím sedmi druhům plýtvání. Plýtvání popisuje nevyužitý potenciál pracovníků v podobě intelektu. Pokud existují stroje nebo nástroje, které dokážou provést stejnou práci s méně kvalifikovaným personálem, pak je využíváním vysoce kvalifikovaných operátorů v tomto procesu plýtváním. [38, 39, 40]

Tato část podrobně popsala shrnula nejčastějších osm variant plýtvání. Identifikace plýtvání je základ pro optimalizaci montážní procesů. Další část se věnuje významné metodě štíhlé výroby pro návrh pracovišť, kterou je metoda 5S.

2.5.2 Metoda 5S

Tato část na začátku shrnuje metodu 5S a poté důkladně rozebírá jednotlivé aplikace metody. Na konci jsou zmíněny další 2S, které se implementují v Evropě.

Metodika 5S tvoří základ pro implementaci jakékoli zlepšovací činnosti a klade si za cíl zásadní redukci plýtvání. Skládá se z vizuální techniky čištění, která předpokládá a dodržování pěti činností za účelem vytvoření pracovní stanice, která bude vhodná pro vizuální kontrolu a štíhlou výrobu. Tato metoda umožňuje zlepšení výkonu systému, protože pomáhá zkrátit potřebnou dobu pro přidání hodnoty. Díky zlepšení výkonu umožňuje zvýšení produktivity a zlepšení jakosti produktu. 5S je zkratka pěti japonských slov, které představují pět fází v této metodice. Jedná se o seiri, seiton, seiso, seiketsu, a shitsuke, český překlad pro ně je separovat, systematizovat, stále čistit, standardizovat a sebedisciplína. V Japonsku se při využití kroky překrývají a využívají se například jen 4S (vychází to z vlastností Japonských dělníků, kteří čtvrté a páté „S“ spojují a standardy udržují automaticky. V Evropě a USA se využívají při implementaci všechny kroky z čehož nejtěžší je udržet kroky 4 a 5 na kterých závisí funkčnost celé implementace metody. [39, 40]



Obrázek 17 – Metody 5S [39]

Hlavní cíle metody:

- Dlouhodobě stabilizovat a zvyšovat efektivitu, zároveň také zvyšovat produktivitu a tím maximalizovat zisk
- Zlepšit pracovní prostředí, kvalitu a bezpečnost práce
- Ušetřit z ekonomické hlediska
- Optimalizovat výrobní procesy (výroba, montáž, skladování)

První krok seiri, separovat

Tento první krok upravuje pracoviště tak, že pracoviště obsahuje pouze předměty, nástroje, materiály, které jsou pro vykonávání činnosti nezbytně nutné. Redukuje hromadění nepotřebných předmětů, aby nedocházelo k nepořádku, plýtvání pohybů apod. Při nepořádku dochází ke zbytečným prodlevám a pracovník se místo soustředění na práci soustředí na činnosti, které ho zdržují. Dále odstraňuje přemísťování nepotřebných předmětů a hledání potřebných věcí na pracovišti. Spolupracuje s kanbanem neboli kartovou metodou. [39, 40]

Druhý krok seiton, systematizovat (systematicky uspořádat)

Cílem druhého kroku je pro každý předmět, který má na pracovišti svůj úkol najít trvalé místo. Každý předmět by v tuto korku měl dostat své místo, které bude jednoznačně vyznačeno nebo specifikováno, aby bylo jasné kam předmět ukládat. Je nutné také přemýšlet nad vytížeností předmětů a místo pro daný nástroj vybrat s přihlédnutím na vzdálenost, kterou pracovník bude muset překonat. Předměty méně využívané jsou uloženy dál nebo níže na rozdíl od často využívaných předmětů. Výsledkem tohoto kroku je odstranění hledání předmětů a redukce plýtvání časem. Umístění lze označit pomocí nálepek nebo například udělat obrysy pro jasné uložení nástrojů. Umístění musí být jednoznačné, chybějící předměty jsou lehce identifikovány. [39, 40]



Obrázek 17 – Uspořádané nástroje s jednoznačným místem [43]

Třetí krok seisō, stále čistit

Pracoviště musí být neustále udržováno čisté, stejně jako předměty a nástroje. V Japonsku je tento krok velmi často brán jako samozřejmý již při zavádění prvních dvou kroků. Tento krok pomáhá udržovat především bezpečnost na pracovišti a zároveň udržuje v kondici nástroje a stroje, které jsou při údržbě déle funkční. Nutností tohoto kroku

pro úspěšnou implementaci je slovíčko „stále“ nestačí pracoviště pouze jednou uklidit. Důležité je pracoviště a nástroje udržovat čisté dlouhodobě a pokusit se eliminovat, co nejvíce příčin znečištění. Čištění probíhá pracovníky, kteří na daném pracovišti pracují. Pracoviště lze rozdělit na úseky, kde každý pracovník má zodpovědnost za část pracoviště, kterou vyčistí a nadále udržuje v čistotě. [39, 40]



Obrázek 18: Před a po aplikace metody 5S [46]

Čtvrtý krok seiketsu, standardizovat

Při prvních třech krocích zavedeme standard pro čistou, umístění předmětů atd. Tento a následný krok nám dávají za úkol tento standard udržet a rozhodují o úspěchu a neúspěchu implementace metody 5S. V tomto kroku je tedy hlavním úkolem neustále kontrolovat, jestli se nastavené standardy dodržují. Hlavní snaha zrychlovat a vylepšovat zavedené procesy. Lze toho docílit pomocí opakovanému používání standardů, aby se z jednotlivých činností stala rutinní práce a následně pracovní styl. Po provedení Seiketsu má každý zaměstnanec přehled o tom, co a jak má dělat. [39, 40]

Pátý krok shitsuke, sebedisciplinovanost

Hlavním znakem tohoto závěrečného kroku je disciplína. Je nutná pro udržení toho, co jsme zavedli, čistota a uspořádanost. Disciplínou se snažíme o udržení zlepšeného stavu tak, aby se nevrátil do původního. Každé místo a pracoviště má snahu se stávat postupem času neuspořádané, proto je nutná disciplína a kontrola. V nejlepší případě kontrolu provádějí sami zaměstnanci dodržující zásady 5S, kteří se kontrolují mezi sebou, není pak tedy třeba kontroly nadřízených pracovníků. Kontrolu lze zajistit například pomocí karty kontroly, kam se zapisují jednotlivé činnosti, které určití pracovníci provedli. Kombinace kroku 4 a 5 je nejtěžší na celé části implementace metody 5S. [39, 40]



Obrázek 18: Před a po aplikace metody 5S [46]

V Evropě s k těmto pěti „S“ často přidávají další dvě „S“. V Japonsku se tyto nové části neuchytili, neboť se již považují za samozřejmost. [44]

Šestý krok safety bezpečnost

Tento krok pochází již z Evropy, kde se na bezpečnost klade velmi vysoký důraz. Pro tento krok je typické zavedení pracoviště, které je ideálně bezpečné a připravené pro práci. V tomto kroku jsou představeny základní prvky, které je potřeba dodržet při zavádění této části.

- Užívání ochranných pomůcek.
- Dostupnost záchranných prostředků (hasičské přístroje, lékárničky případně nouzové vypínače, které jsou na daných místech a jsou snadno dostupné)
- Dodržování zásad při krizových situacích (interní směrnice společnosti, označené nouzové východy)
- Vizualizace pracoviště, návody, plány a školení pro zaměstnance [44]

Sedmý krok, ekologie a životní prostředí

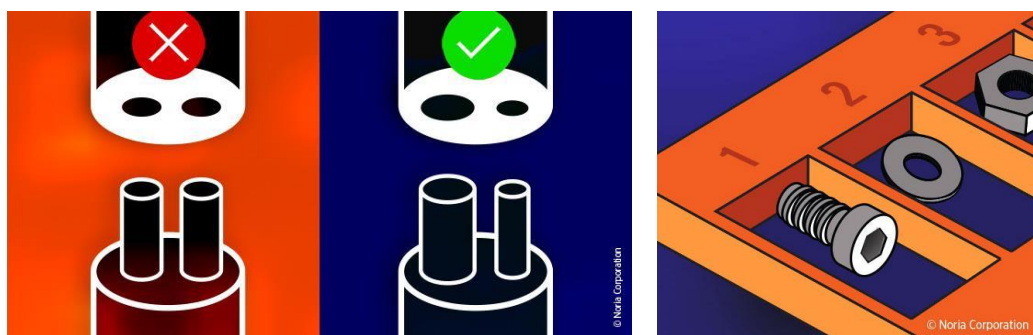
Stejně jako šestý krok i sedmý má původ v Evropě a je spojen s další citlivou součástí výroby. Sedmý krok se zabývá především odpadovým hospodářstvím, a ochrannou přírodních zdrojů, jako je voda a ovzduší. Tato problematika se zaměřuje na minimalizaci zátěže životního prostředí a na ekologickou likvidaci odpadních, řezných a nebezpečných kapalin a na co nejmenší ovlivnění ovzduší [44].

Metoda 5S je velice přínosná a dá se považovat ta jeden z prvních kroků k vylepšení pracoviště a pracovní kultury firmy. Je třeba do aplikace metody zaměstnance zapojit, motivovat a dostatečně jim vysvětlit důvody k zavedení této metody a proč by ji měli

respektovat a aplikovat. Přesvědčení a spolupráce zaměstnanců je vitální pro fungování metody 5S.

2.5.3 Poka-yoke

Termín „poka-yoke“ pochází z japonských slov „poka“ (neúmyslná chyba) a „yoke“ (zabránit). Základní myšlenkou poka-yoke je navrhnout proces tak, aby chyby byly nemožné nebo alespoň snadno detekovatelné a nedošlo by tak k export defektního výrobku k zákazníkovi. Chyby jsou nevyhnutelné a u lidí nelze očekávat, že se na práci budou neustále soustředit nebo že plně porozumí pokynům. Cílem poka-yoke je vytvořit proces tak, aby bylo možné předcházet chybám nebo je okamžitě odhalit a napravit je. [41]



Obrázek 19, 20: Příklady poka-yoke [43]

Na obrázku č. 20 je vidět varianta, která se používá při montáži. Zaměstnanec má za úkol v prvním kroku vyndat součástky z přepravek a umístit je do přihrádky. Až poté, co přihrádku vyplní, může začít montáží předmětu. Tímto způsobem se zabraňuje zapomenutí montáže některé ze součástí. [43]

Zabránění vzniku zmetků je velice důležité. Pokud by vznikl zmetek, může být exportován zákazníkovi a následky mohou být veliké. Proto by se při navrhování a optimalizaci pracovišť mělo i přemýšlet nad metodami, jak zabránit vzniku chyb, tak jako to dělá metoda poka-yoke.

3. Ergonomie pracoviště

Úvod této rešeršní kapitoly ergonomie pracoviště se zabývá definicí ergonomie a krátkým popisem. Dále se zaměřuje na systémem vztahů člověk – technika – prostředí, kde se kvůli z pohledu strojírenství zaměřuje hlavně na vztah člověka a techniky. Dále je popsáno pracovní prostředí, které je dále rozdělené na fyzikální prostředí a specifikované na osvětlení, hluk, vibrace a klimatické podmínky. Posledním tématem v podkapitole fyzikálních faktorů je fyzická a psychickou zátěž ve které se uvádí limity, hodnocení fyzické zátěže a příklady vzniků psychické zátěže a vliv těchto zátěží na pracovní pohodu. Rešerše se dále zabývá hodnocením ergonomie z pohledu pracovní polohy, místa, pracovní roviny, pracovní polohy těla a dosahových oblastí člověka. Předposlední podkapitola se zabývá metodami pro hodnocení ergonomického stavu. Jsou zde popsány dvě metody, a to metoda OWAS v prostředí softwaru Tecnomatix Jack 9.0 a druhá metoda je analýza pomocí checklistů. Kapitola ergonomie pracoviště je zakončena legislativou a stručným shrnutím důležitých směrnic, vládních nařízeních, zákonů a norem.

Co se týče optimalizace ruční montáže je vědní obor ergonomie práce jeden z hlavních faktorů. Je důležitá pro navrhování jakéhokoliv pracoviště, kterého je součástí člověk a zabývá se tím, aby práce pro zaměstnance byla co nejpříjemnější dosažením pracovní pohody, nedocházelo při ní k poškození zdraví a zároveň, aby práce vykonávaná lidmi byla co nejefektivnější. Má druhá rešeršní část se zabývá ergonomií. [4, 28]

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, optimalizace pohody člověka. Komplexně řeší činnost člověka a jeho vazby s technikou a prostředím, s cílem optimalizovat jeho psychickou a fyzickou zátěž a zajistit rozvoj jeho osobnosti, humanitní i technické disciplíny. [4, 28]

Při vytváření pracovního prostředí nástrojů, strojů atd. přistupuje dvěma způsoby:

- Mechanocentrický přístup: Navržení techniky bez přihlédnutí k limitům člověka.
- Antropocentrický přístup: Vychází ze schopností a dovedností člověka, již při návrhu se respektují všechna jeho omezení. [4]

Ergonomie kritizuje mechanocentrický přístup a prosazuje antropocentrický přístup, tzn. technika musí respektovat limity člověka. [4, 28]

Upřesnění ergonomických pojmů:

- **Technika:** Vše, co člověk využívá k vytvoření užitných hodnot nebo uspokojení potřeb např. stroje, nábytek, nářadí, sedadla atd.
- **Prostředí:** Vše, co člověka obklopuje, ovlivňuje jeho samotného nebo jeho činnost např. světlo, teplo, hluk, zátěž ale i bezpečnost a hygienu práce a další.
- **Pracovní pohodou** můžeme nazvat optimalizaci psychické a fyzické zátěže.
- **Komplexnost prostorová:** systém jako celek se všemi subsystemy a prvky.
- **Komplexnost problémová:** přístup s širokými a rozsáhlými znalostmi.
- **Komplexnost časová:** v časové posloupnosti od vzniku problému po jeho odstranění.

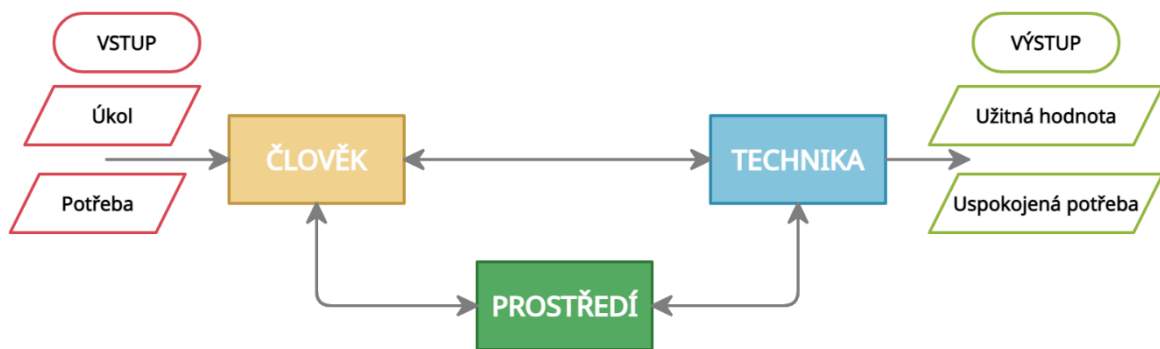
[4]

3.1 Systém člověk – technika – prostředí

Tato kapitola se soustředí na popsání systému člověk – technika – prostředí, dále jen jako ČTP znázorněné schématem (viz. obr. 21). Systém bere jednotlivé vazby mezi těmito faktory a díky těmto vazbám je schopný identifikace a následné optimalizace. Dále definuje ergatiku, díky které jsme schopni optimalizovat vazby v systému ČTP a zajistit pracovní pohodu pracovníka.

Tato bakalářská práce je zaměřena na strojírenství, budu dáte tedy považovat vazbu mezi člověkem a technikou jako dominantní.

Ergonomie zastává systémový přístup. To znamená, že nepovažuje celek člověk, technika a prostředí za jednotlivé prvky, ale za seskupení a spojení mezi nimi vytváří novou formaci s charakteristickými vlastnostmi díky vazbám mezi jednotlivými prvky. Člověk je nejslabším článkem, převážně kvůli tomu, že neumí řádově měnit vlastnosti. Je označován jako omezující složka systému (nejslabší článek v systému) a ovlivňují konečné chování systému. Tento systémový přístup zprostředkovává nový pohled na analýzu nejslabších článků (převážně člověka) a analyzovat podmínky jeho výkonnosti. [4]



Obrázek 21: Systém: člověk – technika – prostředí [4]

Tento systém je řešen několika disciplínami např.:

- Ergonomie
- Hygiena práce (prevence proti nemocím)
- Bezpečnost práce (prevence proti úrazům)
- Ekologie (vztah člověka k životnímu prostředí)
- Technická estetika (vytváření estetických vjemů)
- Organizace práce (optimální uspořádání pracoviště) [28]

Cílem systému ČTP je zajistit stabilitu, schopnost dané soustavy udržovat se v daných mezích a při malém vychýlení se vrátit do rovnovážného stavu a spolehlivost, schopnost systému splnit svou funkci v daných mezích a čase. Vyjadřuje se pravděpodobností bezporuchové činnosti. V tomto systému lze řešit čtyři základní typy úloh, a to ergonomickou racionalizaci, modelování a analýzu. Čtvrtým typem úlohy je projekční ergonomie, avšak tento systém dosud neexistuje, má za cíl vykazovat s určitou pravděpodobností požadované chování systému.

[4, 28]

Základní vztahy mezi člověkem a technikou jsou tedy:

- Člověk a nástroj: běžné používání nástrojů a pomůcek, vazba je zaměřena na energetickou náročnost jednotlivých pohybů a dynamické stereotypy pracovníka.
- Člověk a výrobní zařízení: Nejčastější varianta, člověk provádí činnost pomocí ovladačů a sdělovačů díky přijímání informací pomocí svých smyslů. Člověk používá vnější energie k pohonu techniky.
- Člověk a Více technických zařízení: Neboli více strojová obsluha, vyžaduje zvýšenou kvalifikaci pracovníka a psychické vlastnosti.
- Skupina lidí a technika: Variant, kdy skupina lidí pracuje u jednoho zařízení, takže zde velkou roli hrají organizační schopnost, mezilidské vztahy a vedení skupiny lidí. [4]

Ergatika

Pro komplexní pojetí systému ČTP je zavedený termín ergatika.

„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.“ (Chundela, 1986) [4, s. 11]

Ergetičnost systému se označuje E a pohybuje se v rozmezí (0,1)

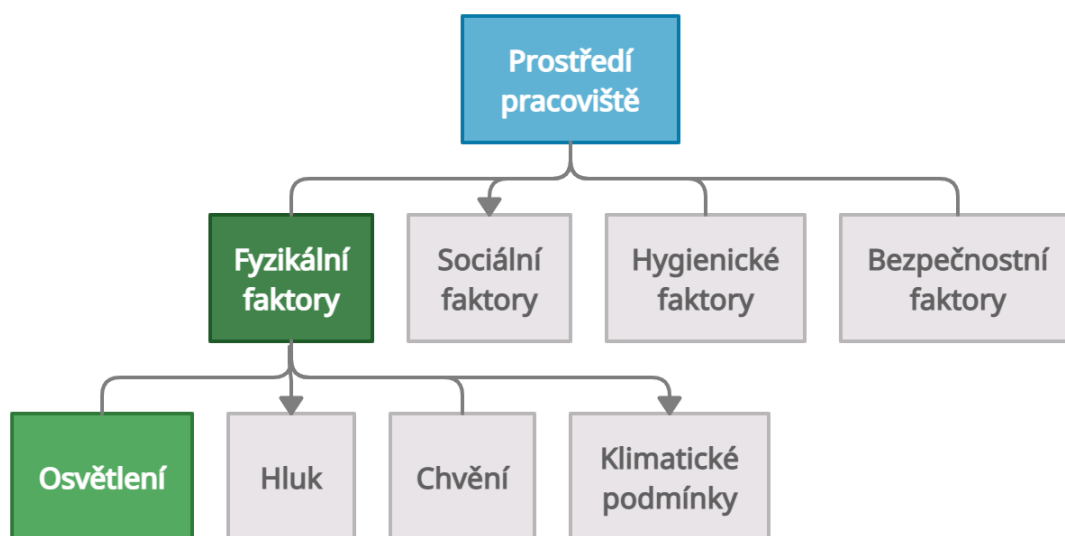
E = 0 – Nízkou ergetičnost má systém, u kterého je vysoká pravděpodobnost ohrožení člověka.

E = 1 – Vysokou ergatičnost má systém, ve kterém jsou splněna všechna kritéria jako jsou např. bezpečnostní, ergonomické, hygienické atd.

Opakem ergatičnosti je rizikovost, která se značí R. Ta vyjadřuje kvalitu systému, čímž je myšlena míra nebezpečí ohrožení zdraví (škodlivost) a pracovní pohodu. [4]

3.2 Prostředí pracoviště

Tato část se věnuje prostředí pracoviště v ergonomickém systému, to chápeme jako všechny faktory, které působí nebo mohou působit na člověka s technikou. Zobrazeno schématem (viz obr. 14). V následující podkapitole jsou tedy rozebrány a popsány fyzikální faktory osvětlení a zraková zátěž, hluk, chvění a klimatické podmínky. Z těchto faktorů je pro zadané montážní pracoviště hlavní osvětlení. Jako poslední faktor je zde popsána fyzická a psychickou zátěž ve které se uvádí limity, hodnocení fyzické zátěže a příklady vzniků psychické zátěže a vliv těchto zátěží na pracovní pohodu.

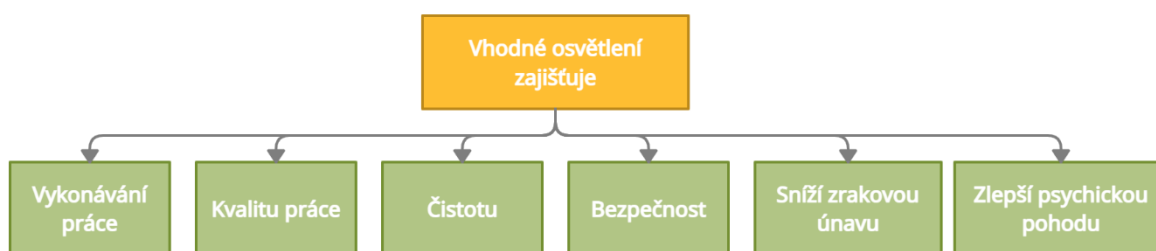


Obrázek 22: Prostředí pracoviště [4]

3.2.1 Fyzikální faktory

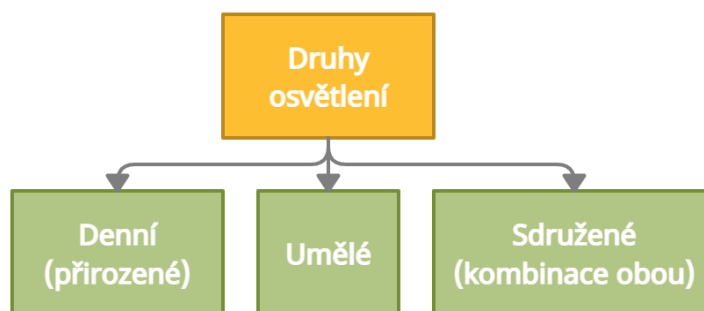
Osvětlení a zraková zátěž

Osvětlení je jednou ze základních podmínek, kterou člověk potřebuje při vykonávání práce, protože práci, kterou člověk vykonává zároveň pozoruje zrakem. Dle průzkumů 80 až 90 % informací dostává člověk pomocí zraku. Vhodné osvětlení nám tady poskytuje mnoho možností a výhod viz. obr. 15. Nedostatečné osvětlení neboli oslnění má negativní vliv na oči, může způsobit pálení očí, zrakovou únavu, bolest hlavy nebo rozmazané a dvojité vidění. Negativní vliv na zrak, zejména v dlouhodobá expozice se nazývá zraková zátěž. [4][28]



Obrázek 23: Vhodné osvětlení [4]

Při návrhu osvětlení vycházíme ze znalosti tří základních využívaných zdrojů (druhů) světla, které jsou uvedeny v obrázku č. 16.



Obrázek 24: Druhy osvětlení [4]

U **přirozeného osvětlení** je dominantní výhodou to, že je zadarmo a člověk je na něj zvyklý. Tento druh světla má však řadu nevýhod, a to především jeho kolísání intenzity, jak během roku, tak během dne a vlivem počasí. Dalším nevýhodným faktorem je kolísání barvy světla, rozdíl mezi rámem, polednem a večerem a zároveň tepelným zářením, které může negativně ovlivnit výkonnost pracovníka.

Umělé osvětlení se s podobnými negativními faktory nestýká, je proto jediným způsobem, jak trvale zajistit na pracovišti potřebné světelné podmínky.

Z důvodů jednotlivých výhod a nevýhod je nejlepší kombinace těchto dvou variant, nazýváme ji **sdružené osvětlení**. Je to tedy kombinace přirozeného a umělého osvětlení, přičemž při poklesu intenzity přirozeného světla je vhodné přejít na umělé osvětlení.

Intenzita osvětlení významně ovlivňuje vizuální vnímání. Intenzita osvětlení se udává v luxech [lx]. Hodnota intenzity závisí primárně na typu vykonané práce a je rozdělena do šesti tříd podle typu práce. Rozdělení do tříd je uvedeno v tabulce č. 1 pod tímto odstavcem. Tabulka ukazuje velikost kritického detailu jako hlavní rozlišovací faktor. Velikost kritického detailu vyjadřuje velikost, kterou musíme být schopni rozlišit v dané třídě od dané pozorovací vzdálenosti.

Tab. 1. Rozdělení do tříd intenzity osvětlení [4]

Třída	Požadavky na osvětlení	Vzdálenost od kritického detailu (mm) ze vzdálenosti		Osvětlení (lx)
		350 mm	1000 mm	
1	mimořádné	0,1	0,3	nad 5000
2	velmi vysoké	0,1 až 0,2	0,3 až 0,6	2000 až 5000
3	vysoké	0,2 až 0,4	0,6 až 1,2	600 až 2000
4	průměrné	0,4 až 0,8	1,2 až 2,3	250 až 600
5	malé	0,8 až 1,5	2,3 až 4,4	100 až 250
6	velmi malé	1,5 až 3,0	4,4 až 8,8	25 až 100

Oslnivost osvětlení je nepříznivý stav zraku, který zhoršuje nebo znemožňuje možnost vidění. Dochází k němu je-li sítnice nebo její část vystavena jasu vyššímu, než na který je oko adaptováno. Oslnění je tím větší, čím větší jsou jasy svítících předmětů v zorném poli a čím jsou tyto předměty větší. Pro hodnocení míry oslnění se používá jednotný systém zvaný UGR (Unified glare rating). Tabulka č. 2 ukazuje hodnocení oslnění. [4][29]

Tab. 2. Hodnocení oslnění [29]

Subjektivní hodnocení oslnění	UGR		Prostory
Právě rozeznatelné	10	-	-
Právě přijatelné	16	16	Rýsovný
		19	Kanceláře, školy
Právě nepříjemná	22	22	Jemná průmyslová výroba
		25	Běžná průmyslová výroba
Právě nesnesitelná	28	28	Hrubá průmyslová výroba

Dalšími faktory osvětlení, na které je důležité nezanedbat jsou kontrast, směr a rovnoměrnost osvětlení. Kontrast je potřebný pro rozpoznání mezi objektem,

se kterým pracovník manipuluje a pozadím. Tento fakt má velkou váhu při přesných pracích. Pro směry platí snaha zamezování vzniků stínů. U rovnoměrnost se řeší především typ, počty a rozmístění osvětlovacích jednotek tak, aby osvětlení bylo rovnoměrné. [4]

Hluk

Hluk lze definovat jako zvukový vjem, který vyvolává nepříjemný rušivý nebo škodlivý sluchový vjem. Velikost hluku je nejběžněji udávána dle hladiny akustického tlaku, který má jednotku decibely [dB]. Důležité je si uvědomit, že každý člověk vnímá zvuk a jeho intenzitu individuálně a že práh nepohodlí je pro každou osobu nastaven na různé hodnoty. Obecně by však měla být hladina hluku pro mentálně náročnou a soustředěnou práci v rozmezí 55 dB. U běžných administrativních činností je tato hodnota 65 dB. Většina lidí ztrácí více než 65 dB duševní pohody a hluk způsobuje podráždění a snižuje kvalitu práce. Nad 80 dB je zaměstnavatel povinen poskytnout zaměstnanci ochranu sluchu, protože tento hluk je nebezpečný i po dlouhodobém vystavení. Hluk nad 130 dB je již extrémní a nikdy by mu neměl být vystaven, protože k poškození sluchu může dojít velmi rychle a pro některé lidi může být život ohrožující. [4][16]

Nepříznivé vlivy hluku můžeme rozdělit do tří stupňů:

- Obtěžující vliv: narušuje pracovní pohodu, člověku se vytvářejí nepříjemné pocity, ale na produktivitu nemá vliv.
- Rušivý vliv: Ovlivňuje činnost člověka, klesá u něj produktivita a kvalita práce.
- Škodlivý vliv: Projevuje se na výkonnosti pracovníka, ale hlavně způsobuje trvalé změny lidského organismu.

Hluk se dělí mezi tyto hlavní kritéria:

- Hlasitost
- Výška
- Barva
- Časový průběh
- Rytmičnost
- Umístění zdroje
- Vztah hluku [4]

Tab. 3. Intenzita hluku [4]

Intenzita hluku [dB]	Charakteristika pásma
Kolem 0	Bezzvukovost , která je v přírodě těžko dosažitelná. Na člověka působí epříznivě.
Do 30	Přírodní prostředí , normální hluk vyskytující se v přírodě jako pohyby osob a zvířat, vítr, déšť, listí atp.
30 – 65	Relativní hluk , jeho vliv na člověka závisí na subjektivním hodnocení (nepříjemné zvuky). Dlouhodobě působí rušivě při činnostech, ve kterých se vyskytuje psychická zátěž.
66 – 80	Od této hranice je hluk absolutní , který je škodlivý bez ohledu na individuální postoj člověka. Působí nervové podráždění, ruší duševní soustředění, snižuje kvalitu práce atp.
81 – 95	Působí nepříznivě na sluchové orgány, při dlouhodobé expozici způsobuje hluchnutí .
96 – 110	Je třeba používat osobní ochranné prostředky , způsobuje bolesti hlavy, zvyšuje únavu.
111 – 130	Vnímání začíná vzbuzovat bolest, je nutné nosit 35rotihlukové přilby, poškozuje sluch .
131 – 150	Rychle poškození sluch , vznik závratí a prudkých bolestí.
Nad 150	Způsobuje okamžité ohluchnutí , při vyšších intenzitách a u slabších jedinců smrt.

Vyskytuje-li se pracoviště v nevyhovujících podmínka vzhledem k velmi hlučnému prostředí, je na místě zavést opatření ochrany proti hluku. Těmto opatřením například patří úprava konstrukce strojních zařízení, změna technologie, nebo technická úprava pracoviště. Pokud není možné změnit technologii, je potřeba chránit alespoň pracovníka, a to pomocí ochranných pomůcek, kterými mohou být ušní zátky, sluchátkové chrániče nebo ochranné protihlukové přilby atd. [4][16]

Chvění (vibrace)

Chvěním (vibracemi) rozumíme pohyb pružného tělesa nebo prostředí, které mechanicky kmitá. Při navrhování a provozu techniky, strojů, nástrojů a staveb, aby při jejich užívání nedocházelo k nepříznivému působení vibrací a neovlivňovali tak člověka. Především je důležité, aby se vibrace při kmitočtech 4 až 7 Hz nepřenášeli na člověka, neboť by tato frekvence měla za následek rezonanci částí těla člověka. Negativní vlivy se projevují:

- zvýšenou psychickou a fyzickou únavou,
- změnami funkce nervů ve stěně tepen,
- změnami elasticke pleteně tepen, vaziva šlachový pochev,
- změnami na kostech, kloubních a kostních chrupavkách a změn na kloubech.

Zabránění vibrací je velice problematické prioritní způsob je odstranění zdroje vibrací, pokud tak nelze učinit, je nutno oddálit pracovníka od tohoto zdroje vibrací. Pokud chceme oddálit pracovníka od zdroje je tedy nutné zavést mechanizaci, automatizace, nebo dálkové ovládání atd. Dalšími variantami je vybavit pracovníka ochrannými pomůckami jako jsou antivibrační rukavice, rukojeti, podložky atp. Jako poslední možnost uvádím variantu, kdy je pracovník vystavován těmto vibracím, ale jen po omezenou časovou dobu, tito zaměstnanci se musí podrobovat pravidelným lékařským prohlídkám. Co se týče vlhkosti prostředí, je v optimální oblast pracovní pohody 40 až 60 % vlhkosti vzduchu. [4][28]

Klimatické podmínky

Klimatickými podmínkami se rozumí kvalita ovzduší, ve které zaměstnanec pracuje. Stejně tak, tak je to u ostatních faktorů pracovního prostředí, tak i klimatické podmínky mají vliv na produktivitu pracovníků. Nevyhovující klimatické podmínky se nejdříve projevují narušením pracovní pohody, později dochází k snížení produktivity a v nejhorším případě dochází k ohrožení zdraví v podobě nemocí. [4]

Chceme-li předcházet těmto negativním faktorům, je nutné navrhnout správnou teplotu prostředí pro danou práci, k tomu nám mohou pomoci například následující tabulka č. 5.

Tab. 5. Doporučené hodnoty teploty [4]

Prostor	Teplota °C
Obytné místnosti, kanceláře	18 - 21
Učebny, studovny, společenské místnosti	18 - 22
Umývárny, sprchy, ošetřovny	23 - 25
Chodby, záchody, kuřárny	14 +
Dílny pro jemnou mechaniku, šatny	18 - 20
Truhlárny, modelárny	18 - 20
Obráběcí dílny	17 - 18
Montáže, zámečnické dílny	16 - 17
Manipulace s materiálem	12 - 15
Slévárny, kovárny	10 - 12

Fyzická a psychická zátěž

Zátěž vzniká při činnosti člověka a je definována jako působení faktorů v systému člověk – technika – prostředí. Člověk na tyto faktory reaguje psychofyzilogickými funkcemi a také svým jednáním. Jestliže zátěž naruší pracovní pohodu člověka, nazýváme jej stressor,

který vyjadřuje nadměrnou zátěž organismu. Pracovní zátěž působí buď na fyzickou nebo psychickou stránku. Podle míry působení je můžeme rozdělit do čtyřech stupňů: [4]

- Optimální: faktory jsou v ideálních mezích a umožňují vykonávat bezpečnou pracovní činnost. Tento stav lze nazvat stav v pracovní pohodě.
- Mírná zátěž: člověk pociťuje narušení pracovní pohody v důsledku překročení optimální hodnoty některých faktorů. Tento stupeň nemá vliv na výkon a únavu.
- Velká zátěž: Při tomto stupni faktory výrazně přesahují doporučené hodnoty. Dochází k snížení výkonu a odezvy organismu.
- Nepříjemná zátěž: Dochází k překročení povolených hodnot to má za následek nevratné ohrožení zdraví. [4]

Fyzické zátěže

Zabývá se vlivem pracovních podmínek a pracovního prostředí na lidské zdraví. Patří sem problematika fyzické zátěže, pracovních poloh, manipulace s břemeny, opakované pracovní činnosti, uspořádání pracovního místa, profesionálně podmíněná onemocnění, zejména pohybového aparátu, bezpečnost práce apod. Fyzické zatížení člověka vyplývá z jakékoliv činnosti.[4][31]

Psychická zátěž (Mentální pracovní zátěž)

Díky automatizaci, modernizaci a využíváním výpočetní techniky se snižuje fyzická zátěž na lidi, což se dá požadovat na pozitivní, bohužel však v tomto podání se za cenu snížení fyzické zátěže se platí zvýšením psychické zátěže. [4] Toto ulehčení sebou nesou malou pohybovou aktivitou, která sebou přináší možnou obezitu, cukrovku, cévní onemocnění dolních končetin, bolesti zad a další. [28]

Psychický zátěž se zaměřuje na psychologické aspekty práce. Kognitivní ergonomie tedy zahrnuje paměť, vnímání a uvažování. Zabývá se psychickým stresem, výkonem, interakcí člověka a technika a pracovním stresem. Zdroje a příklady činností, při kterých dané psychické zátěže vznikají jsou uvedeny v tab. 6. [4]

Tab. 6. Zdroje psychické zátěže [4]

Zdroj	Příklad činnosti
1. Množství informací	Velký počet sdělovačů, sledování provozu. Operátor, řidič
2. Nedostatek informací	Minimální až nulový přísun operací, Žádná jiná činnost. Vede k útlumu
3. Monotónnost	Jednoduchá fyzická práce nevyžadující psychické procesy. Pásová výroba
4. Trvalá zátěž (Vigilance)	Nutnost stálé pozornosti. Trvalé sledování sdělovačů. Situace, tvaru atp.
5. Změny informace	Při rychlých změnách podnětů, které je nutno registrovat. Operátor, řidič
6. Nevhodná kódování	Informace jsou nejasné, nezřetelné, nejednoznačné
7. Špatné prostředí	Špatné osvětlení, kouř, mlha, déšť znesnadňující příjem informací. Řidič, operátor
8. Vysoká přesnost	Potřeba vysoké přesnosti při vykonávání práce
9. Zodpovědnost	Nároky na zodpovědnost za hmotné statky nebo lidské životy. Zklamání důvěry
10. Nároky na paměť	Práce vyžaduje zapamatování složitých postupů, uchování množství informací
11. Složitě vyhodnocování	Informace je třeba hodnotit ve vazbách, příliš mnoho variant
12. Obtížná rozhodování	Pro rozhodnutí není dostatek informací, nebo jsou nejasné a nejednoznačné
13. Rizikovitost práce	Je reálné nebezpečí úrazu, onemocnění neb havárie
14. Časový stres	Je nedostatek času na provedení práce, blížící se termín, nemožnost ovlivnit průběh akce
15. Vědomí nedostatků	Pracovní je si vědom svých osobních (fyzických, psychických, kvalifikačních atp.) nedostatků

3.3 Hodnocení ergonomie

V kapitole hodnocení ergonomie jsou definovány pracovní polohy sed a stoj a následně porovnávány. Další podkapitoly řeší pracovní místo, výšky pracovní roviny vzhledem k typu činnosti, pracovní sedadlo a vybavení pracoviště. Následující kapitole je velice důležitá, neboť popisuje a definuje limity a optimální polohy částí lidského těla, jako je trup, hlava a krk, horní končetiny a hodnocení jejich dosahových oblastí. Předposlední podkapitola popisuje dvě metody hodnocení ergonomického stavu, a to kontrolní listy (checklisty) a simulace v softwaru Tecnomatix Jack 9.0 s analýzami OWAS a Low Back Spinal Force Analysis.

3.3.1 Pracovní poloha

Při pracovním činnosti je nejvíce využívána pracovní poloha stoj a sed. Obě polohy bohužel bývají také důvodem ke vzniku různých obtíží a nemocí. Proto je důležité se zabývat tím, jak těmto zdravotním komplikacím v pracovním procesu předcházet. Je nutno zajistit, aby pracovník na pracovišti měl je zajištěné takové podmínky, které neohrožují jeho zdraví. V některých případech lze narazit na práci vleže nebo za chůze. Nejběžněji se setkáme s pracovními pozicemi vsedě a vstoje, proto se jim budu více věnovat. [4, 32]

Sezení je z fyziologického hlediska výhodnější díky menší energetické náročnosti, kterou sed vyžaduje a trvale nezatěžuje dolní končetiny. Přesto má však i stoj své výhody viz. tab. 7. Co se týče nevýhod u polohy stoje jedná se o zdravotní následky, neboť lidské nohy nejsou dimenzovány na trvalé zatížení hmotností těla. Ideální stoj představuje vyduť zakřivení páteře a v krční a bederní oblasti a tělo je vzpřímené. Ideální sed se dosahuje při stejném zakřivení páteře jako u stoje a zároveň stehna svírají s trupem úhel větší než 135°. [4]

Pracovní polohy jsou rozděleny dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Do třech kategorií:

- **Příjemná** – Ideální pracovní poloha, která je určena pro výkon práce.
- **Podmínečně příjemná** – Poloha, která již není ideální a je omezena danými limity. Průměrný limit pro tyto polohy je 160 minut z osmi hodinové pracovní doby. Samotná činnost v dané poloze může být vykonávána 1–8 minut.
- **Nepříjemná** – Poloha, které bychom se měli při práci snažit vyvarovat, pokud to není možné, je povolen limit třiceti minut ze směny. Samotná činnost v dané poloze může být opět vykonávána 1–8 minut. [16]

Tab. 7. Porovnání výhod sedu a stoje [4]

Výhody sedu	Výhody stoje
menší energetická namáhavost	možnost střídání poloh
jemnější a přesnější pohyby	větší dosah končetin
odlehčení nohou	větší síly
využívání činnosti nohou	větší bdělost
větší soustředění	možnost rychlého úniku
při mikro pauzách odpočinek	možnost střídání pracovišť

3.3.2 Pracovní místo

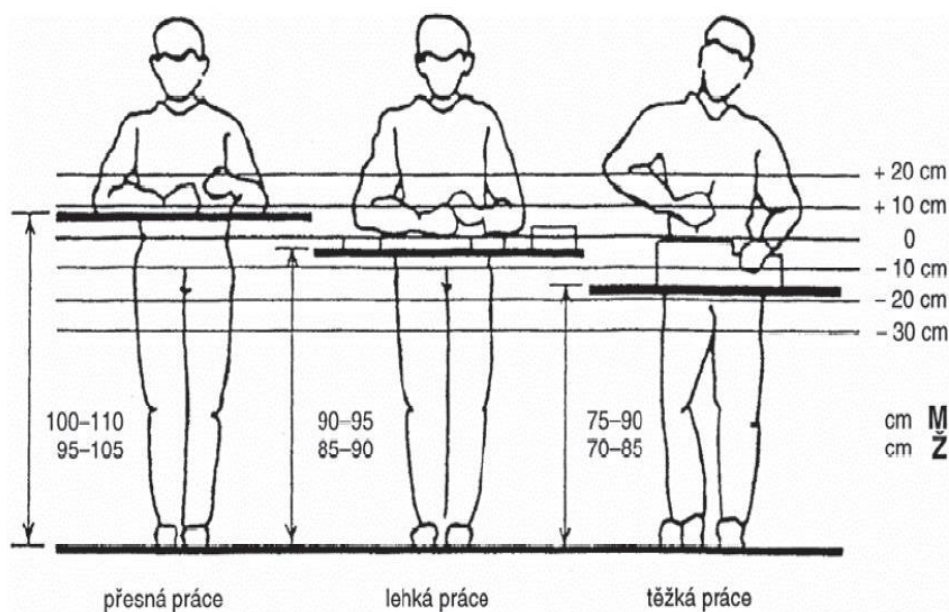
Pracovní rovina

Pracovní rovina se nemusí rovnat výšce pracovního stolu, to nastává například při využívání různých upínacích zařízení, přípravků apod. Je velice důležité stanovit s jakou přesností se na daném pracovišti vykonává činnost a jaké technologie v jakém prostředí se používají.

- Obecně 5 až 10 cm pod úrovní loktů,
- pro vykonávání jemných prací 5 až 10 cm nad úrovní loktů,
- pro manuální práce 10 až 15 cm pod úrovní loktů,
- pro vykonávání těžkých prací 15 až 40 cm pod úrovní loktů. [32]

Pokud se zabýváme návrhem pracovní roviny (stolu) zaměříme se na:

- Konstrukce a rozměry (šířka/výška/hloubka) pracovní roviny/stolu.
- Dle tělesných rozměrů pracovníka, typu předmětu práce (hmotnost, velikost atd.), typu práce (přesnost), použitých technologií, prostředí atd.
- Max. stabilita, nastavitelnost výšky a sklonu, přemístitelnost.
- Možnost přidání držáků, zařízení, zábrany proti padání předmětů a opěrky končetin
- Zaoblené okraje, matný povrch, snadno čistitelný, nenasákavost. [32]



Obrázek 25: Doporučená výška pracovní roviny (v centimetrech) [33]

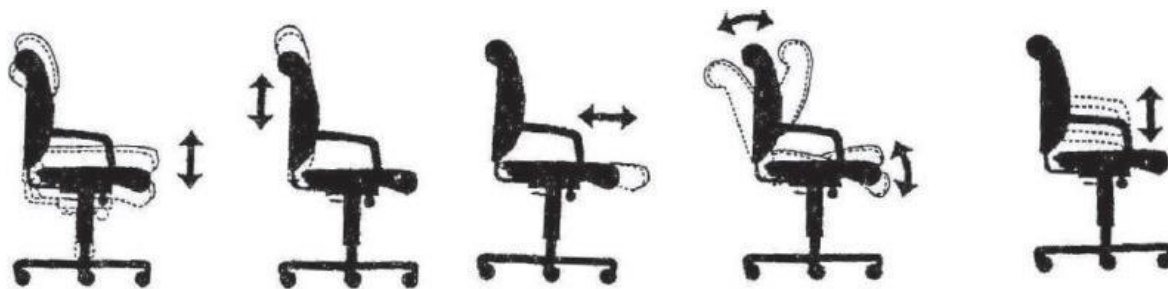
Pracovní sedadlo

Jak bylo výše v části o pracovních polohách uvedeno, je z fyziologického hlediska výhodnější, aby pracovník při své činnosti seděl. [4] Pokud chceme dosáhnout pracovní pohody, je důležité pro pracovníka zvolit vhodné a kvalitní pracovní sedadlo.

Sedadla lze rozdělit do dvou skupin

- Pracovní (na pracoviště)
- Odpočinková (odpočinkový kout)

Co se týče pracovních sedadel, musí tvarem a rozměry vyhovovat tělesným proporcím pracovníka. Každý pracovník má jiné proporce, proto je dobré, aby u pracovišť, kde se střídá obsluha sedadlo umožňovalo nastavitelnost dle potřeby. Nesmí bránit požadovaným pohybům končetin, trupu, hlavy. Musí poskytovat pohodlí použití opěrek zádová, bederní, loketní, šije a hlavy. Zajištění stability v každé poloze, zejména při vstávání a sedání. Podpora jednotlivých částí těla nesmí narušovat cirkulaci krve a dýchání, utlačovat tkáně nebo vést k onemocněním. Používání pracovního sedadla musí umožňovat rovnoměrné rozložení hmotnosti a poskytovat minimální úsilí pro změnu polohy. Sedící a opěrné části by se měli skládat z vhodné tepelné izolace nebo ventilace a poskytovat ochranu před otřesy. V případě, kdy pracovník sedí na sedadle špatné konstrukce je vystavován práci v nevhodných podmínkách. [4, 31, 32]



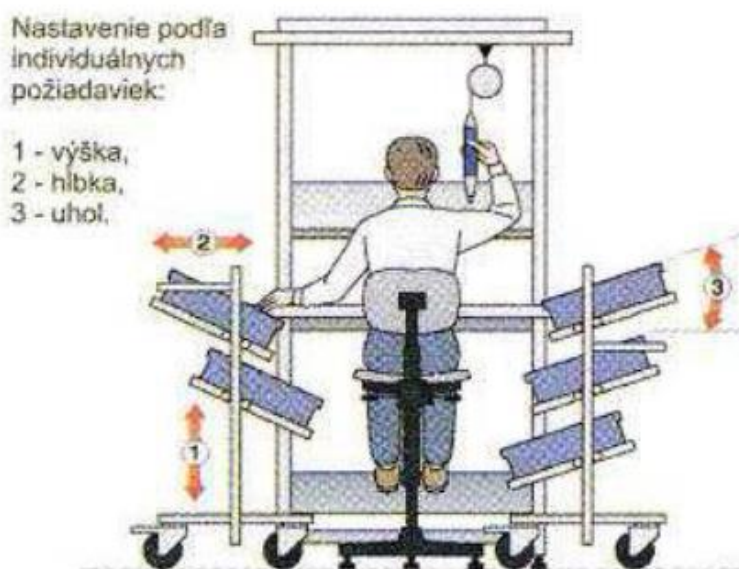
Obrázek 26: Možnosti polohování pracovního sedadla [32]

Vybavení pracoviště

Další velice důležitou součástí ergonomického pracoviště je jeho optimálního uspořádání. Člověk k výkonu své práce často potřebuje další pracovní vybavení v závislosti na dané činnosti, kterou vykonává. Toto dodatečné vybavení a jeho ergonomie mají také vliv a celkovou pohodu pracovníka na pracovišti. Součástí vybavení jsou nástroje, vybavení, přípravky, pomůcky a další pomocná zařízení. [31, 32, 34]

Zásady optimálního uspořádání pracoviště představuje prostor bez překážek, ale zároveň se dává velký zřetel na vzdálenost, kterou pracovník musí absolvovat, aby dosáhl pro určitý objekt. Klade se tedy důraz, aby nebyla prodlužována dráha pohybu. Uspořádání pracoviště umožňující vizuální kontrolu informačních zdrojů o daném objektu či procesu. Vhodné uspořádání ovládacích prvků (ovladače) například páky, tlačítka atd. Jde o zaměření se na jejich vhodnou polohu, který zaručuje snadný přístup a snadný pohyb. Uspořádáním pracoviště a prostředků získáme minimální dosažitelnou fyzickou námahu pracovníka a maximalizujeme efektivnost práce díky snížení časové náročnosti. [34, 35]

Dále je třeba se zaměřit na rozměry pracoviště. Pokud se na pracovišti střídají pouze muži, stanovují se rozměry pracoviště dle předpisů pro muže. Pokud se jedná o pracoviště, na kterém se střídají obě pohlaví přednostně se respektují odlišnosti jejich postavy. Obecně je vhodné vyhovět zaměstnancům s různými rozměry. Ideální variantou je použití stavebnicového pracoviště, které umožňuje přizpůsobení 95 % rozměrů mužů a žen. Případně pracoviště s možností flexibilní změny rozměrů (výšky sedačky, stolu atd.). Komponenty, nářadí, pomůcky musí mít vlastní místo, být umístěny ve správné výšce (pod výškou srdce) a vzdálenosti zároveň v blízkosti a přímo před zaměstnancem v zónách normálního pracovního pohybu. Je důležité se vyvarovat otáčení, natahování atp. čímž zapříčíme redukci námahy a rizika poranění. Pokud pracoviště obsahuje vozík se zásobníky je nutné ho umístit do dosahové zóny při správném úhlu. Vybrat takové tvary zásobníků pro předměty, aby umožňovali jednoduché a rychlé uchopení či vybrání správného objektu. [34, 35]



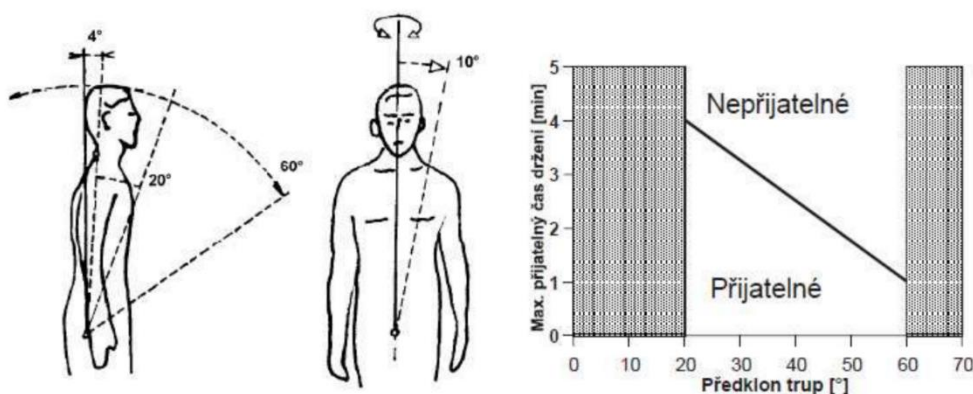
Obrázek 27: Ergonomické uspořádání zásobníků [35]

3.3.3 Pracovní polohy těla dle ergonomických kritérií

Tato část se zabývá jednotlivými částmi těla, jejich limity a optimálními pozicemi převážně dle nařízení vlády č. 361/2007 sb. Nejdříve je specifikován trup, poté hlava a krk, horní končetiny a jejich dosahy co se týče vertikální a horizontální polohy a definovány dosahové zóny do kategorií A, B a C. Dále je definována četnost pohybů za určitý čas v dosahových zónách.

Trup

Při stanovování správné a nesprávné polohy trupu se vychází z polohy sedmého krčního obratle a horní hrany velkého chocholíku páteřního výrůstku, tyto části těla definují neutrální polohu. Úhly pro hodnocení jsou vztaženy k vertikální rovině, která je od roviny procházejícím trupem v neutrální poloze posunuta o 4°. [16]



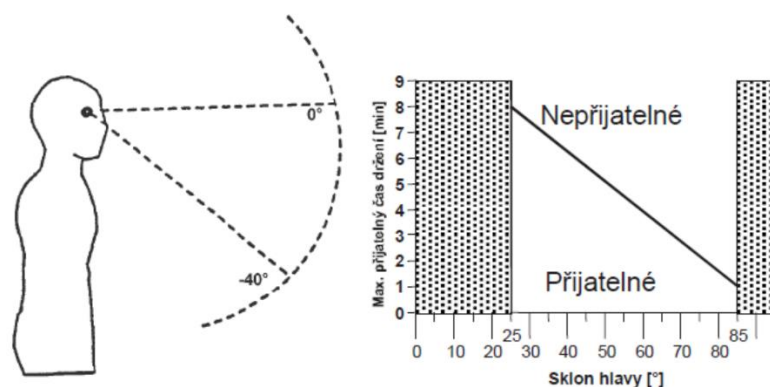
Obrázek 28: Přijatelné a nepřijatelné polohy trupu [16]

Tab. 8. Přijatelnost určitých poloh trupu [16]

Přijatelnost poloh	Statická poloha trupu	Dynamická poloha trupu
Podmíněně přijatelná	Předklon 40 až 60° bez opory trupu	Předklon větší než 60° (při frekvenci pohybů menší než 2/min)
	Záklon trupu s oporou těla	Záklon (při frekvenci pohybů menší než 2/min)
	Úklon či rotace mezi 10 až 20°	Úklon do stran větší než 20° (při frekvenci pohybů menší než 2/min)
Nepřijatelná	Předklon větší než 60°	Předklon větší než 60° (při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min)
	Záklon bez opory celého těla	Záklon (při frekvenci větší nebo rovné 2/min)
	Úklon či pootočení o více než 20°	Úklon či pootočení o více než 20° (při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min)

Hlava, krk

Pro hodnocení polohy krku a hlavy jsou stanoveny dva způsoby. První vychází z úhlu pohledu při neutrální poloze trupu. Druhý vychází z velikosti úhlu sklonu hlavy a krku k vertikální rovině. [16]



Obrázek 29: Přijatelné a nepřijatelné polohy hlavy a krku

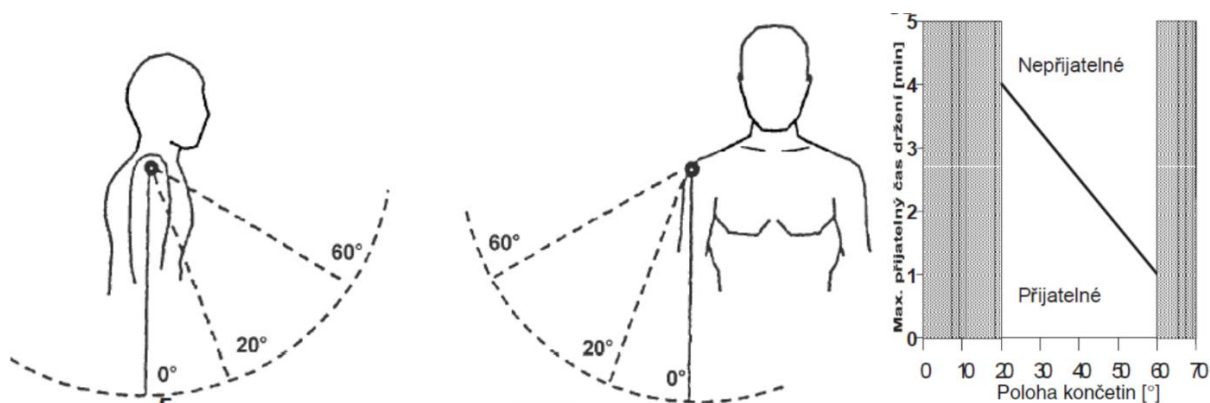
Zdroj: [16]

Tab. 9. Přijatelnost určitých poloh hlavy a krku [16]

Přijatelnost poloh	Statická poloha trupu	Dynamická poloha trupu
Podmíněně přijatelná	Předklon 25 až 40° s podporou celého trupu	Předklon větší než 25° (při frekvenci pohybů menší než 2/min)
		Záklon do 15° (při frekvenci pohybů menší než 2/min)
	Úklon a rotace hlavy do 15° (při frekvenci pohybů menší než 2/min)	
Nepřijatelná	Předklon větší než 25° bez podpory trupu	Předklon větší než 25° (při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min)
	Záklon bez opory celé hlavy	Záklon (při frekvenci větší nebo rovné 2/min)
	Úklon a rotace větší než 15°	Úklon a rotace větší než 15° (při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min)

Horní končetiny

Hodnotíme-li horní končetiny, vycházíme ze dvou bodů, a to vnější části klíční kosti a loketního kloubu. Pro hodnocení polohy vzpažení horní končetiny, definujeme vzpažení jako úhel, který svírá končetina v pracovní poloze vzhledem k neutrální poloze paže. Neutrální poloha paže je definována v poloze, kdy končetina volně visí podél těla. [16]

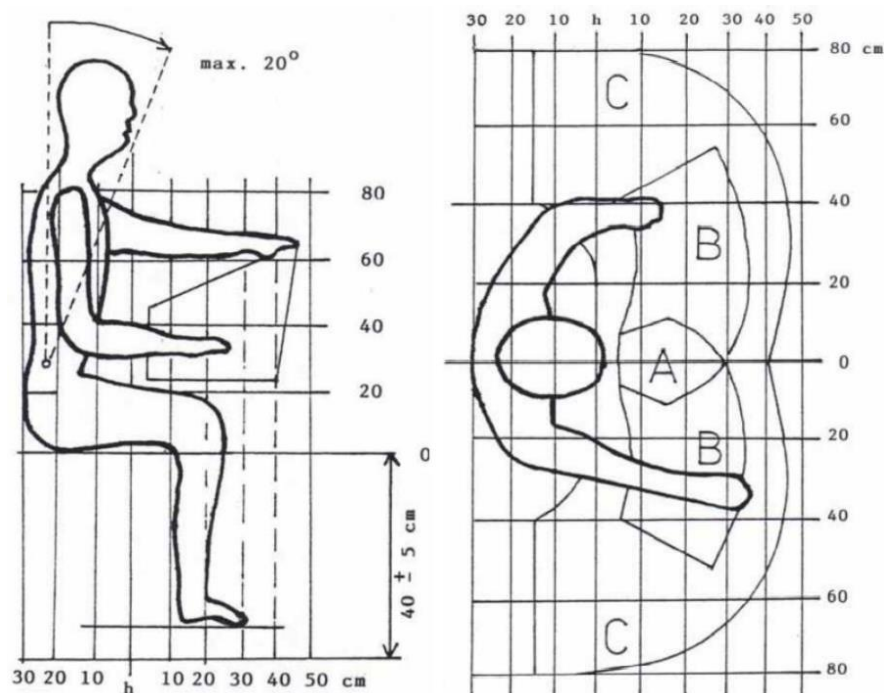


Obrázek 30: Přijatelné a nepřijatelné polohy horních končetin [16]

Tab. 10. Přijatelnost určitých horních končetin [16]

Přijatelnost poloh	Statická poloha trupu	Dynamická poloha trupu
Podmíněně přijatelná	Vzpažení 40 až 60° bez podepření paže	Vzpažení 40 až 60° (při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min) Zapažení při frekvenci pohybů menší než 2/min
		Zapažení (při frekvenci pohybů menší než 2/min)
		Polohy kloubů blížící se maximu (při frekvenci pohybů menší než 2/min)
Nepřijatelná	Předklon větší než 60°	Zapažení (při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min)
	Záklon bez opory celého těla	Vzpažení větší než 60° (při frekvenci pohybu větší nebo rovné 2/min)
	Úklon či pootočení o více než 20°	Polohy kloubů blížící se maximu (při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min)

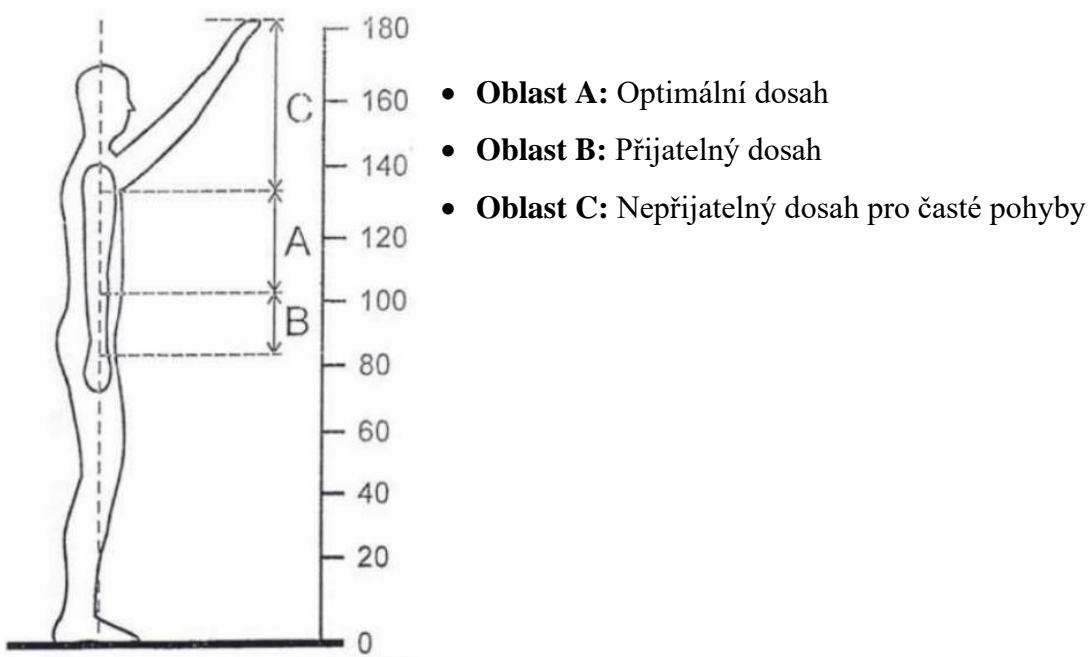
Dosahy



Obrázek 31: Vhodný dosah horních končetin vsedě [16]

Rozdělení oblastí dle užívání:

- **Oblast A:** Optimální prostor, vhodný pro častý a přesný pohyb.
 - Omezen dosahem předloktí, umístění často používaných předmětů
 - Časté a přesné pohyby s velkou rychlostí a silou (20 40x za směnu (8 hodin))
- **Oblast B:** Normální prostor, vhodný pro méně časté pohyby. Nedochází ke změně pracovní polohy (pouze mírné předklony nebo pohyby do stran)
 - Omezen dosahem středu dlaně natažené paže, manipulace bez změny pracovní roviny
 - Umístění málo používaných a těžších předmětů (např. zásobník 50 cm vzdálený)
- **Oblast C:** Maximální dosah, není vhodné pro časté pohyby. Vhodné pro pomalé a výjimečné pohyby, dochází k pohybu trupu.
 - Omezen dosahem konečků prstů natažené paže s náklonem těla do 15°, otáčení trupu
 - Méně časté a pomalejší pohyby, umístění předmětů se zvýšeným rizikem BOZP [16, 35]



Obrázek 32: Dosahy horních končetin ve svislé rovině vstoje [16]

3.3.4 Metody pro hodnocení ergonomického stavu

Metod pro hodnocení ergonomického stavu pracoviště a pracovníka existuje velké množství a s širokým sortimentem specializace na jednotlivé faktory. Pro mé hodnocení postačí tyto dvě hlavní metody hodnocení. Podkapitolo obsahuje shrnutí kontrolních listů a popisuje variantu ergonomického hodnocení pomocí simulace v softwaru Tecnomatix Jack 9.0. Dále jsou specifikovány dvě hlavní analýzy tohoto softwaru a to OWAS a Low back Spinal Force Analysis.

Kontrolní listy

V rámci získávání potřebných a zejména rychlých informací v rámci řešené problematiky se doporučuje používat kontrolní listy (Checklisty), které jsou ve svém principu jednoduchým, určeným i laikům. Je lepší ale shromáždit skupinu kvalifikovaných lidí, kteří se na vyplnění podílí. [35, 36]

Ergonomická rizika jsou hodnocena pomocí kontrolních listů. V některých publikacích jsou tyto listy označovány jako checklisty. Kontrolní listy mohou být univerzálnější a lze je použít pro více aplikací. Na druhou stranu mohou obsahovat mnoho kritérií, která ani nemusíme aplikovat. Snížení hodnotících parametrů zlepšuje přehlednost a lépe vystihuje typ pracoviště. Proto existují lepší kontrolní seznamy, které se specializují na určitou skupinu

a které poskytují údaje nezbytné k posouzení rizik. Specializované kontrolních listy dokážou posuzovat konkrétní části těla. [36]

Simulace v softwaru Tecnomatix Jack 9.0

Tecnomatix Jack je software zaměřený na ergonomii a lidský faktor. Tento software umožňuje uživateli umístit do virtuálního prostředí vše co je vymodelováno v jiných softwarech od předmětů po celé pracoviště. Hlavně dokáže vygenerovat přesný biomechanický model člověka, dle specifikací, které se dají jednoduše stanovit. Tomuto modelu se dále dají přiřadit úkoly a sledovat jeho výkonnost. Lidské modely odpovídají na klasické otázky, co vidí, kam dosáhnou a jestli nejsou přetěžováni.

Tento software poskytuje mnoho druhu analýz, analyzující různé faktory pracujícího modelu. Pro mé pracoviště montáže budu používat následující dvě analýzy

- Working Posture – analýza OWAS slouží rychlou kontrolu pracovního postoje. Vyhodnocuje relativní diskomfort pracovní pozice založený na pozici zad, rukou a nohou a míře zatížení.
- Low Back Spinal Force Analysis – analýza síly působící na páteř a bederní část zad virtuálního modelu při různých postojích a pod různým zatížením.

OWAS (Ovako Work Posture Analysis Systém) je metoda určující nezdravé pracovní pohyby při vykonávání činností zadaných do programu. Analýza se zaměřuje na svalové poškození. Analýza OWAS lze použít při návrhu pracoviště například právě v programu Jack.

OWAS analýza rozlišuje 4 základní druhy pozic:

Tab. 11. Čtyři základní výsledky analýzy OWAS

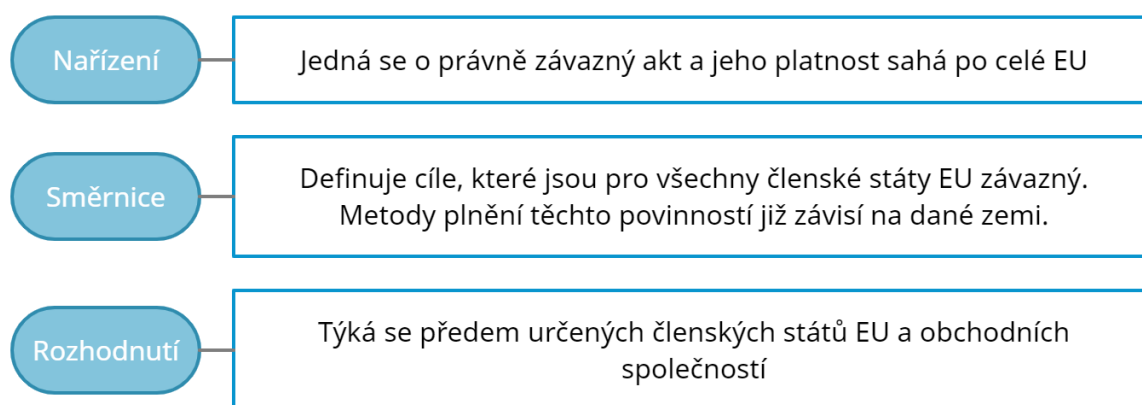
Úroveň	Popis
1	Pozice normální, žádný zásah není potřebný
2	Poloha může mít škodlivý efekt na tělo, nejsou vyžadovány žádné okamžité zásahy
3	Poloha má škodlivý efekt, opravné zásahy jsou vyžadovány co nejdříve
4	Poloha má velice škodlivý dopady na tělo, zásah je okamžitě vyžadován

3.4 Legislativa ergonomie

Poslední kapitola a také velice důležitá shrnuje důležitou legislativu EU a ČR co se týče bezpečnosti na pracovišti a ergonomických požadavků. V úvodu je čtenář uveden do základní právní aktů EU a poté jsou shrnuty vybrané důležité směrnice. Následně je shrnuta důležitá legislativa ČR a to zákony a nařízení vlády, kde je nejdůležitější nařízení vlády č. 361/2007 sb. Kapitola je uzavřena zásadními normami zohledňující ergonomii pracovišť a zařízení.

3.4.1 Legislativa EU

V Evropské unii se rozlišuje několik právních aktů. Některé z nich mají právní závaznost, jiné nikoli. Některé se týkají všech zemí Unie, jiné jen některých.



Obrázek: 33 Legislativa EU, právní akty [9]

3.4.2 Zásadní směrnice vztahující se k montážnímu pracovišti

Jednotlivé směrnice jsou velice rozsáhle a specifické, tato kapitola se tedy bude se tedy zaměřovat převážně na informace, které jsou přínosné pro téma bakalářské práce.

Jak je již zmíněno v obr. 00, směrnice definuje cíle, které jsou pro všechny členské státy EU závazné. Jakými metodami jednotlivé státy budou tyto povinnosti vykonávat, je již jen na dané zemi.

Rámcová směrnice 89/391/EHS o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci

Rámcová směrnice 89/391/EHS o zavádění opatření pro zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců při práci. V rámci Evropské unie stanovuje nejnižší možné opatření pro zachování bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Jednotlivé členské země mohou tyto požadavky přijmout nebo zavést přísnější variantu. Směrnice ze dne 12. června 1989.

Obecná ustanovení a oblast působnosti:

- Zabezpečení rovnocenné míry ochrany zdraví všech pracovníků podle přijatých preventivních opatření
- Zohlednění technické bezpečnosti a všeobecnou prevenci poškození zdraví
- Hodnocení a identifikace rizik, jejich náprava, dokumentace a přehodnocování
- Zaměstnavatelé povinni přijmout náležitá preventivní opatření, aby práce byla bezpečnější a zdravější.
- Informování a školení zaměstnanců [10]

Směrnice Rady 90/269/EHS, ruční manipulaci s břemeny

Směrnice říká, je-li potřeba ruční manipulace zaměstnanců s břemeny nevyhnutelná, musí zaměstnavatel učinit příslušná organizační opatření, použít patřičných prostředků nebo poskytnout zaměstnancům takové prostředky, aby omezil riziko poškození zdraví při ruční manipulaci s těmito břemeny. Dále směrnice Rady 90/269/EHS ze dne 29. května 1990 stanovuje minimální požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro ruční manipulaci s břemeny spojenou s rizikem, zejména poškození páteře, pro zaměstnance. Ruční manipulací se rozumí jakékoliv přepravování, nošením, zvedání, sunutí či tahání.

Povinnosti zaměstnavatelů:

- Omezit ruční manipulaci s břemeny nahrazením vhodnými opatřeními a prostředky
- Jestliže ruční práce nelze nahradit, předejít poškození zdraví a přístupu k patřičným prostředkům.
- Informovanost o hmotnosti břemene
- Informování a školení zaměstnanců
- Ergonomická organizace pracoviště, aby ruční manipulace byla pro zaměstnance co nejvíce ergonomicky pohodlná a neohrožovala jejich zdraví
- Tam, kde je potřeba ruční manipulace zaměstnanců s břemeny nevyhnutelná je nutné zajistit nejbezpečnější proces.
- Vyhodnotit zdravotní a bezpečnostní rizika [11]

3.4.3 Zásadní legislativa ČR

Jednotlivé nařízení vlády a zákony jsou velice rozsáhlé a pokrývají velké množství zaměstnáním, druhů výroby manipulace s různými stroji a nástroji v různých odvětví. Proto řešerši na legislativu v ČR budu směřovat na informace spjaté s montážními pracovišti a na jejich obsluhu.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Toto nařízení vlády stanovuje minimální opatření k ochraně zdraví při práci. Zabývá se rizikovými faktory, jejich členěním a hodnocením. Přijatelné a nepřijatelné pracovní polohy, rozměry pracovní roviny, pracovního místa a jeho požadavky. Vymezuje celkové a lokální svalové zátěže, biologické činitele, psychickou zátěž. Mapuje bližší hygienické požadavky na mikroklimatické podmínky na pracovišti, jako větrání pracovišť a nucené větrání, vytápění. Dále osvětlení pracoviště, rozměry pracovní roviny, pracovního místa a požadavky na ovladače, sanitární zařízení, práce s chemikáliemi, prach a jejich hygienické limity a postup při jejich stanovení. Hodnocení pracovních poloh trupu, krku, hlavy, horních a dolních končetin v pracovních a neutrálních polohách. Dosahy horních končetin v různých rovinách. [16]

Nařízení vlády č. 101/2005 Sb.

Toto nařízení zahrnuje příslušné předpisy Evropských společenství a upravuje další požadavky na zajištění bezpečnosti práce a pracovního prostředí.

Pracoviště musí být po dobu provozu udržována potřebnými technickými a organizačními opatřeními, splňujícími požadavky tohoto nařízení, ve stavu, který neohrožuje bezpečnost a zdraví osob. Stanovení obsahu a způsobu vedení provozní dokumentace a záznamů o vybavení pracoviště a určení osoby odpovědné za jejich vedení. Náležitě a bezpečně upevnění technického vybavení pracoviště a výrobních a pracovních prostředků a zařízení a jejich částí tak, aby nemohlo dojít k jejich nežádoucímu (nechtěnému) pohybu. Zaměstnavatel se musí postarat o zaškolení pracovního personálu. [17]

Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. O technických požadavcích na strojní zařízení

Toto nařízení zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje technické požadavky na strojní zařízení.

Strojní zařízení musí splňovat základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnosti v souvislosti s ochranou životního prostředí, dále musí splňovat české a evropské normy. Musí obsahovat informace jako jsou návody, kdy a co kontrolovat, udržovat atd. Specifikuje základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnosti vůči návrhu a konstrukci strojních zařízení. Požaduje osvětlení strojních zařízení a zajištění vyhovujícího stanoviště obsluhy, sedadla, ovládacích systémů, zařízení a dalších požadavků pro zajištění bezpečné činnosti.

Se zaměřením na ergonomii strojních zařízení, nepohodlí, únava a fyzická a duševní zátěž na obsluhu musí být omezeny na minimum s přihlédnutím k následujícím ergonomickým zásadám:

- Umožnit přizpůsobení velikosti těla, síle a vytrvalosti obsluhy
- Poskytnout dostatečný prostor pro pohyb všech částí těla obsluhy
- Vyhnout se pracovní rychlosti udávané strojem
- Vyhnout se kontrolním činnostem, které vyžadují dlouhou pozornost
- Přizpůsobení rozhraní člověk-stroj předvídatelným vlastnostem obsluhy [18]

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Stanovuje hodnocení rizik hluku, vibrací a dalších fyzikálních faktorů.

Hodnocení rizika hluk

Nařízení vlády se zabývá hlukem na pracovišti a definuje hygienický limit ustáleného a proměnného hluku pro jednotlivá pracoviště:

- Pro pracoviště, kde se provádí práce vyžadující pozornost a soustředěním a pracoviště věnované tvůrčí práci je ekvivalentní hladinou akustického tlaku 50 dB.
- Pracoviště ve stavbách pro výrobu a skladování je vyjádřená ekvivalentní hladina akustického tlaku 70 dB.

Minimální rozsah opatření k omezení expozice hluku

Jestliže je překročen přípustný expoziční limit 85 dB, musí zaměstnavatel zajistit, aby osobní ochranné pracovní prostředky zaměstnanci používali. Pokud vyhodnocení naměřených hodnot ukáže, že ekvivalentní hladina hluku specifikovaná pro osmihodinovou směnu přesahuje přípustný expoziční limit 80 dB navzdory použitým opatřením proti hluku nebo snížení, musí zaměstnavatel poskytnout zaměstnancům osobní ochranné prostředky.

Hodnocení rizika vibrací a opatření k ochraně zdraví

Dále se nařízení vlády zabývá vibracemi na pracovišti a přípustným expozičním limitům vibrací.

Zaměstnavatel provádí hodnocení rizik na základě znalostí údajů o očekávané expozici vibracím a podmínkách používání zařízení stanovených výrobcem. Hodnocení a měření vibrací

se provádí pravidelně a za měnících se provozních podmínek. Pokud je zaměstnanec při práci vystaven vibracím, které překračují mezní hodnotu nebo hygienický limit, musí být zařazeny bezpečnostní přestávky během směny. Po dobu bezpečnostní přestávky nesmí být zaměstnanec exponován vibracím překračujícím přípustný expoziční nebo hygienický limit. Vládní nařízení definuje metody měření a hodnocení hluku a vibrací. [22]

Zákon č. 262/2006 Sb. Zákoník práce v platném znění.

Zákon definuje základní podmínky výkonu práce a jsou do nich zahrnuty i požadavky na bezpečnost a ochrany zdraví při práci. Podrobně rozebírá přestávky v práci a doby odpočinku. Z pohledu psychické zátěže se zabývá a definuje limity u práce přesčas, noční práce stanovuje pracovní dobu a dny pracovního klidu. Dále zákon stanovuje povinnost zaměstnavatele provádět identifikaci, hodnocení a prevenci rizik, které jsou základním předpokladem k zajištění bezpečnosti a mohly by vést k nebezpečným situacím. Důležité je zpracování těchto dat kvůli hodnocení nových faktorů a následné odstranění všech nedostatků. Jestliže daná rizika nelze odstranit, je povinnost zaměstnavatele poskytování ochranných pomůcek. Zaměstnavatel nesmí vystavovat zaměstnance nebezpečím, která by neodpovídala jeho kvalifikaci. [19]

Zákon č. 309/2006 Sb.

Zákon upravující další požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při práci a na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci nebo poskytování služeb mimo zaměstnání. Zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje v návaznosti na zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce.

Zákon definuje požadavky na pracoviště a pracovní prostředí na stanovišti, výrobní a pracovní prostředky a zařízení, organizaci práce a pracovní postupy, bezpečnostní značky, značení a signály. Dále se zabývá předcházením ohrožení života a zdraví, rizikovými faktory pracovních podmínek a kontrolám. Zákon zakazuje výkony některých prací, jako je práce s azbestem. Zaměstnavatel je povinen zajišťovat a provádět úkoly v hodnocení a prevenci rizik možného ohrožení života nebo zdraví zaměstnance. [20]

Zákon č. 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví

Z tohoto zákona je pro mou řešerši důležitá kategorizace práce. Práce je rozdělena do čtyř kategorií podle míry výskytu faktorů, které mohou ovlivnit zdraví zaměstnanců a jejich zdravotní riziko. Kritéria, faktory a omezení pro kategorizaci děl jsou stanovena v prováděcích právních předpis. Posouzení rizik a minimální ochranná opatření stanoví zvláštní právní předpisy. Od 1. kategorie, tedy takové práce, u kterých podle současného poznání není pravděpodobný nepříznivý vliv na zdraví až do 4. kategorie, kde je nepříznivý vliv na zdraví pravděpodobný i přes používání ochranných pomůcek. O zařazení prací do kategorií 1 a 2 rozhoduje zaměstnavatel, do kategorií 3 a 4 pak příslušný orgán ochrany veřejného zdraví. Třetí a čtvrtá kategorie se stanovuje při nebezpečí vzniku nemoci z povolání nebo jiné nemoci spojené s vykonáváním práce. [21]

3.4.4 Zásadní normy zohledňující ergonomii pracovišť a zařízení

V této kapitole se zaměřuji na normy, které jsou uplatňovány jako všeobecné zásady a zohledňují ergonomické zásady při projektování pracovišť a pracovních strojů.

ČSN EN ISO 26800 (83 3512) Ergonomie, obecný přístup, zásady a pojmy

Tato mezinárodní norma stanovuje obecný přístup a základní ergonomické zásady a koncepty. Tyto principy a koncepty se aplikují na konstrukci a hodnocení úkolů, zaměstnání, výrobky, nástroje, zařízení, systémy, organizaci, služby, vybavení a prostředí za účelem dosažení kompatibility s charakteristikami, potřebami a hodnotami. Opatření a pokyny obsažené v této mezinárodní normě mají zlepšit bezpečnost, výkon, účinnost, spolehlivost, dostupnost a udržitelnost výsledné konstrukce během jejího životního cyklu a zajišťuje tak bezpečnost a zlepšení zdraví a pohody. [23]

ČSN ISO 6385 (83 3510) – Ergonomické zásady pro navrhování pracovních systémů

Stanovuje základní ergonomické zásady pro navrhování pracovních systémů. Ergonomické zásady obsažené v této normě se týkají navrhování optimálních pracovních podmínek z hlediska pracovní pohody, bezpečnosti a zdraví člověka při práci s ohledem na výrobní a ekonomickou efektivitu práce. Norma definuje Pracovní systém, úkol, zařízení, proces, prostor, prostředí, zátěž, námaha a únavu. [26]

ČSN ISO 1503 (83 3508) – Prostorová orientace a směr pohybu a ergonomické požadavky

Tato mezinárodní norma stanoví zásady, postupy, požadavky a doporučení pro prostorové orientaci a směr pohybu ovladačů a sdělovačů používaných na strojních zařízeních, průmyslových robotech, kancelářských strojích a jiných zařízeních. Dále popisuje ergonomický návrh uživatelského rozhraní, požadavky a doporučení pro návrh rozhraní člověk-stroj. [27]

4 Analýza současného stavu montážního pracoviště

Následující kapitola popisuje analýzu současného stavu montážního pracoviště ve firmě. Zabývá se konkrétními poznatky a aplikováním uvedených teoretických informací do praxe. Tato analýza je podkladem pro další část práce zabývající se optimalizací montážního pracoviště. V první části kapitoly je popsána společnost SOPO s.r.o., čím se zabývá apod. Dále je rozebírána analýza současného stavu montážního místa, kde je graficky ukázané stávající pracoviště a popsáný pracovní proces na tomto místě probíhající. Je zde zaměření na konkrétní předmět montáže, jednotlivé komponenty a také zaznamenané časové náklady na jednotlivé operace montáže.

Předmět montáže a montážní postup, v části následující je analyzováno současné pracoviště z hlediska uspořádání a ergonomie.

Společnost SOPO s.r.o.

Společnost SOPO s.r.o. se již více než 27 let zabývá navíjením a výrobou statorů a rotorů různých velikostí do všech typů elektromotorů. Tato výroba probíhá v malých, středních i velkých sériích. Firma se od ostatních velmi liší tím, že umožňuje splnit jakékoli požadavky zákazníků v té nejvyšší kvalitě, krátkých termínech a za výhodnou cenu. Tohoto všeho je schopná dosáhnout díky úzké specializaci na oblast navíjení, za využití nejmodernějších technologií, vybavení a odborné způsobilosti svých zaměstnanců.



Obrázek 34: Areál SOPO s.r.o. [Zdroj: SOPO s.r.o.]

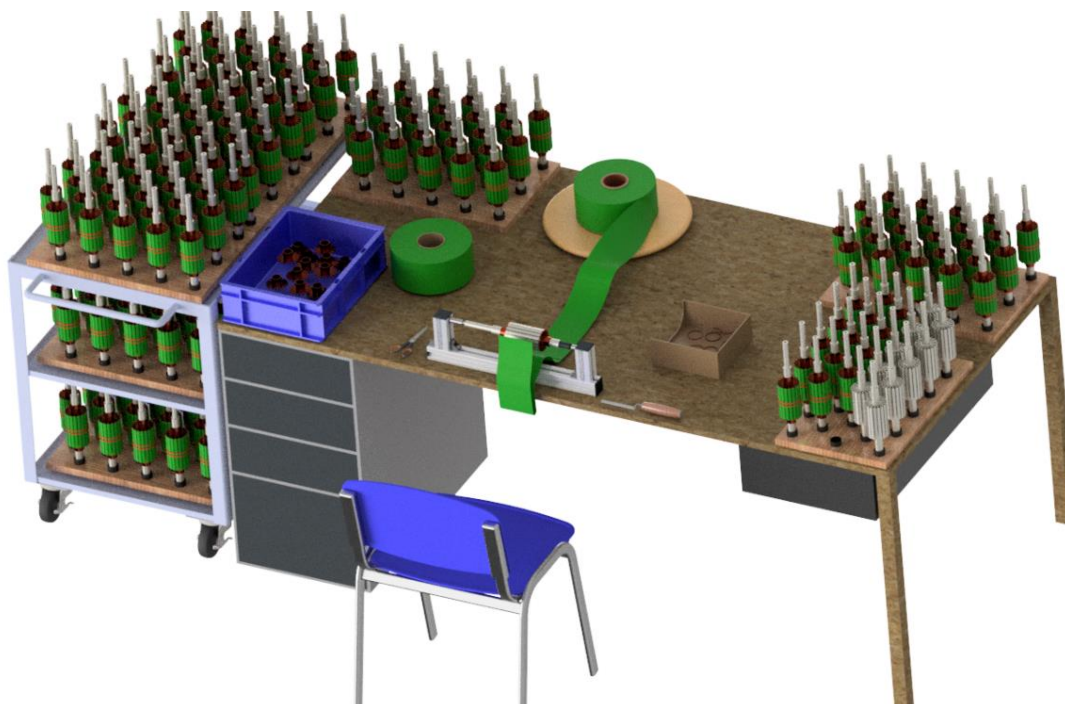
4.1 Charakteristika stávající montážní pracoviště izolace rotorů

Tato kapitola se zabývá současným stavem konkrétního montážního pracoviště. Je zobrazeno, jak současné pracoviště vypadá, jaký pracovní proces na něm probíhá a jaké operace jsou k tomu potřebné. Následně je stanovena časová spotřeba jednotlivých operací a součástková základna montovaného kompletu. Dále je zde zaměřeno na nástroje, které jsou na pracovišti využívány.

Firma v současné době používá stacionární montážní pracoviště, které obsluhuje jeden operátor montáže. Reálnou fotku z místa stávajícího pracoviště lze vidět viz. obr. 36 Model stávajícího pracoviště lze vidět viz. obr. 37.

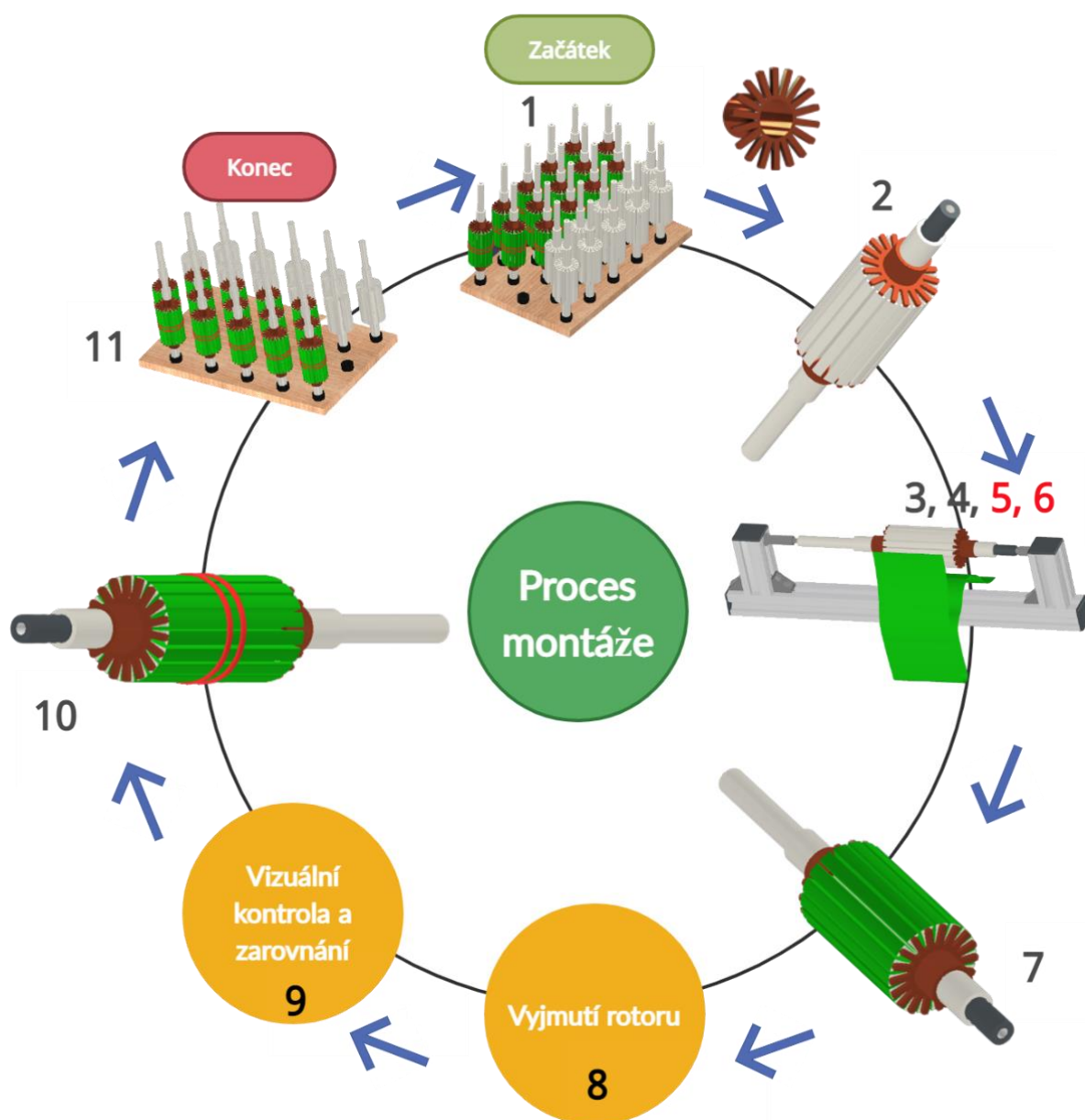


Obrázek 36: Stávající pracoviště montáže [Zdroj: SOPO s.r.o.]



Obrázek 37: Model stávajícího pracoviště montáže

Montážní proces začíná dopravou rotorů na zobrazené pracoviště. Pracovník montáže poté vyjme rotor určený k montáži a nasadí na něj dvě izolační koncovky. Následně rotor upne do upínacího přípravku, kde začne hlavní proces izolace. Ten spočívá v zavádění izolačního papíru do jednotlivých spár za pomoci zajišťujícího nástroje. Po procesu izolace je izolační papír zastřižen, vyjmut z upínacího přípravku, zajištěn pomocí gumičky a přesunut do držáku izolovaných rotorů. Tento proces montáže je graficky znázorněn na obrázku č. 38. Jednotlivé operace s časovými daty jsou uvedeny v tab. 12.



Obrázek 38: Graficky zobrazený stávající montážní postup

Jak se již zmiňuje výše, zde jsou podrobně zobrazeny jednotlivé operace montážního postupu s časovými daty, které jsou uvedeny v tab. 12. Červenou barvou je zvýrazněná hlavní operace neboli operace, které pracovník věnuje nejvíce času.

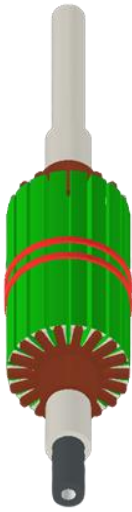




Tab. 12. Montážní postup

Č.	Činnosti operátora	Nástroj	Čas [s]
1	Vyjmutí rotoru z přepravky	-	5
2	Zavedení 2 izolačních koncovek	-	10
3	Upnutí do přípravku	-	5
4	Příprava izolačního papíru	-	10
5	(Série opakování 18x) Zajištění papíru pomocí nástroje	Zajišťující nástroj	270
6	(Série opakování 18x) Ruční zavedení papíru do spáry	-	
7	Ustřížení papíru	Nůžky	5
8	Vyjmutí rotoru	-	5
9	Zarovnání a vizuální kontrola	-	5
10	Gumička, 2x zamotaná	-	5
11	Umístění rotoru do přepravky.	-	5
Celkem			325

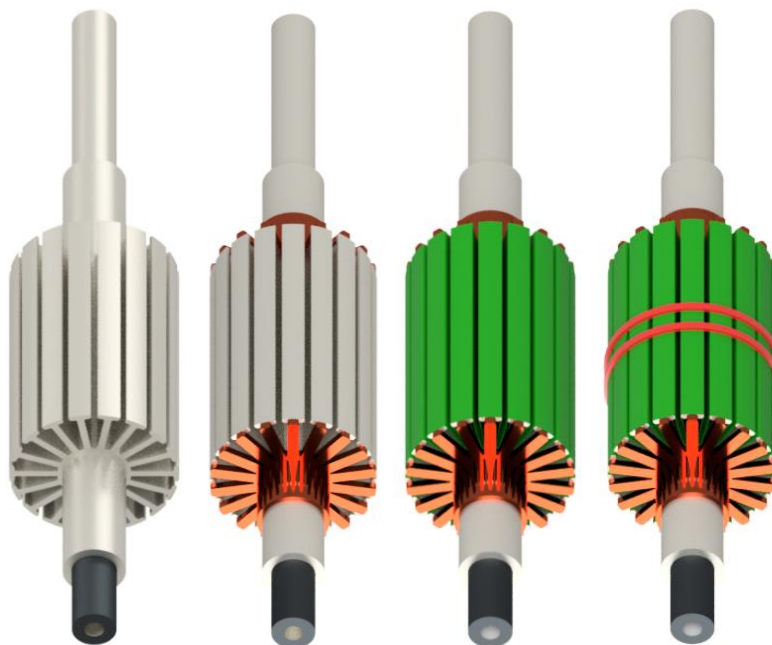
Analýza předmětu montáže

Jak již bylo řečeno, předmětem montáže je izolace rotoru. Prvním krokem pro analýzu předmětu montáže je určení součástkové základny. Model rotoru elektromotoru a seznam montovaných komponent lze vidět v tab. 13.

Tab. 13. Model statoru a součástková základna

Model	Název	Počet kusů	Náhled
	Rotor	1	
	Izolační koncovky	2	
	Izolační papír	1	
	Gumičky	1	

Veškerá montáž je prováděna ručně, stejně tak i manipulace s materiálem. Při montáži využívá operátor běžné nůžky k zastřížení izolačního papíru a speciální zajišťovací nástroj pro upevnění izolačního papíru v předchozí spáře rotoru tak, aby zamezil pohybu izolačního papíru. Rotor je upevněn a zajištěn v přípravku. Celkový proces montáže lze zobrazit ve čtyřech hlavních fázích montáže viz obr. 39.



Obrázek 39 – Rotor Start – Finish ve čtyřech hlavních fázích

Operace, jako je zavádění izolačního papíru do spáry a jeho následné oddělení, vyžaduje využití konkrétních nástrojů. Dále je tedy probíráno toto téma.

Analýza nástrojů používaných při montáži

Hlavním úkolem při montáži, specificky při zavedení izolačního papíru do jedné spáry rotoru, je nutnost zajištění izolačního papíru v této spáře tak, aby se během jeho vkládání do následující spáry zamezilo možnosti opětovného a zcela nežádoucího vyjmutí ze spáry předchozí. Model tohoto „zajišťujícího nástroje“ lze vidět viz. obr. 40.



Obrázek 40: „zajišťující nástroj“

Dalším nástrojem jsou nůžky, po sérii (18 krát) opakovaného zasouvání izolačního papíru do spár je nutné papír oddělit, k tomu operátor používá klasické kancelářské nůžky viz. obr. 41.

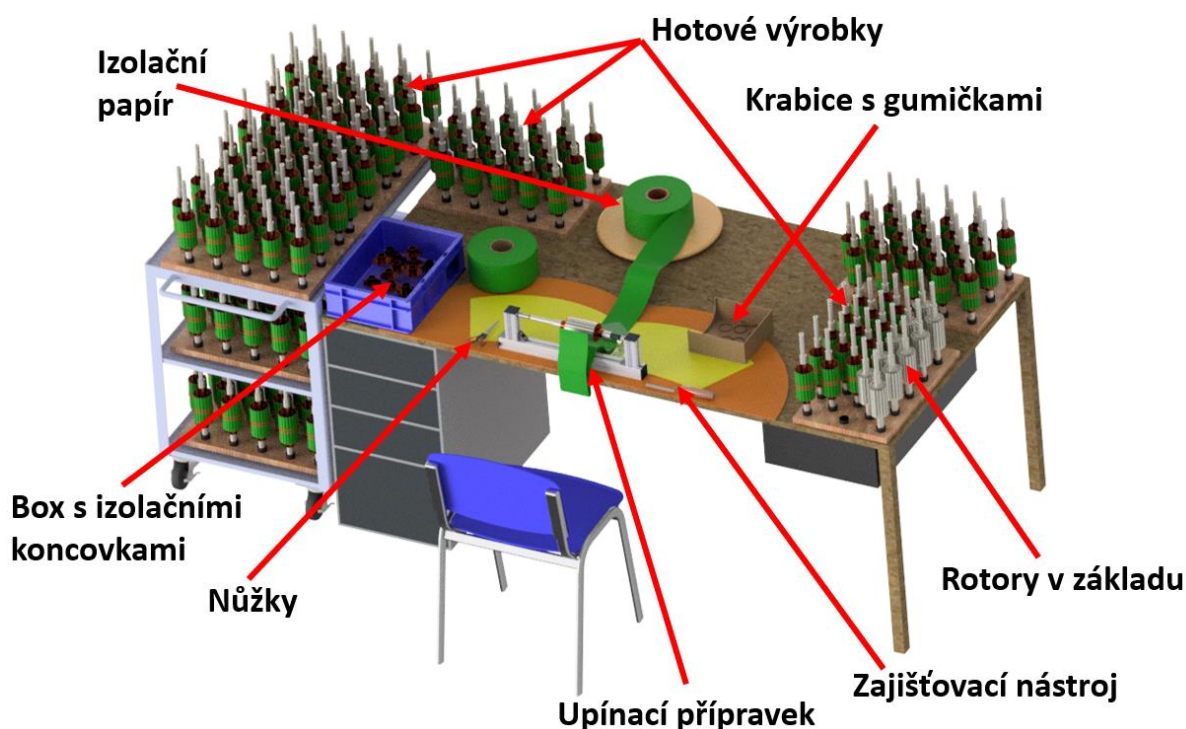


Obrázek 41: nůžky

V této kapitole se čtenáři seznámí se stávajícím stavem montážního pracoviště izolace rotorů. Je zde zaměřeno na vzhled a rozmístění pracoviště jako takového. Dále je rozebírán montážní postup izolace rotoru a analyzována časová spotřeba jednotlivých operací. Pomocí součástkové základny jsou analyzovány potřebné komponenty pro zkompletování montovaného objektu. V poslední části jsou popsány používané nástroje a vysvětlení jejich funkcí.

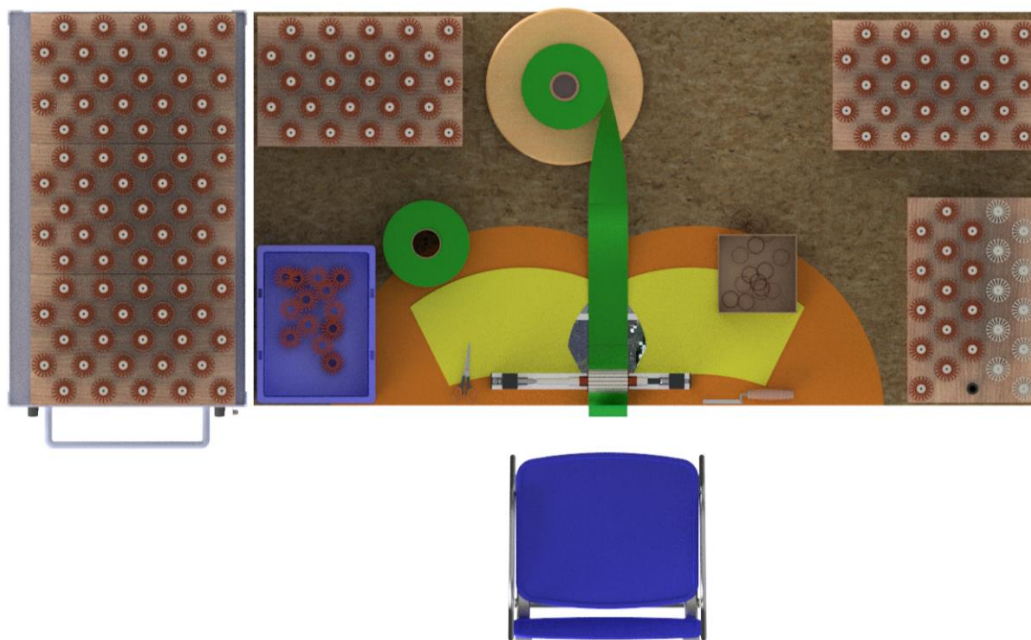
4.2 Analýza pracoviště

V této kapitole probíhá analýza pracoviště z pohledu ergonomických nedostatků. Zaměřuje se na dosahové zóny, zda jsou všechny předměty potřebné k montáži ve vhodné vzdálenosti od pracovníka a pracovní polohy operátora. Dále se analýza pracoviště zabývá simulací jednotlivých poloh a pohybů pracovníka pomocí softwaru Jack.



Obrázek 42: Současné rozložení pracoviště – popis

Na obrázku č. 42 jsou popsány předměty související s montáží rotoru, jedná se o hotové výrobky, krabice s gumičkami, box s izolačními koncovkami, nůžky, upínací přípravek, zajišťovací nástroj a rotory v neupraveném stavu. Dále jsou do obrázku č. 42 dosazené dosahové zóny horních končetin člověka dle nařízení vlády č. 361/2007 sb.



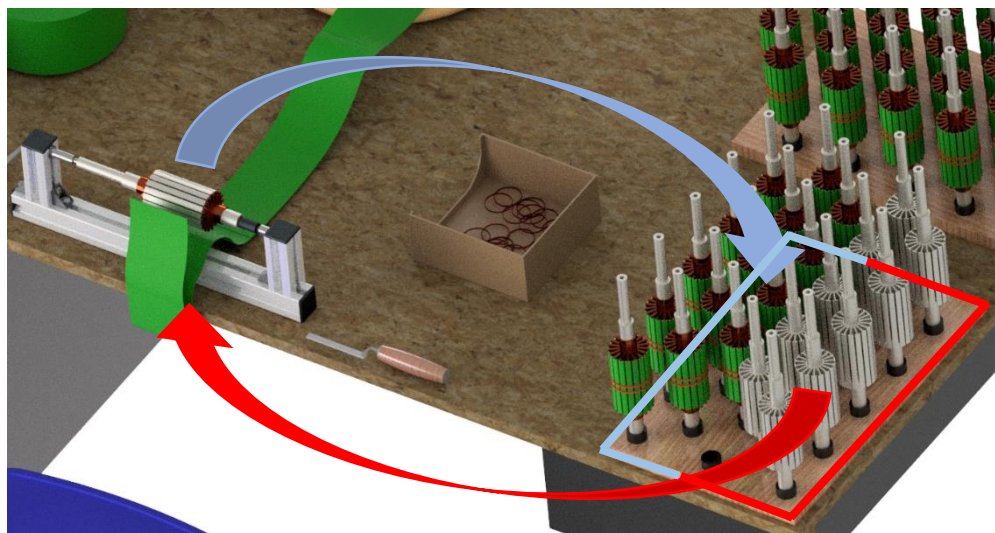
Obrázek 43: Současné rozložení pracoviště – dosahové oblasti

Z obrázku 42, 43 a pomocí simulace ze softwaru Tecnomatix Jack 9.0 je zjištěno, že některé objekty na pracovišti nesplňují ergonomické požadavky, že by bylo možné stávající pracovní místo optimalizovat a tím zvýšit efektivitu montáže. Vhodnost či nevhodnost uložení a využití předmětů na pracovišti je popsáno v tabulce č. 14.

Tab. 14. Předmětová základna s poznámkami

č.	Předmět	Poznámka
1	Izolační papír	Mimo dosahové zóny, při výměně těžko přístupné
2	Izolační papír (zásoba)	Není zde potřeba
3	Prkno s hotovými výrobky	Mimo dosahové zóny, neuspořádanost
4	Přeppravka s gumičkami	Nevhodný tvar přepravky, nevhodný úhel zápěstí
5	Nástroj: Nůžky	OK
6	Nástroj: Zajišťující nástroj	Časté používání, nástroj by bylo vhodné nahradit přípravkem
7	Box s izolačními koncovkami	Umístění na pokraji vhodnosti, zlepšit
8	Upínací přípravek	OK
9	Přepravka s rotory v základu	Mimo dosahové zóny

Dosahové zóny jsou kriticky nedostačující co se týče operací vyjmutí a založení rotoru do prkna na začátku a na konci montážního pracoviště viz. obr 44. Pracovník je nucen se nepřirozeně vyklánět v trupu, aby dosáhl právě na toto prkno.



Obrázek 44: Pohyb rotorů

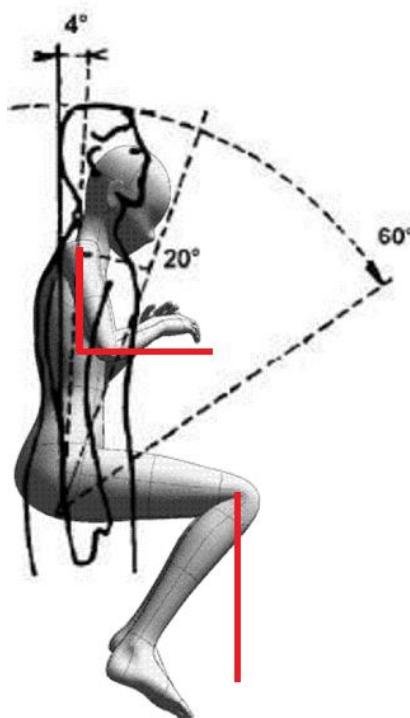
Pro bližší a osobnější analýzu upínacího přípravku a celého procesu izolace rotoru izolačním papírem, je vytisknuta na 3D tiskárně kopie stávajícího používaného přípravku. Je zjištěno, že negativními faktory práce na tomto přípravku je monotónnost práce a izolace, která v průběhu směny může snižovat výkonnost pracovníka. Monnotónnost práce je jeden z důvodů, proč se kapitola návrhu optimalizace montážního zabývá právě přípravkem pro tento montážní proces.



Obrázek 45: Původní upínací přípravek vytištěný pomocí 3D tisku

Pracovní poloha

Z pozice, ve které pracovník sedí, viz obrázek 36 a 46, je patrné, že židle nevyhovuje tělesným proporcím pracovníka a pracovník je nucen mít nohy v nepřirozené poloze. Zároveň je vidět, že i horní končetiny nejsou v optimální pozici při hlavním procesu izolace rotoru, což znamená, že pracovní výška je vyšší než optimální.



Obrázek 46: Zobrazení špatných poloh horních a dolních končetin

Možnost úpravy pracovní výšky stolu tak, aby vyhovovala tělesným proporcím jednotlivých pracovníků, je velice důležitá, co se týče židle a sezení, je namístě uvažovat o variantě, kdy pracovník u montážního pracoviště stojí. Jak je zmíněno v rešeršní části, možnost sezení a stání na pracovišti, má své kladné a záporné stránky, pro toto pracoviště doporučuji polohu stoje, s hlavní výhodou zvětšení dosahových zón.

Ergonomie pracovních operací stávajícího pracoviště

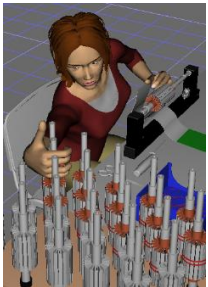
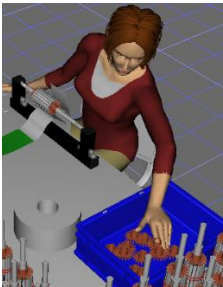






Ergonomická analýza poloh OWAS, která je součástí softwaru Tecnomatix Jack 9.0, hodnotí ergonomické polohy pracovníka. Hodnocení dělí na 4 úrovně, které jsem popsal v tabulce č. 11. Zde je využita analýza na stávajícím montážním místě tak, že jsou dlouhodobě pozorované pohyby pracovníka na pracovišti a poté jsou tyto pohyby simulovány i v prostředí programu.

Tab. 11. Čtyři základní výsledky analýzy OWAS

Úroveň	Popis
1	Pozice normální, žádný zásah není potřebný
2	Poloha může mít škodlivý efekt na tělo, nejsou vyžadovány žádné okamžité zásahy
3	Poloha má škodlivý efekt, opravné zásahy jsou vyžadovány co nejdříve
4	Poloha má velice škodlivý dopady na tělo, zásah je okamžitě vyžadován

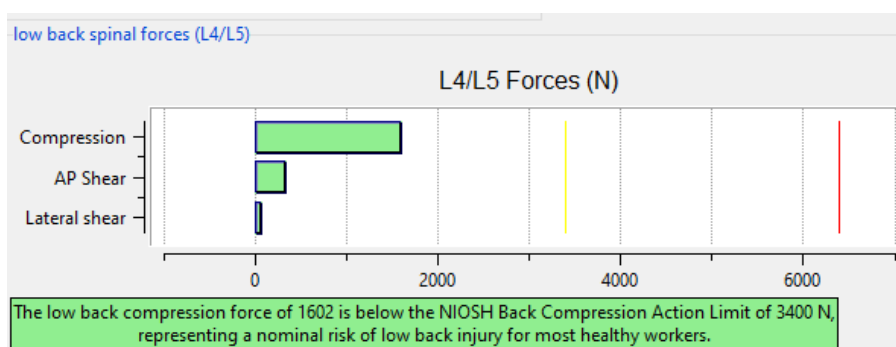
Celý montážní proces je analyzovaný a výsledky jednotlivých operací uvedeny v tabulce č. 15. Analýza OWAS potvrdila, že prkno s rotory v základním a kompletním stavu je mimo dosahové zóny a poloha, které je pracovník vystavován, má škodlivý efekt. Opravné zásahy jsou vyžadovány co nejdříve. Ostatní operace jsou v normální pozici.

Tab. 15. Výsledek analýzy OWAS, stávající pracoviště

Operace	1	2	2.1	3 a 8
Simulace				
Hodnocení OWAS	3	2	1	1
Operace	5 a 6	7	10	11
Simulace				
Hodnocení OWAS	1	1	1	3

Analýza nám tedy poskytla informace o polohách, na které je nutné se zaměřit a v kritických případech tyto polohy odstranit. Cílem této práce není pouze optimalizovat ergonomické hledisko, ale i hledisko montáže a jeho efektivity. Pozdější návrhová kapitola se tedy zabývá nejen ergonomickým rozložením pracoviště, ale zároveň i efektivním rozložením jednotlivých objektů potřebných pro správný proces montáže.

Analýza low back spinal forces ze softwaru Tecnomatix Jack 9.0 vyhodnotila všechny pozice jako: 1) Pozice normální, žádný zásah není potřebný. Největší tlak na páteř vznikl při operacích 1 a 11, v obou případech vyvynutý tlak na páteř nedosáhl ani poloviny limitní hodnoty v rozsahu pro 1. kategorii viz. obr. 47.



Obrázek 47: low back spinal forces

Zdroj: Vlastní zpracování

Osvětlení

Na pracovišti se využívá sdružené osvětlení, které má hned několik negativních faktorů zmíněných v rešeršní části. Na montážním pracovišti se pracuje s vysokými požadavky na osvětlení, takže tato forma osvětlení je nedostačující.

Vzhledem k vzdálenosti od kritického detailu dle tabulky č. 1 je stanovena potřebná třída 3 jako třída, která je nutná k osvětlení činnosti izolace rotorů na daném montážním pracovišti.

Dle nařízení vlády č. 361/2007 sb. se zde zmíněné montážní pracoviště vzhledem k nárokům na osvětlení požaduje za 3. třídu, požadavky na osvětlení jsou vysoké a vyžadují rozmezí 600 až 2000 lx.

Analýza kritického místa efektivnosti

Analýza kritického místa je prováděna s cílem definování úzkého místa v montáži a návržení možného zlepšení průchodnosti tohoto místa, a to vzhledem k optimalizované části výroby. Ideálním řešením by bylo místo zcela eliminovat. Další varianta řešení je optimalizace tohoto místa.

Dle časové náročnosti jde o operaci zavádění izolačního papíru do spár rotoru. Tato operace vyžaduje okolo 83 % celkového času na montážní proces jednoho rotoru, časová osa je graficky znázorněna viz. obrázek č. 48.

Červená = Operace zavádění izolačního papíru do spár rotoru

Modrá = Jiné operace



Obrázek 48: Časová osa stávajícího montážního procesu

Je tedy v zájmu efektivnosti se touto operací zabývat a navrhnout řešení, jak operaci zefektivnit. Dále bude probíhat analýza tohoto kritického místa montážního procesu.

V operaci izolace rotoru viz obrázek č. 49, jde tedy o tyto činnosti:

- 1) Vložení izolačního papíru do štěrbin rotoru
- 2) Zajištění izolačního papíru pomocí zajišťujícího nástroje
- 3) Opakování 18x



Obrázek 49: Detail izolované štěrbin rotoru

Z ergonomického hlediska jsou ruce v poloze viz. obrázek č. 50, tyto polohy jsou dle analýzy OWAS normální. Dle zkušeností, se dlouhodobé zavádění izolačního papíru do spáry rotoru stává nepříjemnou činností, kterou je nutno odstranit zjednodušením této činnosti.



Obrázek 50: Proces vložení izolačního papíru do štěrby rotoru

Neustále zajišťování a odjímání zajišťovacího nástroje, je tak z pohledu ergonomie, ale i z pohledu efektivity velice negativní a jednotvárný pracovní úkon, který sice pomáhá k uskutečnění správné izolační operace, ale je velice neefektivní a psychicky vyčerpávající svou monotónností.

Analýza nedostatků dle metody 5S

Tab. 16 Analýza nedostatků dle metody 5S

	Název metody 5S	Činnost	Objekt
1	Seiri, separovat	Odstranění nepotřebných objektů na pracovišti	2. role izolačního papíru
			Mobil
			Kapesníky
			Prkna plná hotových rotorů
			Formuláře
2	Seiton, systematizovat	Určení míst pro nástroje a součásti	Nůžky
			Box s gumičkami
			Box s izolačními koncovkami
			Prkna s rotory
3	Seisō, stále čistit	Vytvoření snadno čistitelného prostředí	-
4	Seiketsu, standardizovat	Vytvoření postupu montáže	-
5	Shitsuke, sebedisciplinovanost	Udržení nově zavedeného stavu	-

5 Návrh optimalizace montážního pracoviště

Předposlední kapitola se zabývá návrhem optimalizace montážního pracoviště. Zde je na základě analýzy z předchozí kapitoly navržené řešení pracoviště montáže. Řešení je navržené tak, aby vyhovovalo ergonomickým požadavkům a zároveň, aby bylo co nejvíce efektivní, co se týče jednotlivých operací i celkového procesu izolování rotorů. Nejdříve se předvede kompletní optimalizované pracoviště a následně jsou popsány nové objekty. Poté se tato práce zabývá již konkrétním, nově navrženým přípravkem, který je zaměřený na optimalizaci operace vkládání izolačního papíru do štěrbin rotoru.

5.1 Návrh optimalizace operace izolování pomocí přípravku

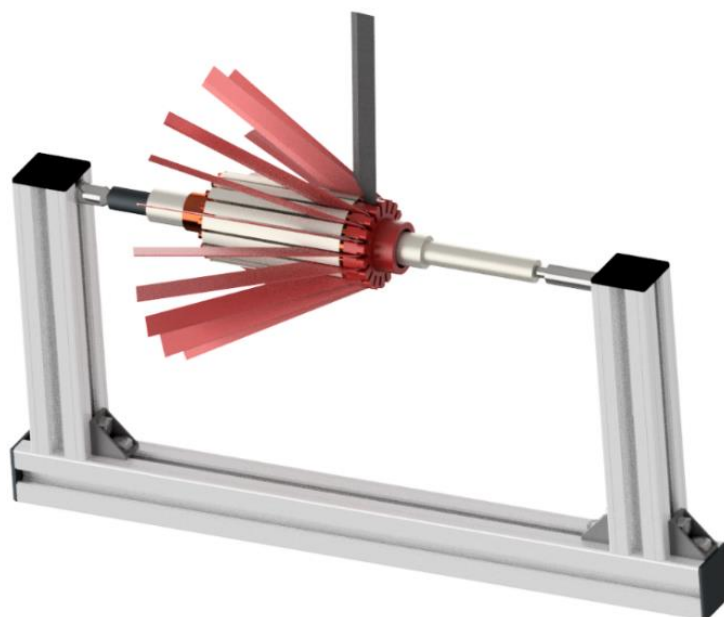
Jak již bylo zmíněno, operace vkládání izolačního papíru do jednotlivých štěrbin rotoru je jak z pohledu efektivnosti ve stavu, který se dá zlepšit a z pohledu ergonomie obsahuje monotónnost, která se může negativně podepisovat na pracovníkovi. Dále je tato operace definována velkým množstvím pečlivých a pravidelných pohybů prstů. Tyto negativní faktory je navrženo odstranit pomocí dvou variant přípravků. Varianta přípravku číslo 1 viz. obrázky č. 51 a 52.

Varianta přípravku číslo 1

Přípravek se skládá se zajišťovací části lamel (viz, obr. č. 51 vlevo) a přípravku samotného. Přípravek má za cíl sjednocení všech lamel. Po přiložení izolačního papíru se lehce zavede do spáry rotoru a po opakování 18x lze velmi jednoduše vyjmout přípravek ve směru osy rotoru.



Obrázek 51: Přípravek varianta č. 1



Obrázek 52: Přípravek varianta č. 1, 1

Zdroj: Vlastní zpracování

Varianta přípravku číslo 1 je velice efektivní, snižuje časovou spotřebu operace z původních 270 vteřin na 120 vteřin, takže se jedná o zefektivnění jednoho procesu montáže o 2,5 minuty. Zároveň je přípravek velice robustní a jednoduchý na používání. Všechny lamely se vrátí do pozice určené pro začátek operace jednoduchým zatřesením. Avšak tento přípravek má jeden negativní faktor a to nevhodné natáčení papíru (viz. obr. č. 53). Operátor je tedy nucený být stále naprosto soustředěný a v případě této události okamžitě jednat tak, aby byl izolační papír opět včas umístěn do správné pozice.

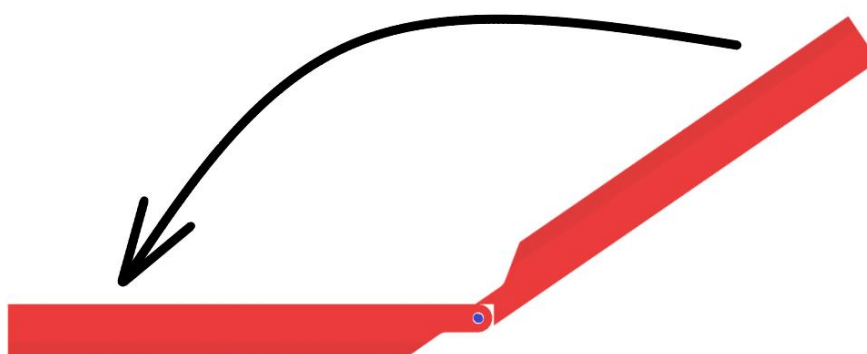


Obrázek 53: Přípravek varianta č. 1, 2

Problém s vybočováním izolačního papíru v důsledku používání přípravku číslo 1, se snažila tato práce vyřešit například použitím různých tvarů lamel viz. obr. č. 54.



Obrázek 54: Různé tvary lamel



Obrázek 55: Systém pohybu lamel v přípravku č.1

Zdroj: Vlastní zpracování

Bohužel různé varianty lamel z obrázku č. 54 měly velice malý vliv na vybočování izolačního papíru. Tento problém se dá včas předpovědět po určitém zpracování s tímto přípravkem. Definován byl problém, který spočívá v časově nerovnoměrném zasouvání izolačního papíru do spáry, v důsledku mechanismu přípravku (viz. obr. č. 55). Dále se tedy práce zabývá návrhem přípravku, který tento problém nebude vytvářet.

Varianta přípravku číslo 2

Přípravek se opět skládá se zajišťovací části lamel (viz, obr. 56 vlevo) a přípravku samotného. Ve variantě přípravku číslo 2 jde tedy převážně o úpravu varianty číslo 1, s cílem zavedení papíru do spáry po celé ploše ve stejný čas, to bylo zajištěno díky vytvoření cesty pro čepy lamel v přípravku. Tato varianta umožňuje kontakt lamely s izolačním papírem a následné zavedení do spáry rotoru ve stejný čas po celé ploše lamely. Tento způsob se dále popisuje v následujícím odstavci.

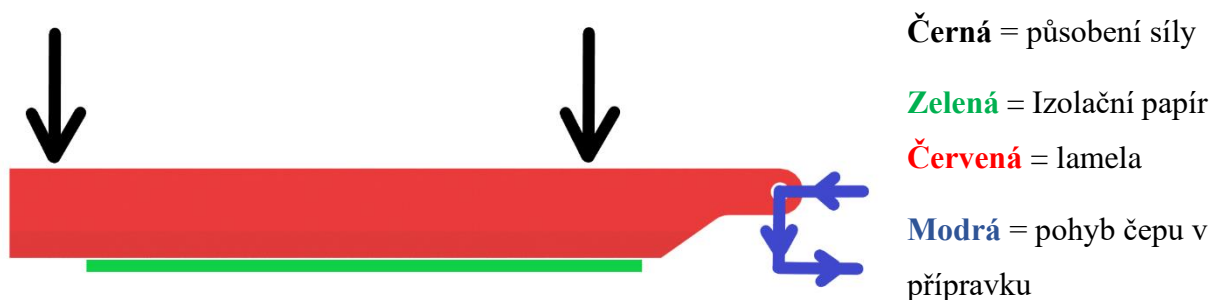


Obrázek 56: Přípravek varianta č. 2



Obrázek 57: Přípravek varianta č. 2, 1

Varianta přípravku číslo 2 tedy umožňuje pracovníkovi posun lamely nad spáru, poté pracovník vyvine lehký tlak na lamelu a vertikálně ji zasune do spáry rotoru. Po tomto pohybu lamelu zasune horizontálně do přípravku, čímž ji zajistí a může pokračovat na další zasunutí lamely do spáry rotoru. Operace je popsána na obrázku číslo 58.



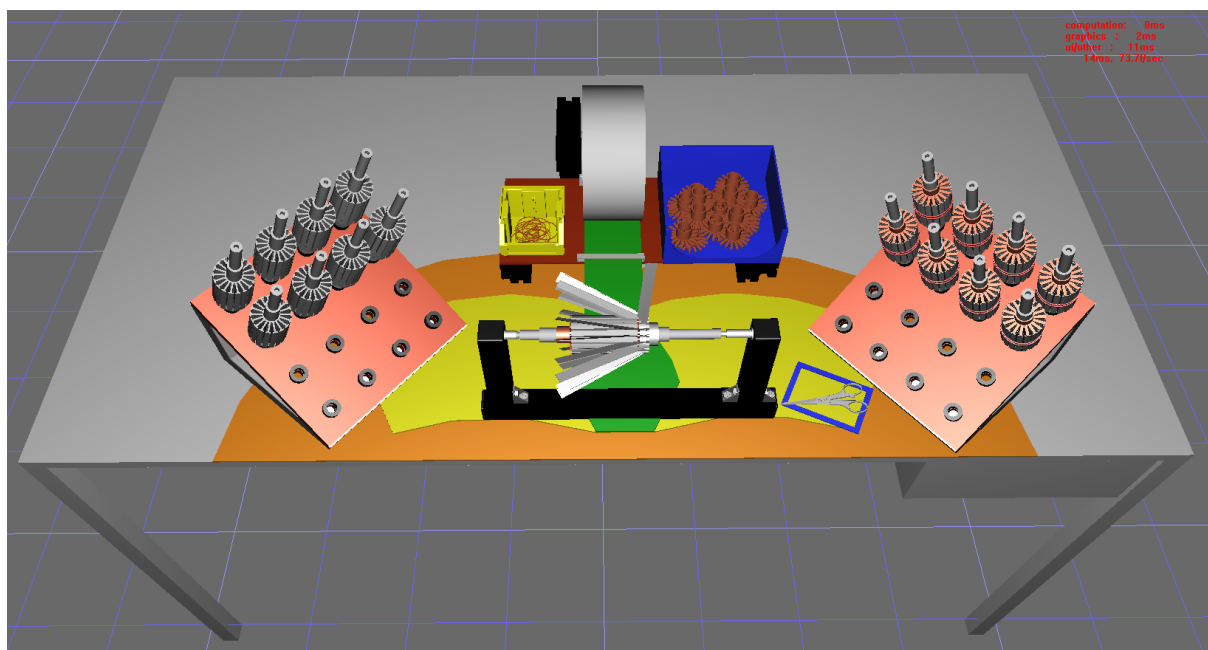
Obrázek 58: Pohyb lamel v přípravku č. 2

Zdroj: Vlastní zpracování

Varianta číslo 2 úspěšně řeší problém s vybočováním papíru. Všechny lamely se opět vrátí do pozice určené pro začátek operace jednoduchým zatřesením. V porovnání s variantou číslo 1 můžeme za nevýhodu považovat komplexnost a to, že vykonávání procesu činnosti je přibližně o 30 vteřin delší.

5.2 Návrh optimalizace montážního pracoviště

V této kapitole je na základě znalostí z rešeršní části a výsledků analýz navrženo optimalizované pracoviště montáže rotorů tak, aby vyhovovalo dosahovým a rozměrovým limitům člověka. Dále je aplikovaná metoda systému 5S a pracoviště je rozloženo do určitých dosahových zón dle četnosti operací v procesu v určitém čase. Jednotlivé prvky návrhu optimalizace jsou dále podrobně rozvedeny.



Obrázek 59: Návrh optimalizovaného pracoviště varianta č.1

Navrhované pracoviště je pracoviště na stání, pracovníkovi umožňuje bez obtíží dosáhnout na veškeré předměty, které jsou potřebné k montáži. Předmětem optimalizace je stůl s nastavitelnou výškou, čímž získáme ergonomicky vhodnou pracovní rovinu pro různé pracovníky. Dále přípravek na zavádění izolačního papíru do spár rotoru zároveň s úpravou upínacího přípravku, který je vyvýšen a umožňuje další úpravu výšky. Pro nástroj pracoviště: nůžky – je vyznačené určené místo uložení modrou páskou. Speciálně pro toto montážní pracoviště je navržený svařenec, který slouží jako držák na prkno s rotory. Pomocí hliníkových, konstrukční profilů s drážkou se zkonstruoval stolek, který vyvyšuje pozici boxů se součástkami (gumičky a izolační koncovka) a izolační papír, který je dále veden pomocí 3D tištěných vodících drážek. Tabulka číslo 17 připisuje jednotlivým předmětům montáže dosahovou oblast.

Tab. 17 Rozmístění předmětů montážního pracoviště

Č.	Předmět	Oblast dosahu
1	Izolační papír	C
2	Prkno s hotovými výrobky	B a C
3	Přepravka s gumičkami	B
4	Nástroj: Nůžky	B
5	Nástroj: Zajišťující nástroj	Odstraněno
6	Box s izolačními koncovkami	B a C
7	Upínací přípravek	A
8	Přepravka s rotory v základu	B a C

Aplikace metody 5S

Z pohledu aplikace metody 5S jde o uklizení pracoviště (seiri), odstranění předmětů k montáži nepotřebných a určení jasně daných míst pro jednotlivé komponenty, nástroje, tzn. systematizovat veškeré objekty potřebné k procesu montáže (seiton). Výsledek aplikace metody 5S je vidět na obrázku č. 59.

Tab. 16 Analýza nedostatků dle metody 5S

Č.	Název metody 5S	Činnost	Objekt
1	Seiri, separovat	Odstranění nepotřebných objektů na pracovišti	2. role izolačního papíru
			Mobil
			Kapesníky
			Prkna plná hotových rotorů
			Formuláře
2	Seiton, systematizovat	Určení míst pro nástroje a součásti	Nůžky
			Box s gumičkami
			Box s izolačními koncovkami
			Prkna s rotory
3	Seisō, stále čistit	Vytvoření snadno čistitelného prostředí	-
			-
4	Seiketsu, standardizovat	Vytvoření postupu montáže	-
5	Shitsuke, sebedisciplinovanost	Udržení nově zavedeného stavu	-

Dále, co se týká výroby štíhlého podniku, jde o zamezení plýtvání. Hlavní plýtvání na tomto montážním pracovišti bylo v podobě pohybů pracovníka. Díky přiblížení a uspořádání veškerých součástí a dalších předmětů potřebných k montáži, bylo plýtvání těchto pohybů zredukováno na minimum.

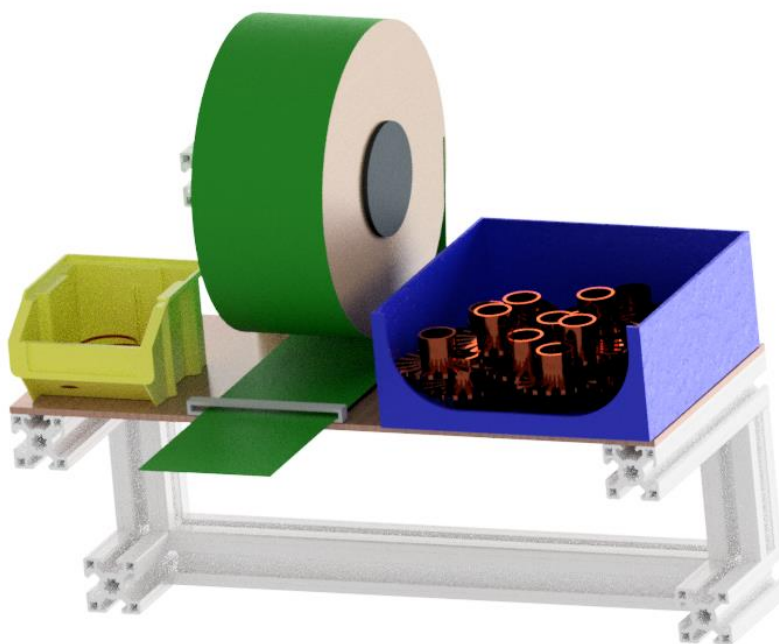
Osvětlení

Dle informací rešerše o osvětlení a analýzy, je navrženo umělé osvětlení pracoviště. Nařízení vlády č. 361/2007 sb. stanovuje osvětlení pro montážní pracoviště popisované v této práci o hodnotě v rozmezí 600 až 2000 lx.

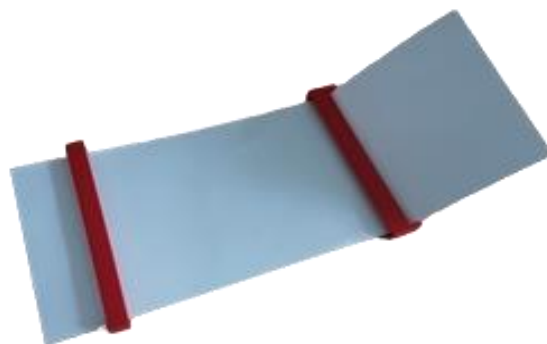
Navrh je tedy takový, aby se pevně upevnilo nad stůl průmyslové světlo, které bude pokrývat celou pracovní plochu. Díky implementaci průmyslového osvětlení pracovník zbytečně nenamáhá svůj zrak.

Návrh konstrukce stolku pro zvýšení polohy součástí

Důvod, proč bylo nutné navrhnout stůl pro zvýšení polohy součástí (viz, obr. 60) je zamezení zbytečného ohybání zápěstí. V důsledku zvýšení upínací konstrukce přípravku bylo z ergonomického hlediska polohy zápěstí nutno zvýšit i boxy se součástkami.



Obrázek 60: Vyvýšený stůl



Obrázek 61: Vodící drážky

Stolek je dále vybavený vodící drážkou, která napomáhá proti nechtěnému vybočování izolačního papíru při operaci zasouvání do spařvy (viz. obr. 61)

Pracovní plocha, stůl

Klasické ergonomické stoly poháněné elektromotorem s nastavitelnou výškou pracovní pozice pouze na dvou nohách stolu viz. obr. 47. Tato varianta je ale pro pracoviště montáže nestabilní právě z důvodu množství nohou. Proto je třeba se při výběru stolu s s nastavitelnou výškou pracovní pozice zaměřit na množství nohou stolu, abychom dosáhli větší stability. Optimální druh stolu pro mnou navrhované montážní pracoviště je vidět na obrázku č. xx.

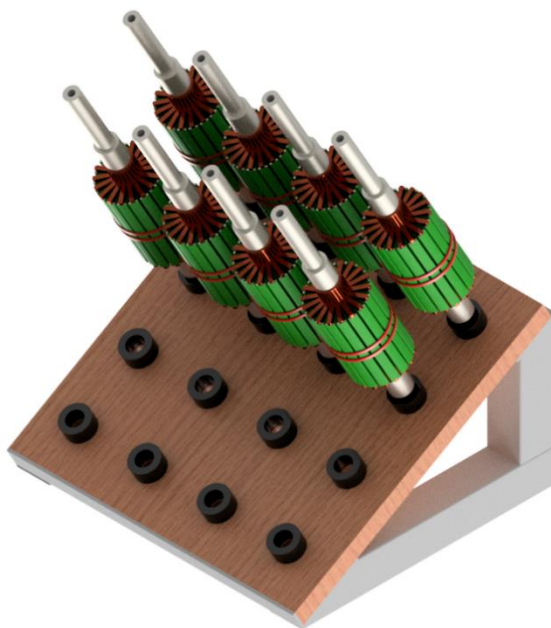


Obrázek 62 – Stoly s nastavitelnou výškou [47]

Varianta se čtyřmi nohami je nákladnější a to z důvodu, že oproti dvounohé variantě obsahuje čtyři elektromotory. Pracovník na tomto pracovišti montáže vykonává relativně přesné činnosti, nestabilita stolu je považována jako rušivý element, který způsobuje psychickou zátěž.

Návrh konstrukce svařence

Tato konstrukce zajišťuje ergonomické zakládání a vyndávání rotorů z prken, ve kterých jsou rotory přemísťovány. Zároveň poskytuje velký prostor pro ruce na podebrání prkna a jeho jednoduché ergonomické vyjmutí z konstrukce. Toto je varianta číslo 1. Zaručuje práci v dosahové oblasti B a C, což ve vztahu vůči četnosti operace zakládání a vyndávání rotorů z prken nijak pracovníka nezatěžuje. Dále se tato práce zabývá návrhem druhé varianty.



Obrázek 63: Návrh držáku prkna, svařenec

Druhá varianta je prkno, které se umísťuje na rotační přípravek (viz obr. xx). Tato varianta umožňuje ergonomické zakládání a vyndávání rotorů z prken v dosahové oblasti B. Pokud bychom dokázali zvýšit produkci montážního pracoviště pomocí automatického přípravku na izolaci rotorů, bylo by zároveň nutné, kvůli zvýšení četnosti zakládání a vyndávání rotorů z prken v určitém čase, umístit prkno do oblasti dosahové B. Tato varianta by tomu vyhovovala.

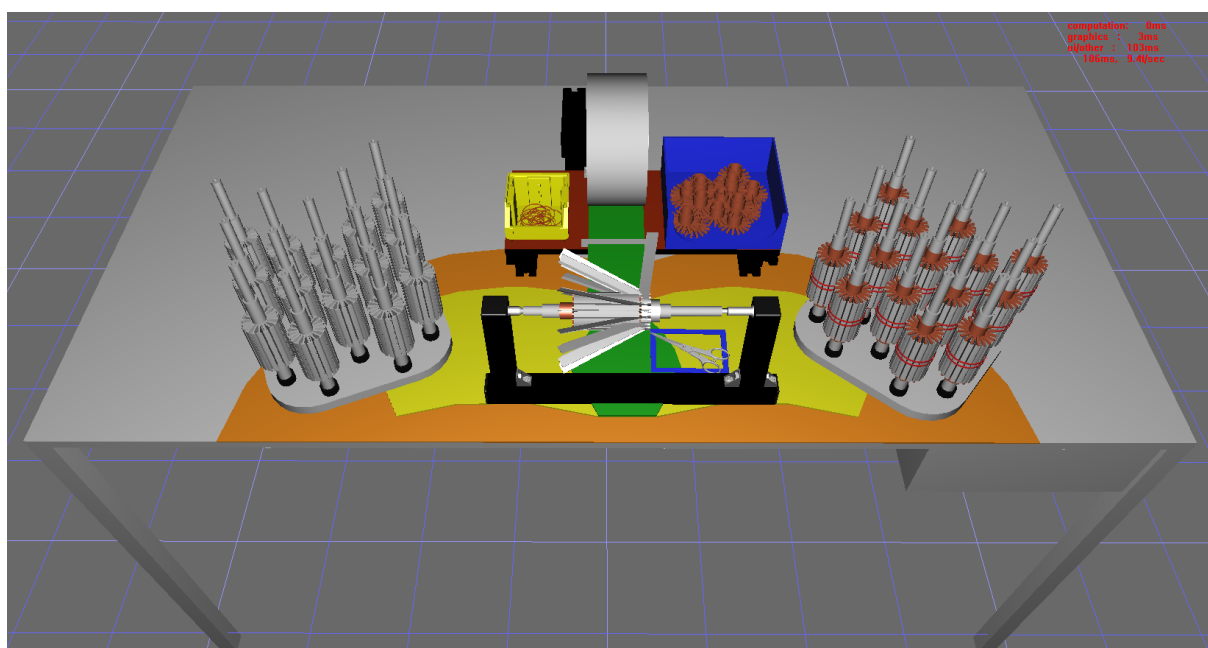


Obrázek 64 – Rotační prototyp

Na obrázku č. 64 je uveden prototyp rotačního přípravku vytištěného na 3D tiskárně. Obsahující radiální ložisko a konstrukci zamezující převážení se na stranu.



Obrázek 65: Rotační varianta prkna



Obrázek 66: Návrh optimalizovaného pracoviště varianta č.2

Na obrázku č. 65 lze vidět upravené prkno pro rotory. Dále na obrázku č. 66 je znázorněné rozložení s variantou číslo 2, s rotačními prkny na vyjímání a zakládání rotorů.

6 Zhodnocení návrhu

Poslední kapitola zhodnocuje návrh optimalizace montážního pracoviště. Zhodnocení návrhu je provedeno pomocí metody vícekriteriálního rozhodování. V závislosti na výsledcích je určena varianta přípravku a varianta držáku na prkna s rotory. V dalším kroku je finální návrh montážního pracoviště zhodnocena z pohledu ergonomie analýzou OWAS. Jako poslední je zhodnocena produktivita návrhu pracoviště na prototypch vytvořených technologií 3D tisku.

Metoda vícekriteriálního rozhodování

Tato část práce vyhodnocuje návrhy z předchozí kapitoly a bude vybírá jeden konkrétní závěrečný návrh řešení optimalizace montážního pracoviště izoalce rotorů. Vyhodnocení je provedeno metodou vícekriteriálního rozhodování, konkrétně metodou bodovací, která spravedlivě posuzuje navržené varianty z pohledu stanovených ukazatelů. Na základě prvotního určení důležitosti jednotlivých kritérií a následného přidělení bodů pro jednotlivé kategorie bude stanoveno pořadí jednotlivých variant. Váhy jednotlivých kritérií jsou voleny na škále od 1 – 10. Bodování bude na stupnici od 1 – 10, kde 1 je nejnižší hodnocení a 10 naopak hodnocení nejvyšší.

Bodování a stanovení váhy kritérií v tabulkách číslo: 19 a 22.

Výpočet hodnoty daného předmětu v tabulkách číslo: 20, 21, 23 a 24

Tab. 19. Vícekriteriální rozhodování: Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií

Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií			
Rozhodovací kritéria pro variantu prkna na rotory		Body	Váha kritéria (p_r)
K1	Dosahová vzdálenost	8	0,31
K2	Množství pohybů	9	0,35
K3	Fyzická náročnost	5	0,19
K4	Náročnost výměny prkna	4	0,15
Celkem		26	

Při výpočtu byly použity následující vzorce:


$$z_{er} = K1 + K2 + K3 + K4$$

$$p_r = \frac{K_j}{z_{er}}$$

Hodnota p_r udává váhu jednotlivých kritérií.


Hodnota w_t udává hodnotu vážených součtů.

Tab. 20. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Hodnocení jednotlivých kritérií						
Varianta č. 1 svařence, jako držák prkna na rotory					Z _{er}	
Kritérium	K1	K2	K3	K4		
Bodové ohodnocení	8	9	8	9	34	
Váha kritérií	0,31	0,35	0,19	0,15	w _t	
	2,48	3,15	1,52	1,35	8,5	

Varianta č. 1 je variantou přesně optimalizovanou pro dané montážní pracoviště. Varianta je tedy hodnocená vysokým počtem bodů ve všech kritériích.

Tab. 21. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Hodnocení jednotlivých kritérií						
Varianta č. 2 rotační prototyp prkna na rotory					Z _{er}	
Kritérium	K1	K2	K3	K4		
Bodové ohodnocení	9	6	9	5	29	
Váha kritérií	0,31	0,35	0,19	0,15	w _t	
	2,79	2,1	1,71	0,75	7,35	

Varianta č. 2 je návrh který se specializuje na možnost poskytnout pracovníkovi krátkou vzdálenost, bohužel na úkor dalších kritérií.


Tab. 22. Vícekriteriální rozhodování: Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií

Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií			
Rozhodovací kritéria pro přípravek		Body	Váha kritéria (p.)
K1	Psychická zátěž	9	0,30
K2	Časová úspora	5	0,17
K3	Výskyt chyb	7	0,23
K4	Množství pohybů	9	0,30
Celkem		30	

Tyto přípravky jsou určeny pro operaci zavádění izolačního papíru do spáry rotoru. Tato činnost je monotónní, a proto má kritérium psychické zátěže velkou váhu. Dalším vysoce


váženým kritériem je množství pohybů, které pracovník musí vykonat pro dokončení operace. Jelikož jde o detailní práci je z fyzické zátěže dobré se vyvarovat velkému množství pohybů.

Tab. 23. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Hodnocení jednotlivých kritérií						
Vícekriteriální rozhodování pro přípravek č. 1					Z _{er}	
Kritérium	K1	K2	K3	K4		
Bodové ohodnocení	9	9	6	9	33	
Váha kritérií	0,30	0,17	0,23	0,30	w _t	
	2,7	1,53	1,38	2,7	8,31	

U přípravku číslo 1 existuje negativní faktor, a to je tendence vychylovat izolační papír při jeho zavádění do spáry rotoru. I přes tento nedostatek získal velké množství bodů.

Tab. 24. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Hodnocení jednotlivých kritérií						
Vícekriteriální rozhodování pro přípravek č.2					Z _{er}	
Kritérium	K1	K2	K3	K4		
Bodové ohodnocení	6	8	9	5	28	
Váha kritérií	0,30	0,17	0,23	0,30	w _t	
	1,8	1,36	2,07	1,5	6,73	

Přípravek číslo 2 vznikl přímo na odstranění problému zmíněného výše u přípravku číslo jedna. Tento úkol plní téměř perfektně, ale na úkor ostatních kritérií.

Vyhodnocení metody vícekriteriálního rozhodování

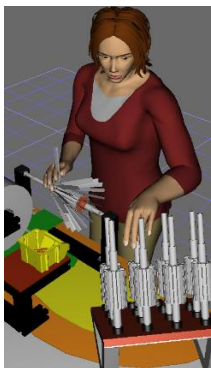
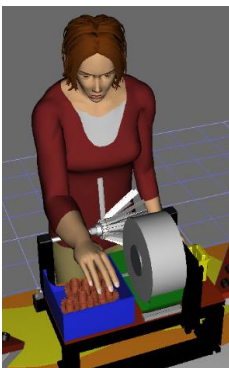
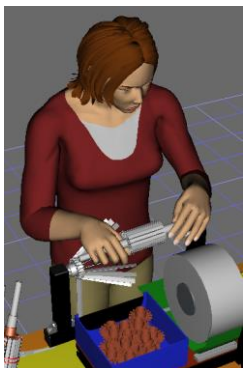
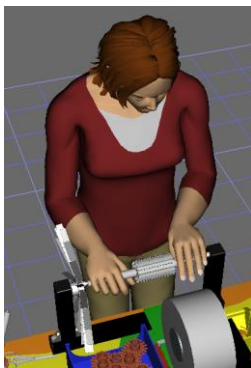
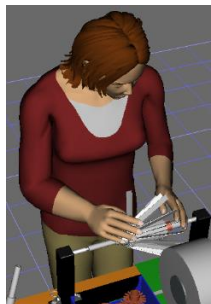
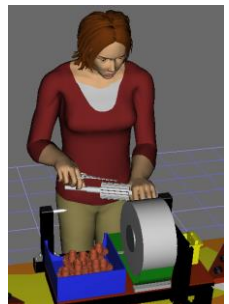
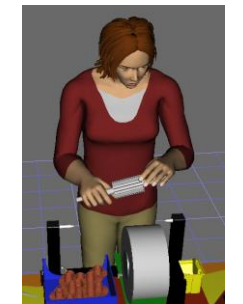
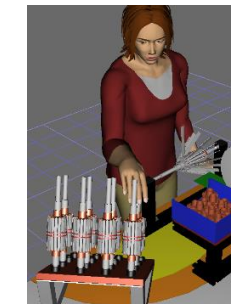
Z tabulek lze vidět, že nejlépe hodnocený držák na prkna je „varianta č. 1 svařence, jako držák prkna na rotory“. Co se týče přípravku, používaného k operaci zasouvání izolačního papíru do spár je nejlépe hodnocený „přípravek č. 1“.

Kombinace přípravku č.1 a svařence je tedy nejlepší kombinace. V další části je tento finální návrh optimalizace montážního pracoviště zabývající se izolací rotorů vystaven ergonomické analýze OWAS ze softwaru Tecnomatix Jack 9.0.

Zhodnocení návrh rozložení pracoviště

V této části je zhodnocené finální pracoviště. Pracoviště je složeno z návrhů z návrhové kapitoly s tím, že díky metodě vícekritériálního rozhodování byla vybrána nejlepší možná varianta.

Tab. 18. Výsledek analýzy OWAS, optimalizované pracoviště

Operace	1	2	2.1	3 a 8
Simulace				
OWAS	1	1	1	1
Operace	5 a 6	7	10	11
Simulace				
OWAS	1	1	1	1

Jak je vidět z tabulky číslo 18, finální návrh optimalizace montážního pracoviště je z ergonomického hlediska dle analýzy OWAS ve všech pozicích normální a žádný zásah není potřebný.

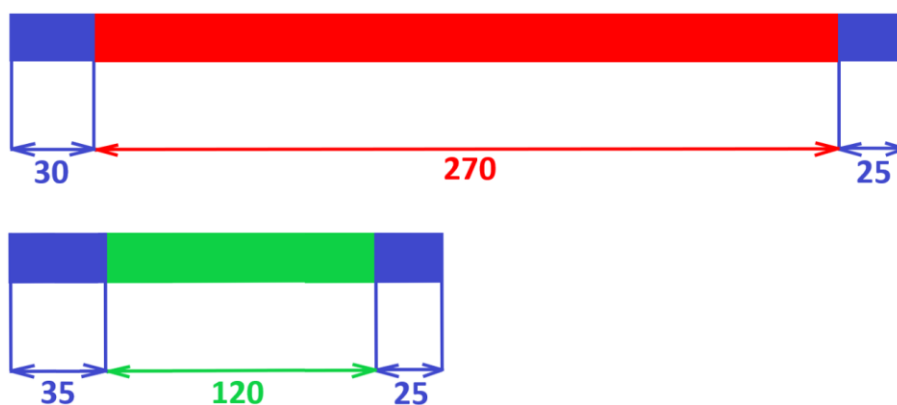
Výkonnost finálního návrhu optimalizace montážního pracoviště

Díky vytvoření identického prototypu rotoru, přípravku a upínacího zařízení díky technologii 3D tisku, bylo možné analyzovat realnou výkonost izolační operace. Data z těchto izolačních operací prováděných na prototypu byla graficky vyjádřena v sekundách na obrázku číslo 67.

Modrá = vedlejší operace

Červená = neoptimalizovaná operace

Zelená = optimalizovaná operace



Obrázek 67: Porovnání časových os

Zdroj: Vlastní zpracování

Co se tedy týče zvýšení produktivity díky finálnímu návrhu optimalizace montážního pracoviště, jedná se s velkou nepřesností přibližně o 55% nárůst produktivity montážního pracoviště.

7 Závěr

Tématem této bakalářské práce bylo provést optimalizaci vybraného pracoviště ve společnosti SOPO s.r.o. a navrhnout opatření, která povedou ke zvýšení produktivity tohoto pracoviště a odstranění negativních ergonomických vlivů.

První kapitola této práce je věnována problematice optimalizace montážních pracovišť. Na počátku kapitoly byly představeny nezbytně nutné pojmy ze strojní montáže a dále byla zpracovaná problematika pracovišť v podobě plýtvání a s tím spojené pojmy. Také byly probrány vybrané metody štíhlé výroby, kdy mezi hlavní patří metoda 5S, která patří mezi nejdůležitější prvky dnešního průmyslového inženýrství a hlavní částí optimalizace pracovišť.

Poslední rešeršní část je věnována ergonomii, která je nejdůležitější součástí při návrhu optimalizace pracovišť. Nejprve je představena definice ergonomie a vazba člověka s technikou. Poté se kapitola věnuje hodnocení ergonomie, které je zaměřeno především na pracovní místo, pracovní prostředí, pohybové ústrojí a metodám, jakými se činnost vyhodnocuje. V závěru kapitoly je uvedena důležitá platná legislativa, jedná se o směrnice, nařízení vlády, zákony a normy. Především se jedná o nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci.

Následující kapitola této práce se věnovala analýze stávajícího stavu pracoviště, kterým bylo montážní pracoviště izolace rotorů. Toto pracoviště bylo představeno a následně byl popsán jeho současný stav. Poté byla popsána a zdokumentována podrobná analýza, která specifikuje jednotlivé operace z montážního procesu pracoviště. Analyzované byly nástroje, dosahové oblasti, rozložení předmětů a pohyby pracovníka. Díky této analýze byly objeveny zásadní ergonomické nedostatky pracoviště a zároveň úzké místo, které snižovalo efektivitu montážního pracoviště. Ze závěru analýz vycházím v další kapitole.

Předposlední kapitola je zásadní kapitolou, vychází z ní výsledek této práce. Zde jsou ukázané návrhy optimalizace montážního pracoviště na základě analýz. Představují se zde zásadní kroky, které odstraňují ergonomické nedostatky pracoviště negativně působící na pracovníka a další negativní faktory v podobě plýtvání způsobené zbytečnými pohyby. Jedná se o návrh ergonomického rozložení pracoviště, přípravku optimalizující neefektivní operaci montáže, optimalizaci jednotlivých předmětů potřebných pro proces montáže a návrh zavedení metody 5S.

V poslední kapitole zhodnocení návrhu je shrnuto, které ergonomické nedostatky původního pracoviště se pomocí optimalizace podařilo vyřešit. Dále se zabývá časovou úsporou

díky implementaci přípravku do montážního procesu a optimalizovaným rozložením pracoviště.

Nedílnou součástí návrhu je také zvýšení produktivity vyhodnocení návrhu optimalizace vypovídá, že je možné dosáhnout významného zvýšení produktivity práce na pracovišti, a to přibližně až o 55 % díky časové úspoře, redukci vzdáleností pohybů a implementaci metod štihlé výroby.

Seznam Obrázků

Obrázek 1: Montážní systém a proces	Zdroj: Vlastní zpracování [1]
Obrázek 2: Příklad předmětové montážní techniky	Zdroj: Vlastní zpracování [2]
Obrázek 3: Technologická montážní technika	Zdroj: Vlastní zpracování [2]
Obrázek 4: Druhy montáže z hlediska stupně mechanizace	Zdroj: [5]
Obrázek 5: Výhody a nevýhody ruční montáže	Zdroj: Vlastní zpracování [7]
Obrázek 6: Výhody a nevýhody mechanizované montáže	Zdroj: Vlastní zpracování [7]
Obrázek 7: Výhody a nevýhody automatizované montáže	Zdroj: Vlastní zpracování [7]
Obrázek 8: Montážní činnosti	Zdroj: [6]
Obrázek 9: Technicko – organizační formy montáže	Zdroj: Vlastní zpracování [1]
Obrázek 10 – Schéma soustředěné montáže	Zdroj: [7]
Obrázek 11 – Schéma rozčleněné montáže	Zdroj: [7]
Obrázek 12 – Schéma předmětné (řadové) montáže	Zdroj: [7]
Obrázek 13 – Schéma proudové (synchronní) montáže	Zdroj: [7]
Obrázek 14 – Schéma linkové montáže	Zdroj: [7]
Obrázek 15: Metody štíhlé výroby	Zdroj: Vlastní zpracování [45]
Obrázek 16: 8 druhů plýtvání ve výrobě	Zdroj: [37]
Obrázek 17 – Metody 5S Zdroj:	Vlastní zpracování [39]
Obrázek 18: Před a po aplikace metody 5S	Zdroj: [46]
Obrázek 19, 20: Příklady poka-yoke	Zdroj: [43]
Obrázek 21: Systém: člověk – technika – prostředí	Zdroj: Vlastní zpracování [4]
Obrázek 22: Prostředí pracoviště	Zdroj: Vlastní zpracování [4]
Obrázek 23: Vhodné osvětlení	Zdroj: Vlastní zpracování [4]
Obrázek 24: Druhy osvětlení	Zdroj: Vlastní zpracování [4]
Obrázek 25: Doporučená výška pracovní roviny (v cm)	Zdroj: [33]
Obrázek 26: Možnosti polohování pracovního sedadla	Zdroj: [32]
Obrázek 27: Ergonomické uspořádání zásobníků	Zdroj: [35]
Obrázek 28: Přijatelné a nepřijatelné polohy trupu	Zdroj: [16]
Obrázek 29: Přijatelné a nepřijatelné polohy hlavy a krku	Zdroj: [16]
Obrázek 30: Přijatelné a nepřijatelné polohy horních končetin	Zdroj: [16]
Obrázek 30: Přijatelné a nepřijatelné polohy horních končetin	Zdroj: [16]
Obrázek 31: Vhodný dosah horních končetin vsedě	Zdroj: [16]
Obrázek 32: Dosahy horních končetin ve svislé rovině vstoje	Zdroj: [16]
Obrázek: 33 Legislativa EU, právní akty	Zdroj: Vlastní zpracování [9]
Obrázek 34: Areál SOPO s.r.o	Zdroj: SOPO s.r.o.
Obrázek 35: Rotory vyráběné ve společnosti SOPO s.r.o	Zdroj: SOPO s.r.o.
Obrázek 36: Stávající pracoviště montáže	Zdroj: SOPO s.r.o.
Obrázek 37: Model stávajícího pracoviště montáže	Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 38: Graficky zobrazený stávající montážní postup	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 39 – Rotor Start – Finish ve čtyřech hlavních fázích	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 40: „zajišťující nástroj“	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 41: nůžky	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 42: Současné rozložení pracoviště - popis	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 43: Současné rozložení pracoviště – dosahové oblasti	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 44: Pohyb rotorů	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 45: Původní upínací přípravek vytištěný pomocí 3D tisku	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 46: Zobrazení špatných poloh h. a d. končetin	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 47: low back spinal forces	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 48: Časová osa stávajícího montážního procesu	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 49: Detail izolované štěrby rotoru	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 50: Proces vložení izolačního papíru do štěrby rotoru	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 51: Přípravek varianta č. 1	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 52: Přípravek varianta č. 1, 1	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 53: Přípravek varianta č. 1, 2	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 54: Různé tvary lamel	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 55: Systém pohybu lamel v přípravku č.1	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 56: Přípravek varianta č. 2	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 57: Přípravek varianta č. 2, 1	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 58 – Pohyb lamel v přípravku č. 2	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 59: Návrh optimalizovaného pracoviště varianta č.1	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 60: Vyvýšený stůl	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 61: Vodící drážky	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 62 – Stoly s nastavitelnou výškou	Zdroj: [47]
Obrázek 63: Návrh držáku prkna, svařenec	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 64 – Rotační prototyp	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 65: Rotační varianta prkna	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 66: Návrh optimalizovaného pracoviště varianta č.2	Zdroj: Vlastní zpracování
Obrázek 67: Porovnání časových os	Zdroj: Vlastní zpracování

Seznam tabulek

Tab. 1. Rozdělení do tříd intenzity osvětlení [4]

Tab. 2. Hodnocení oslnění [29]

Tab. 3. Intenzita hluku [4]

Tab. 4. Fyzická namáhavost práce a teplota [4]

Tab. 5. Doporučené hodnoty teploty [4]

Tab. 6. Zdroje psychické zátěže [4]

Tab. 7. Porovnání výhod sedu a stoje [4]

Tab. 8. Přijatelnost určitých poloh trupu [16]

Tab. 9. Přijatelnost určitých poloh hlavy a krku [16]

Tab. 10. Přijatelnost určitých horních končetin [16]

Tab. 11. Čtyři základní výsledky analýzy OWAS

Tab. 12. Montážní postup

Tab. 13. Model statoru a součástková základna

Tab. 14. Předmětová základna s poznámkami

Tab. 15. Výsledek analýzy OWAS, stávající pracoviště

Tab. 16 Analýza nedostatků dle metody 5S

Tab. 17 Rozmístění předmětů montážního pracoviště

Tab. 18. Výsledek analýzy OWAS, optimalizované pracoviště

Tab. 19. Vícekriteriální rozhodování: Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií

Tab. 20. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Tab. 21. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Tab. 22. Vícekriteriální rozhodování: Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií

Tab. 23. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Tab. 24. Vícekriteriální rozhodování: Hodnocení jednotlivých kritérií

Citovaná literatura

- [1] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. Projektování výrobních systémů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-010-1302-2
- [2] DUŠÁK, K. Technologie montáže. Základy. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-906-6.
- [3] JUROVÁ, M. Výrobní procesy řízené logistikou. 1. vyd. Praha: Albatros Media 2013, 260 s. ISBN 978-80-265-0059-9
- [4] Chundela, Lubor. 2013. Ergonomie. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2013. 978-80-01-05173 3.
- [5] Základy montáže [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.old.fst.zcu.cz/_files../2%20ZAKLADY%20MONTAZE%20FOL.pdf
Západočeská univerzita, Katedra technologie obrábění.
- [6] HUMÁR, A. Technologie montáže, (Sylaby předmětu). Ústav strojírenské technologie.
- [7] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. Základy montáže: učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [8] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II, 1.díl. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [9] Evropská unie, evropské právo [online] cit. Dne [5. 4. 2021] Dostupné z: https://europa.eu/european-union/law/legal-acts_cs
- [10] Rámcová směrnice o bezpečnosti a ochraně zdraví. Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://osha.europa.eu/cs/legislation/directives/the-osh-framework-directive/the-osh-framework-directive-introduction>
- [11] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 90/269/EHS ze dne 29. května 1990, o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro ruční manipulaci s břemeny spojenou s rizikem, zejména poškození páteře, pro zaměstnance (čtvrtá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS) Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31990L0269>
- [12] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/104/ES ze dne 16. září 2009 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání pracovního zařízení zaměstnanci při práci (druhá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 6289/391/EHS)

Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0104&from=CS>

[13] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 89/654/EHS 30. listopadu 1989 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví na pracovišti (první samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS) Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31989L0654>

[14] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 89/656/EHS ze dne 30. listopadu 1989 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání osobních ochranných prostředků zaměstnanci při práci (třetí samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS) Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31989L0656>

[15] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES: O strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES (přepracované znění). In:2006. Dostupné také z: <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj>

[16] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: Sbírka zákonů České republiky. Praha, 2007, č. 361. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>

[17] Nařízení vlády č. 101/2005 Sb. ze dne 26. ledna 2005, o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí. Praha, 2005. Dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-101>

[18] Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. ze dne 21. dubna 2008. Nařízení vlády o technických požadavcích na strojní zařízení. In: Sbírka zákonů České republiky. Praha, 2008, částka 56, číslo 176. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-176>

[19] Zákon č. 262/2006 Sb. ze dne 21. dubna 2006 zákoník práce. In: Sbírka zákonů České republiky. Praha, 2006, částka 84, číslo 262. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262>

[20] Zákon č. 309/2006 Sb. ze dne 23. května 2006, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy. Praha, 2006, částka 96, číslo 309. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-309>

[21] Zákon č. 258/2000 Sb., ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: Sbírka zákonů České republiky. Praha, 2000, částka 74, číslo 258. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>

- [22] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272#cast6>
- [23] <https://eshop.normservis.cz/norma/csneniso-26800-1.6.2012.html>
- [24] ČSN EN 614-1+A1. Bezpečnost strojních zařízení - Ergonomické zásady navrhování - Část 1: Terminologie a všeobecné zásady. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [25] ČSN EN 614-2+A1. Bezpečnost strojních zařízení - Ergonomické zásady navrhování - Část 2: Interakce mezi konstrukcí strojního zařízení a pracovními úkoly. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [26] ČSN ISO 6385 - Ergonomické zásady pro navrhování pracovních systémů
- [27] ČSN ISO 1503 - Prostorová orientace a směr pohybu - Ergonomické požadavky Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [28] BUDÍK, Josef a Vlastimil HALEXA. Ergonomie ve strojírenství. 1984. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury.
- [29] Pavel Staněk, Možnosti prezentace výpočtu oslnění. Odbornecasopisy [online]. [cit 2021-06-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/moznosti-prezentace-vypoctu-oslneni--16252>
- [30] ŠPLÍCHALOVÁ, Anna. Hygienické limity u fyzické zátěže. BOZPPROFI [online]. [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: https://www.bozpprofi.cz/33/hygienicke-limity-u-fyzicke-zateze-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ep_FUjZLTuw8I4jf7l30_tE/
- [31] KRÁL, Miroslav, Poznatky ergonomie uplatňované v technické praxi. zsbozp.vubp [online]. [cit. 2021-05-14] Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/ergonomie/547-poznatky-ergonomie-uplatnovane-v-technicke-praxi>
- [32] Marek, Jakub a Skřehot, Petr. 2009. Základy aplikované ergonomie. Bezpečný podnik. Praha : VÚBP, v.v.i., 2009. 978-80-86973-58-6.
- [33] GRANDJEAN, E. Fitting the Task to the Man: An Ergonomic Approach. London: Taylor & Francis, 1982.
- [34] MACLEOD , Dan. The Rules of Work: A Practical Engineering Guide to Ergonomics . CRC Press , 2012. 196 s. ISBN 978 1439899069.

- [35] SLAMKOVÁ, Eva, DULINA, Luboslav a TABAKOVÁ, Michaela. Ergonómia v priemysle 1. vyd. Žilina: GEORG, 2010. 258 s. Pokrokové priemyselné inžinierstvo . ISBN 978 80 89401 09 3.
- [36] GILBERTOVÁ, Sylva a Oldřich MATOUŠEK. *Ergonomie: optimalizace lidské činnosti*. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0226-6.
- [37] Plýtvání. Svět produktivity [online]. 2012, 1 [cit. 2021-6-13]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/clanek/metodika-plytvani.htm>
- [38] JUROVÁ, M. a kol. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: GRADA Publishing, 2016, 256 s. ISBN 978-80-271-9330-1
- [39] LIKER, Jeffrey K. Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce. Praha: Management Press, 2007. Knihovna světového managementu. ISBN 978-80- 7261-173-7.
- [40] BAUER, Miroslav. Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě. Brno: BizBooks, 2012. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-265-0029-2.
- [41] Pavel Staněk, Using Poka-Yoke Techniques for Early Defect Detection. faculty.washington.edu [online]. [cit 2021-06-07]. Dostupné z: <http://faculty.washington.edu/apurva/502/Readings/Lean/pokasoft.pdf>
- [42] KERŤKOVSKÝ, Miloslav. Moderní přístupy k řízení výroby. 1. Praha: C.H. Beck, 2001. C.H. Beck pro praxi. ISBN 80-717-9471-6.
- [43] reliableplant.com. 2021. Poka-yoke. [Online] reliableplant.com, 2019. [Citace: 17. červen 2021.] reliableplant.com/poka-yoke-31862
- [44] Burieta, Ján. 2012. Svět produktivity. 5S, 6S, nebo dokonce 7S. [Online] CPI Web servis s.r.o., 2012. [Citace: 17-6-2021.] <http://www.svetproduktivity.cz/clanek/5s-6s-nebo-dokonce-7s.htm/>.
- [45] stihlavyroba.eu. 2020. Štíhlá výroba. [Online] stihlavyroba.eu, 2021. [Citace: 17. červen 2021.]
- [46] 5SToday.com. 2020. What is 5S? 5S TODAY. [Online] 5SToday.com, 2021. [Citace: 20. únor 2020.] <https://www.5stoday.com/what-is-5s/>.
- [47] upliftdesk.com. 2020. upliftdesk. [Online] upliftdesk.com, 2020 [Citace: 17. červen 2021.] <https://www.upliftdesk.com/uplift-4-leg-standing-desk-v2-v2-commercial/>