

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**ADAM
JAROŠ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Jaroš	Jméno:	Adam	Osobní číslo:	491269
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní				
Zadávací katedra/ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie				
Studijní program:	Teoretický základ strojního inženýrství				
Studijní obor:	bez oboru				

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Posouzení ergonomie pracoviště montáže rotorů

Název bakalářské práce anglicky:

Assessment of the Ergonomics of the Rotor Assembly Workplace

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky ergonomie montáže
2. Analýza současného stavu pracoviště montáže rotorů
3. Návrh optimalizace pracoviště
4. Zhodnocení optimalizace pracoviště

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Kynci ústav řízení a ekonomiky podniku FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **15.03.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **29.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Martin Kynci 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

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 25.8. 2021

.....

Adam Jaroš

Poděkování

Velice děkuji panu Ing. Martinovi Kynclovi za přínosné konzultace, rady a připomínky, které mi během práce poskytl.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou procesu zapojování vinutí rotorů ve společnosti SOPO s.r.o. a jeho následnou optimalizací. Cílem je identifikovat kritické části montáže a sestavit návrh nového pracoviště, které bude efektivní a nezávadné pro zdraví a pohodu pracovníka. Součástí práce je i řešení problematiky ergonomie montážních pracovišť, kde jsou vybrány klíčové části, jež se přímo týkají analyzovaného pracoviště. Závěrem je provedeno zhodnocení finálního návrhu z hlediska ergonomie, kvality a ekonomických aspektů.

Abstract

This bachelor thesis deals with the analysis of the process of rotor winding connection in the company SOPO s.r.o. and its subsequent optimization. The aim is to identify the critical parts of the assembly process and to design a new workplace that will be efficient and safe for the health and well-being of the worker. The thesis also includes a research on the ergonomics of assembly workplaces, where the key parts directly related to the analyzed workplace are selected. Finally, an evaluation of the final design in terms of ergonomics, quality and economic aspects is made.

Obsah

1. Úvod	7
2. Představení ergonomie	8
2.1. Definice ergonomie	8
2.2. Historie ergonomie	8
3. Ergonomie montáže	11
3.1. Pracovní prostředí	11
3.1.1. Fyzická zátěž	12
3.1.2. Pracovní poloha	13
3.1.3. Pracovní pohyby	17
3.1.4. Základní vybavení pracovního místa	19
3.1.5. Světlo	21
3.1.6. Hluk	22
3.1.7. Hodnocení ergonomického řešení	22
4. Analýza současného stavu pracoviště montáže	23
4.1. Představení společnosti SOPO s.r.o.	23
4.2. Charakteristika pracoviště ve stávající podobě	24
4.2.1. Montážní postup	24
4.2.2. Časový průběh montáže	27
4.3. Ergonomické posouzení pracoviště	27
4.3.1. Pracovní poloha	27
4.3.2. Pracovní pohyby	29
4.3.3. Efektivita montáže	30
5. Návrh optimalizace pracoviště	31
5.1. Představení finálního návrhu pracoviště	31
5.2. Rozbor jednotlivých komponent	33
5.2.1. Stůl	33

5.2.2.	Židle	34
5.2.3.	Pneumatický úderník	34
5.2.4.	Pneumatické nůžky	35
5.2.5.	Pružinový balancér	36
5.2.6.	Přípravek pro uchycení rotoru	37
6.	Zhodnocení optimalizace pracoviště	38
6.1.	Hodnocení pracovních pohybů	38
6.2.	Hodnocení pracovní polohy	38
6.3.	Vliv optimalizace na kvalitu a kvantitu	40
6.4.	Ekonomické zhodnocení	40
7.	Závěr.....	42
8.	Seznam použité literatury	43
9.	Seznam obrázků.....	45
10.	Seznam tabulek	46

1. Úvod

Předmětem této bakalářské práce je posouzení ergonomie pracoviště montáže rotorů ve společnosti SOPO s.r.o. a jeho následná optimalizace. Je to proces, který by měl přinést řadu výhod jak pro pracovníka, tak pro celý výrobní závod. V první řadě se jedná o zlepšení předpokladů pro fyzické, psychické zdraví pracovníka a jeho pohodu, také ale o efektivitu jeho práce, jež je klíčová pro prosperitu celé firmy.

První část je teoretická. Upřesňuje, jaká je definice ergonomie a jaké jsou její cíle. Je zde taktéž představen vývoj ergonomie od historicky prvních náznaků, po ergonomii současnosti.

Následující kapitola je taktéž rešeršního rázu a zaměřuje se přímo na problematiku ergonomie montážních pracovišť, jež je hlavním předmětem této práce.

Další kapitolou je analýza současného stavu montáže. Zde jsou podrobně rozebrány kritické aspekty původního pracoviště jak z hlediska zdravotních dopadů na pracovníka, tak z hlediska efektivity práce. Škodlivost pracovních poloh je vyhodnocena simulací v programu Technomatix Jack 9.0

V předposlední části je představen návrh optimalizovaného pracoviště. Návrh je sestaven na základě analýzy pracoviště původního stavu pracoviště a poznatků z rešeršní části. Návrh je nejprve uveden jako celek s přesným popisem zásadních částí a principů optimalizace. Následně je proveden podrobný rozbor jednotlivých optimalizovaných komponent pracoviště a jejich možných alternativ, jež vzešli z procesu navrhování.

Poslední část je věnována zhodnocení finálního návrhu optimalizace. Týká se zdraví a pohody pracovníka, dále také kvality výroby, efektivity práce a ekonomických aspektů. Optimalizované pracoviště je nakonec opět podrobena simulaci v programu Technomatix Jack 9.0 pro vyhodnocení rizik pracovních poloh.

2. Představení ergonomie

V této kapitole nadefinujeme pojem ergonomie a ve stručnosti se seznámíme s jejím základním vývojem napříč historií.

2.1. Definice ergonomie

Ergonomie je komplexní interdisciplinární vědní obor, jež zkoumá vztah mezi člověkem, strojem a pracovním prostředím. Termín ergonomie pochází z řeckého ergon (práce) a nomos (řád, zákon). Cílem ergonomie je vytvořit takové pracovní místo, ve kterém se pracovník bude cítit dobře a bude nezávadné po fyzické i psychické stránce, při dosažení co nejvyšší možné efektivity práce. Během posuzování a následném návrhu optimalizace pracovního místa by mělo být zdraví a pohoda zaměstnance hlavním faktorem, ekonomické výstupy by měly být brány v potaz až na druhém místě. Oficiální definice podle České státní normy (ČSN) Evropské normy (EN) 614-1 + A1 (85 3501) zní: *Ergonomie (studium lidských činitelů) se zabývá studiem vzájemných vztahů (interakce) mezi lidmi a dalšími prvky systému. Ergonomie aplikuje teoretické poznatky, mezi lidmi a dalšími prvky systému. Ergonomie aplikuje teoretické poznatky, zásady, empirická data a metody pro navrhování zaměřené na optimalizaci pohody osob a celkovou výkonost systému.* [9]

2.2. Historie ergonomie

V této kapitole si přiblížíme vývoj ergonomie napříč lidskou historií. Ergonomie jde ruku v ruce s technickým pokrokem a málokdy za ním zaostává. S absencí ergonomie by lidstvo naráželo na bariéry fyzických a mentálních hranic člověka a další pokrok by nebyl možný.

Starověk

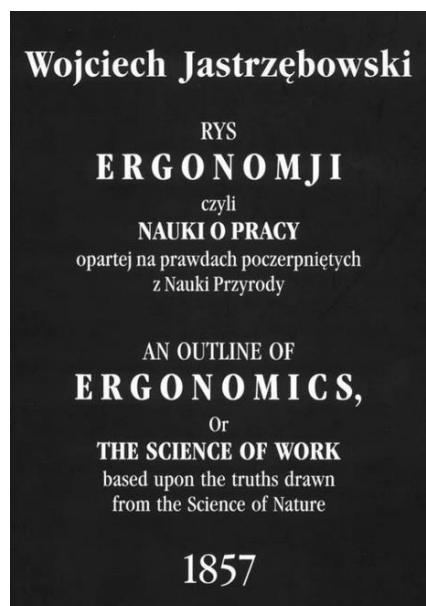
První historicky doložený důkaz o existenci úvah o problematice ergonomie a jejího uplatnění pochází ze starověkého Řecka. Již v tomto období se při navrhování nástrojů a pracovních míst používaly ergonomické zásady. Příklad lze nalézt v textu, který publikoval Hippokrates. Popisuje, jak by mělo být navrženo pracoviště chirurga a jak by měly být uspořádány nástroje, které používá. Egypťské archeologické nálezy taktéž

ukazují, že se používaly ilustrované ergonomické zásady pro používání náradí či dokonce vybavení domácnosti. [1]

Průmyslová revoluce

Průmyslová revoluce si vyžádala zvyšování požadavků na fyzickou a psychickou zátěž pracovníků, která často hraničila s jejich limity. Otázka ergonomie se tak stávala nevyhnutelnou součástí průmyslu, na které mohla stát úspěšnost celého podniku.

Do širšího povědomí veřejnosti se pojem ergonomie dostal v roce 1897 po anglickém překladu knihy o ergonomii publikované polským přírodovědcem Wojciechem Jastrzębowski. Náhled této knihy je znázorňuje obrázek č.1.



Obrázek 1: Kniha o ergonomii [2]

Na počátku 20. století se v oblasti ergonomie prosadil Frederick Winslow Taylor, který šířil metodu „vědeckého řízení“. Tato metoda spočívala v systematickém hledání způsobu jak optimalizovat daný pracovní úkon tak, aby byl prováděn co nejefektivněji. Jeden ze známějších příkladů jeho práce je optimalizace procesu přehazování uhlí velkým množstvím pracovníků. Odstraněním nepotřebných kroků při práci a správnou systematizací docílil trojnásobné efektivity práce.

Taylorovi metody zpochybňovali ruští badatelé Vladimir Bekhterev a Vladimir Nikolayevich Myasishchev. Byli toho názoru, že dbají pouze na vysokou efektivitu práce a neberou tak v úvahu zdravotní rizika a pohodu pracovníka, které byly prioritou jejich vlastních metod. Přiblížili se tak více moderní ergonomii, jakou známe dnes. [2]

První a druhá světová válka

Je obecně známo, že během válek dochází k největšímu pokroku v technologiích. Ten se nevyhnul ani ergonomii. Zvýšená produkce strojů si vyžádala mnoho ergonomických optimalizací, jelikož přímo ovlivňovaly efektivitu zbrojení. Poprvé se také v tomto oboru začalo zkoumat chování a psychologie člověka. Ukázkovým příkladem je navrhování kokpitů bojových letadel. Klíčem k úspěchu je zde dobrá koordinace pilota s přístroji navrženými tak, aby umožňovaly rychlou, intuitivní reakci. Bylo prokázáno, že mnoho nehod bylo způsobeno špatnými, nelogicky navrženými koncepty ovládání.

Informační revoluce, současnost

60. léta 20. století přinesla rozkvět počítačových systémů. Interakce člověka s počítačem si vyžádala další vývoj ergonomie. Systémy musely být navrženy tak, aby bylo umožněno, jednoduché a pro člověka co nejsnadněji pochopitelné ovládání. S počítači se také dostavily zdravotní problémy způsobené dlouhým, monotónním sezením u obrazovky, jež vyžadovaly další ergonomické řešení.

V současné době se z ergonomie stala nepostradatelná vědní disciplína, jež se vyvíjí mílovými kroky a aktivně se aplikuje napříč profesemi. Od inženýrů, doktorů, řemeslníků, po šoféry, návrháře, pracovníky v kanceláři apod. [2]

3. Ergonomie montáže

Jsou-li montážní systémy navrhovány dle ergonomických zásad, přináší to mnoho sociálních i ekonomických výhod. Mezi sociální cíle patří zlepšení zdraví pracovníků, snížení zátěže fyzické i psychické, menší předpoklady pro chronické onemocnění, větší pohodlí, zvýšení bezpečnosti. Tyto faktory vedou k větší spokojenosti a tím i k motivaci pracovníků pro dobře vykonanou práci.

Zaznamenané ekonomické cíle jsou zkrácení doby cyklu, zvýšení produktivity, snížení výrobních nákladů, vysoká návratnost investic, zvýšení flexibility, zvýšení kvality výrobků, snížení počtu systémových a lidských chyb, snížení ztrát pracovní doby, snížení počtu pracovních neschopností, snížení nákladů na úrazy.

Při profesionálním návrhu pracoviště je třeba dobré schopnosti umět ergonomické zásady flexibilně a správně aplikovat. Přímá aplikace ergonomických zásad je často v rozporu s jinými požadavky na návrh. Jak technickými, tak ekonomickými. Dobrý ergonom by tedy měl vládnout jednak dobrou teoretickou znalostí ergonomie, v první řadě ale schopností dobře porozumět chodu firmy po všech stránkách a skloubit ergonomické řešení se všemi okolnostmi. [3]

Ergonomické zásady, které zajišťují psychickou a fyzickou ochranu pracovníka jsou jasně definovány normami a jejich plnění je při návrhu pracovního místa klíčové. Bude zde představeno několik zásadních okruhů ergonomických zásad s důrazem na ty, jež se přímo týkají problematiky montáže rotorů ve společnosti SOPO s.r.o.

3.1. Pracovní prostředí

Pracovní prostředí tvoří soubor fyzikálních, chemických, biologických, fyziologických a socioekonomických faktorů působících na pracovníka.

Závažnost ohrožení zdraví se posuzuje na základě porovnání hodnot hygienického limitu daným normami s hodnotami zjištěnými v provozu. Normované limity se týkají skutečně mnoha faktorů a definuje je nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [4], [1]

3.1.1. Fyzická zátěž

- 1) **Celková fyzická zátěž** – dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. se jako celková fyzická zátěž hodnotí taková zátěž, při níž je zatěžováno více než 50% svalové hmoty dynamickou fyzickou prací vykonávanou velkými svalovými skupinami. Limity celkové zátěže se hodnotí na základě energetického výdeje vztaženého na jednotku času. Jedná se o limity přípustné za minutu, osmihodinovou směnu, rok. Hodnotí se i hodnoty srdeční frekvence za standardní směnu. Příklad normy zobrazují tabulky č. 1 a 2.

Tabulka 1: Přípustný energetický výdej [1]

Energetický výdej	Jednotky	Muži	Ženy
Směnový průměrný	MJ	6,8	4,5
Směnový přípustný	MJ	8	5,4
Roční průměrný	MJ	1600	1060
Minutový přípustný	$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$ w	34,5 575	23,7 395

Tabulka 2: Přípustný limit tepové frekvence [1]

Průměrná ^{a)}	102
Nejvyšší přípustná ^{b)}	110
Zvýšení nad výchozí hodnotu ^{c)}	28

- 2) **Lokální svalová zátěž** – zátěž malých svalových skupin nejčastěji posuzovaných u práce rukou a nohou. Hygienické limity jsou definovány jako počet pohybů, které jsou prováděny při vynaložení určité síly F_{\max} (maximální možná vynaložená síla pracovníka konkrétními svalovými skupinami v dané poloze) Limity počtů pohybů jsou uvedeny v tabulce č.6, příloze č.5, části A nařízení vlády 361/2007 Sb. Při překračování limitů lokální svalové může docházet k přetížení svalových skupin a tak i k chronickým onemocněním.

V mnohých případech se krátkodobé překročení limitů stává nevyhnutelnou součástí výrobního procesu. Takovýto případ musí být řešen bezpečnostními přestávkami, častou změnou činnosti či střídáním pracovníků. [1], [4]

3.1.2. Pracovní poloha

Pracovní poloha definuje polohu, v níž je daná práce prováděna. Ve všech pracovních polohách je třeba zajištění dostatečné stability celého těla, jež předchází přílišné zátěži muskuloskeletálního systému. Pracovní polohy by měly být voleny tak, aby byly ze zdravotního hlediska nejvíce vyhovující.

Hodnocení pracovní polohy z hlediska zdravotních rizik se provádí dle zařazení mezi přijatelnou, podmíněně přijatelnou a nepřijatelnou polohu. Dále se hodnotí polohy jednotlivých částí těla dle vzájemných úhlů.

Při práci, kde je zaujímání podmíněně přijatelných a nepřijatelných pracovních poloh nevyhnutelné a překračuje hygienické limity, musí být práce přerušována bezpečnostními přestávkami. Ty by měly být opakovány každé dvě hodiny a trvat 5-10 minut.

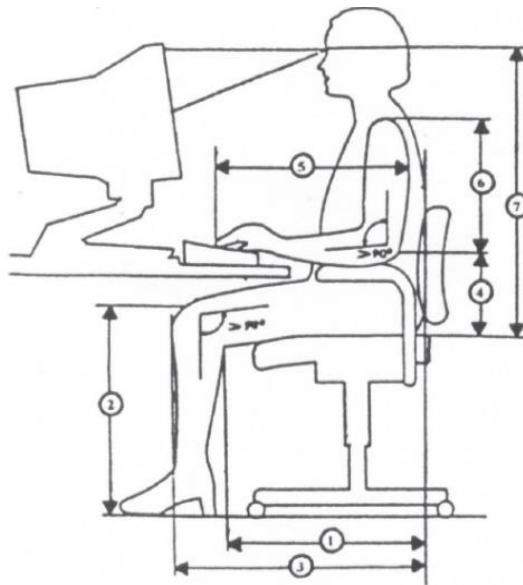
Nejběžnější pracovní polohy jsou vsedě a ve stoje. U určitých profesí se můžeme setkat i s polohou vleže, vkleče, dřepu či předklonu (např. automechanici). Zde se budeme zabývat pouze nejzásadnějšími polohami, jež jsou v praxi nejčastěji zastoupené. Práci v sedu a ve stoje. Výhody poloh vsedě a ve stoje zobrazuje tabulka č.3. [1], [4]

Tabulka 3: Porovnání výhod sedu a stoje [7]

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

Obrázek č. 2 zobrazuje ideální polohu vsedě při práci s počítačem. V této poloze je hlavní zásadou vzpřímené sezení (případně za využití opěrek) tak, aby jednotlivé končetiny svíraly tupé úhly. Obrázek č. 3 zobrazuje tři správné, základní způsoby sezení při specifických činnostech

Za symetrického držení trupu, hlavy a krku k ose těla musí být vyloučeno vytáčení trupu a osa ramen musí být rovnoběžná s osou pánve. Tato zásada je vyobrazena na obrázku č. 4, jež se zabývá hodnocením polohy trupu. [8]



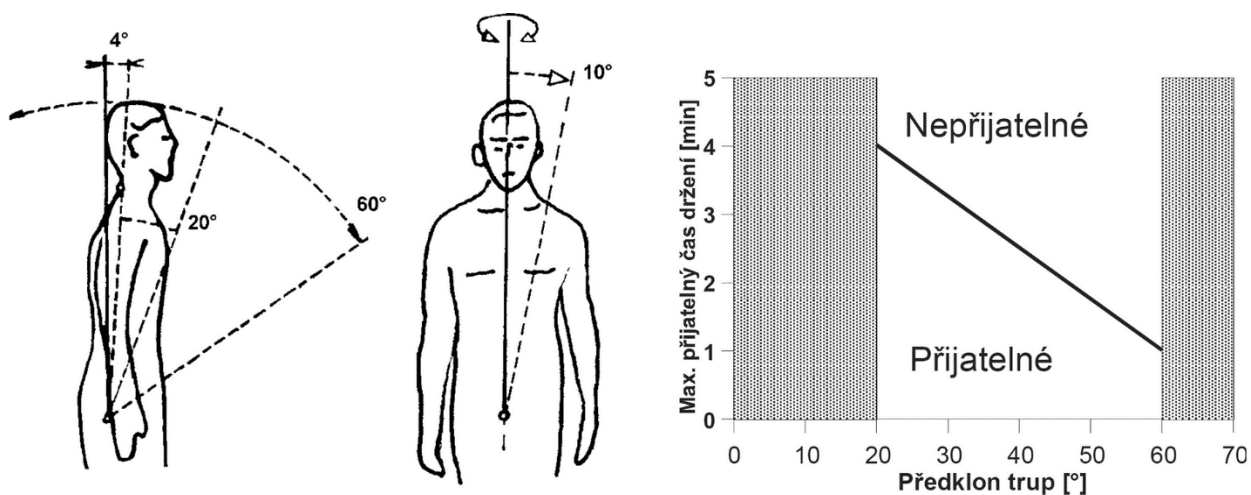
Obrázek 2: Správná poloha vsedě [8]



Obrázek 3: základní způsoby sezení – přední, střední a zadní [8]

Trup

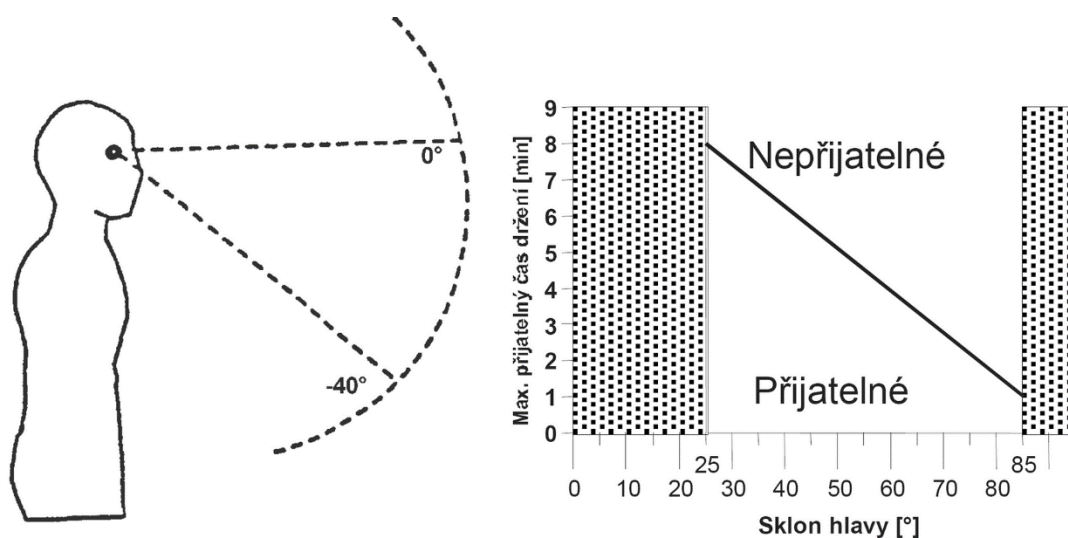
Schéma na obrázku č. 4 zobrazuje úhly při rozličných pozicích trupu (předklon, záklon, úklon). Vzhledem k časovému intervalu, v němž pracovník setrvává v dané pozici se určí stav přijatelný či nepřijatelný. [1]



Obrázek 4: Polohy trupu vztahované k časovému intervalu [1]

Hlava a krk

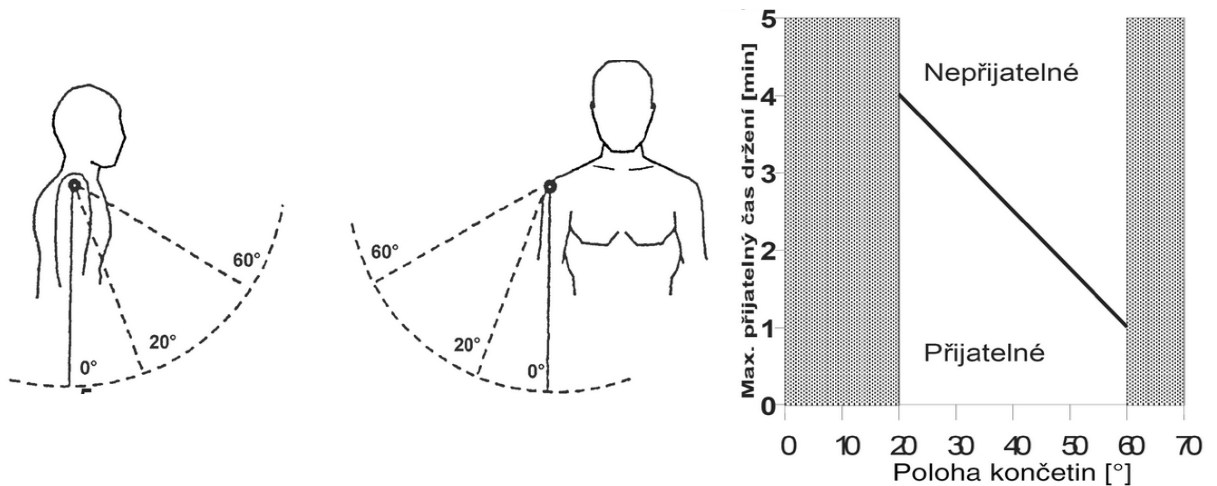
Hlava a krk musí být při pracovní činnosti v takové pozici, aby nedocházelo k nežádoucím záklonům a předklonům. Vychází se z úhlu pod horizontální rovinou oka. Schéma polohy hlavy a krku je zobrazeno na obrázku č. 5. [1], [8]



Obrázek 5: Poloha hlavy vztahovaná k časovému intervalu [1]

Horní končetiny

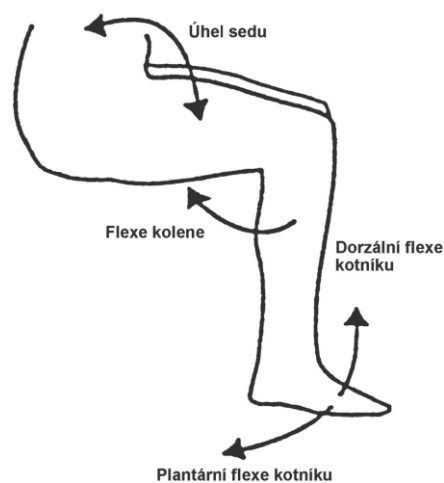
Horní končetiny vykonávají naprostou většinu požadované práce. Obrázek č. 6 zobrazuje opět polohu horních končetin v závislosti na časovém intervalu, v němž je či není daná poloha přijatelná. [1], [4]



Obrázek 6: Poloha horních končetin v závislosti na časovém intervalu [1]

Dolní končetiny

Norma popisující polohu dolních končetin není natolik konkrétně zadefinována jako je tomu u ostatních částí těla. Podmínečně přijatelné a nepřijatelné stavy jsou u statických poloh určeny extrémní polohou kloubů, u dynamických frekvencí pohybů za minutu. Podmínečně přijatelné polohy nesmějí trvat více než 4 hodiny. Úhly, jež se u polohy nohou hodnotí, znázorňuje obrázek č.7. [1], [4]



Obrázek 7: Poloha dolních končetin [1]

Podrobné informace a tabulky jež konkrétně specifikují přijatelné, nepřijatelné a podmíněčně přijatelné polohy ke všem zmíněným částem těla jsou k nalezení v příloze č. 5 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [1], [8]

Práce v nucené poloze

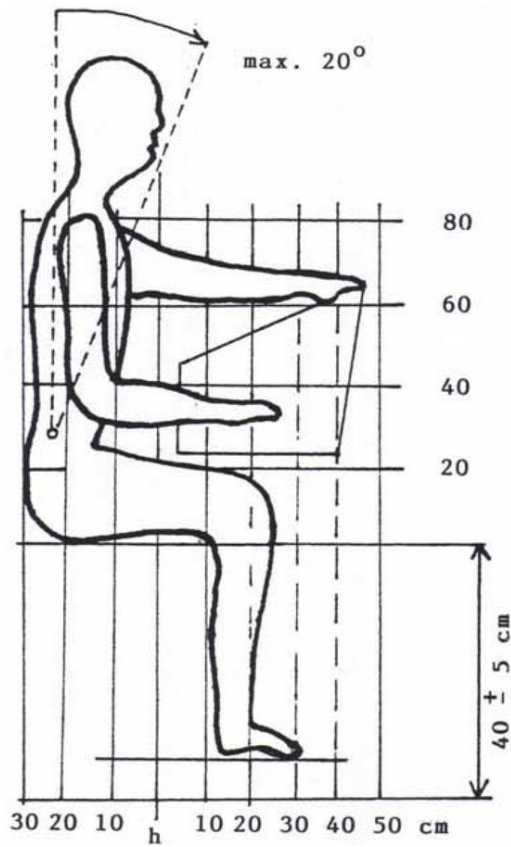
Za práci v nucené poloze je považována trvalá práce vsedě nebo vstoje. Nucené polohy jsou fyziologicky velmi nevhodné a zapříčiňují zvýšené zatížení částí těla statickým namáháním svalů, otláčením, natažením svalů atd. Následkem mohou být zdravotní problémy jako například křečové žíly či nateklá chodidla. Pro vyvarování se zdravotním následkům jsou zásadní preventivní opatření jako například krátká procházka při práci vsedě, či možnost se posadit při práci vstoje. [8]

Jak zásadní roli hrají v praxi pracovní polohy demonstruje např. výzkum společnosti Microsoft u administrativních pracovišť (2008). Byl proveden u tisícovky pracovníků ve Velké Británii. Poškození muskuloskeletálního systému stouplo meziročně o 30 % a ztráty na neodpracovaných hodinách vlivem léčení znamenaly 300 milionů liber. Dále průzkum zaznamenal, že 68 % z dotázaných pracovníků trpělo bolestmi zad, ramen, rukou či zápěstí. [8]

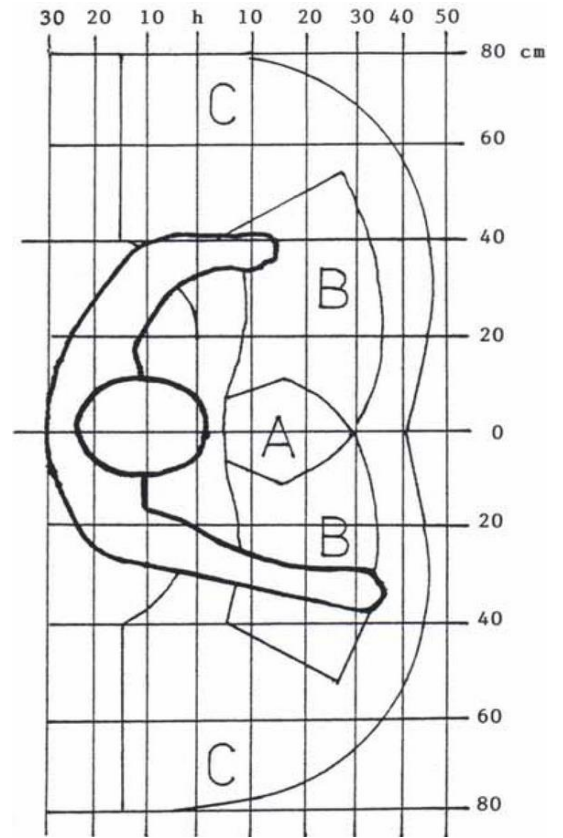
3.1.3. Pracovní pohyby

Pracovní pohyby musí být vykonávány takovou měrou, aby nedocházelo k přetížení používaných svalových skupin. Je-li to možné, je vhodné zajistit rovnoměrné zatížení obou končetin. Toho lze dosáhnout např. správným rozvržením pracovního místa. Dosahové vzdálenosti v různých rovinách jsou vyobrazeny na obrázcích č. 8 až 10. Tato norma rozděluje dosahové vzdálenosti do tří kategorií značených A, B a C.

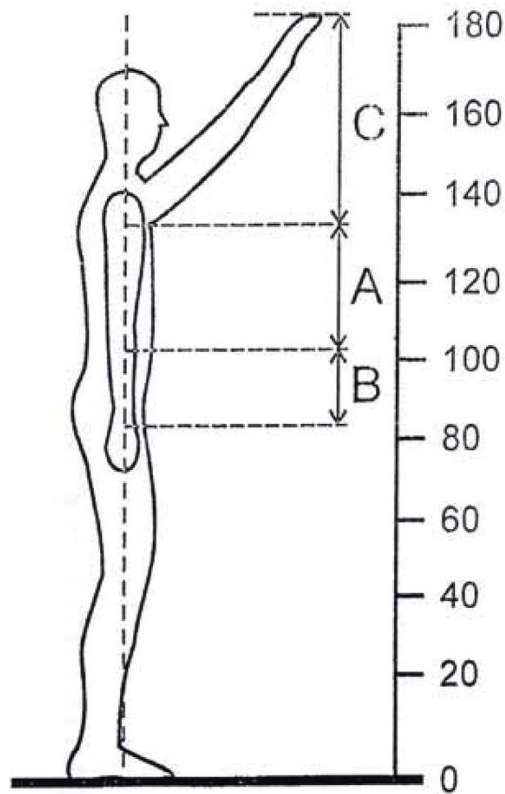
- Oblast A: Časté a přesné pohyby.
- Oblast B: Manipulace bez nutnosti měnit pracovní polohu. Zahrnuje mírný předklon a pohyby do stran.
- Oblast C: Maximální dosah. Méně časté pohyby s nutností vytáčení trupu. [1], [8]



Obrázek 8: Dosahy horních končetin při práci vsedě [1]



Obrázek 9: Dosahy horních končetin při práci vsedě a ve stoje [1]

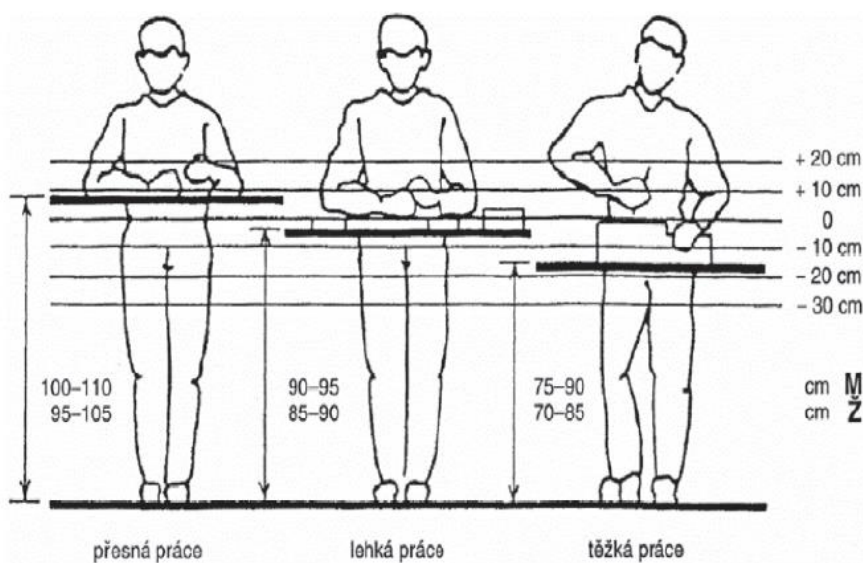


Obrázek 10: Dosahy horních končetin při práci vstoje

3.1.4. Základní vybavení pracovního místa

Základní vybavení pracoviště jednoznačně reprezentuje pracovní rovina (pro tuto práci budeme uvažovat stůl) a pracovní židle.

Pracovní stůl by měl svou konstrukcí odpovídat jednak práci na něm vykonávané (mohutnost, tuhost, odolnost povrchu atd.), hlavně ale tělesné konstituci samotného pracovníka. Touto skutečností se zpravidla míní výška, šířka a hloubka stolu. Pracovní stůl by měl být matný, aby se zabránilo nepříjemným odleskům, jeho povrch by měl být snadno čistitelný a neměl by mít žádné ostré hrany. Při střídání pracovníků o různé výšce je ideálním řešením stůl výškově nastavitelný. Takovýto stůl zároveň umožňuje změnu pracovní polohy pracovníka ze sedu na práci vsedě, a naopak. Stůl by měl taktéž umožňovat pohodlnou polohu nohou pod pracovní deskou. Obrázek č. 11 zobrazuje vhodnou výšku pracovní roviny vzhledem k charakteru vykonávané práce. Nulová rovina vychází z polohy loktů. [4], [8]



Obrázek 11: Výška pracovní roviny [8]

Pracovní židle jakožto vybavení, v němž drtivá většina pracovníků tráví velkou část svého života, je v současné době velmi diskutované téma. Špatná pracovní poloha vsedě je příčinou markantní části pracovních onemocnění. Zvláště v dnešní době, kdy více a více lidí pracuje za počítačem.

Dlouhodobý trend v oblasti kancelářských židlí jsou židle s maximálním možným počtem nastavitelných opěrek různých částí těla. Jedná se o nastavitelnou výšku sedáku, sklon sedáku, výšku bederní opěrky a jejího vydutí, dále o opěrky zad, loktů, šije. Židle bývají opatřeny různými druhy mechanismů, jež spojují sedák s opěrákem a určují tak jejich vzájemný pohyb. Při záklonu opěráku se automaticky zmenší úhel sedáku vůči opěráku a naopak. Tato schopnost umožňuje tzv. dynamické sezení, jež spočívá v konzistentním kopírováním pohybů pracovníka vsedě a zamezuje tak strnulému sezení v jedné poloze. Na trhu se objevují i židle s tzv. balančním sedákem, který umožňuje jeho volný pohyb ve třech osách a zabraňuje tak nevhodným tělesným úhlům při různých pracovních pohybech.

Další poměrně běžnou možností jsou židle pro asistované stání, jež kombinují výhody pozic vsedě a ve stoje. V oblasti pracovních židlí existuje vskutku obrovská škála ergonomických variací. Od běžných pracovních stoliček po méně běžné varianty jako jsou židle s kombinací sedu a klečení, či technické „výstřelky“ jako židle exoskeletální pro vysokou mobilitu.

Výběr židle pro dané pracovní místo závisí v první řadě na charakteru práce, jež zahrnuje průměrnou dobu sezení pracovníka, požadavky na volnost pohybu, požadavky na prodyšnost, omyvatelnost apod. Dobré je také zvážit, zda je vhodnější židle kolečková, či statická. Příklady konstrukcí židlí zobrazují obrázky č. 12 až 15.



Obrázek 13: Ergonomická židle [10]



Obrázek 12: Pracovní stolička [11]



Obrázek 14: Stolička pro asistované stání [12]



Obrázek 15: Exoskeletální židle [13]

3.1.5. Světlo

Dalším faktorem, který výrazně ovlivňuje kvalitu pracovního místa jsou světelné podmínky. Nedostatečné osvětlení či oslňující zdroj světla mohou způsobovat zrakovou únavu, bolesti hlavy či pálení očí. Pro lidské tělo je ideální přísun přirozeného denního světla, jež se promítá i do lidských biorytmů. Zajistit dostatečný přísun denního světla pro práci jako samostatný zdroj je v mnoha případech téměř nemožné. Používá se tedy osvětlení umělého, či kombinace denního a umělého osvětlení. Při navrhování osvětlení pracoviště je důležité adaptovat osvětlení charakteru práce. Pro dané aplikace může být důležitý kontrast, jinde věrnost podání barev, či dobrá schopnost identifikace kritického detailu. Zvláštní pozornost si pak žádá osvětlení pracovišť s rotujícími částmi. V určitých případech může dojít ke shodě frekvence světla s frekvencí otáček. Objekt se pak v očích pracovníka iluzorně zastaví a může způsobit vážné problémy. Pro návrh osvětlení lze vycházet z normy: ČSN EN 12464-1 (360450) Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů. [4],[8]

3.1.6. Hluk

Za hluk je považován nepříznivý zvuk, který negativně ovlivňuje zdraví. Může způsobit řadu problémů od bolestí hlavy po nevratné poškození sluchu. Hluk se vyjadřuje v hodnotách akustického tlaku L_p . Jednotkou je decibel (dB). Dalším kritériem je výška zvuku v Hz. Obecně platí, že čím vyšší frekvence, tím škodlivější zvuk. Extrémní variantou je pak zvuk kolísavý. Při nadměrné sluchové zátěži je zaměstnavatel povinný poskytnout ochranu sluchu, v méně nebezpečných situacích náležitě přestávky. Následující tabulka přibližuje intenzitu zvuku v různých situacích. [4], [8], [14]

Tabulka 4: Příklady intenzity zvuku [14]

Příklad zvuku	Intenzita dB
Práh slyšení	0
Šelest listí (šum listí při slabém větru)	10
Klidná zahrada	20
Šepot, tichý byt, velmi tichá ulice	30
Tlumený hovor	40
Pouliční hluk (normální)	50
Hlasitý hovor	60
Silně frekventovaná ulice, hlučný hostinec	70
Křik, velmi silná reprodukováná hudba	80
Jedoucí vlak	90
Pneumatická sbíječka, maximální hluk motoriky	100
Diskotéka, hlasité obráběcí stroje	110
Startující letadlo, práh bolestivosti	120

3.1.7. Hodnocení ergonomického řešení

Existuje mnoho dalších odvětví ergonomie, které zde nebyly zmíněny. Patří mezi ně např. hodnocení psychické zátěže, vibrací, výměny vzduchu, výskyt nepříznivých chemických prvků, vliv estetiky, hudby atd. Souhrn působení všech těchto okolností se nazývá kumulativním působením faktorů pracovního prostředí. Důsledky působení kumulativních faktorů se zabýval např. H. J. Bullinger a z jeho výzkumů lze vyčíst mnoho přínosných informací.

Pro základní ergonomické hodnocení se užívá tzv. checklistů. Informace z provozu se hodnotí v porovnání s hodnotami danými normami a doporučeními. Pro detailní vyhodnocení se využívá simulačních programů, které po vymodelování daného pracoviště a činnosti spojitě vyhodnocují rizikovost dané činnosti zejména v oblasti pracovních poloh a pohybů.

4. Analýza současného stavu pracoviště montáže

V této kapitole se budeme zabývat analýzou současného stavu pracoviště. Jedná se o stacionární pracoviště pro zapojování vinutí rotorů do komutátoru firmy SOPO s.r.o. Analýzu provedeme na základě detailních záznamů z provozu a bude podkladem pro následný návrh optimalizovaného řešení. Zhodnocení bude vypracováno uvedením v praxi mnohých, zde již uvedených poznatků týkající se ochrany zdraví a pohody pracovníka, také ale ze stránky technicko-ekonomické.

4.1. Představení společnosti SOPO s.r.o.

Společnost SOPO s.r.o. je vývojově-výrobní firma v oboru navíjení rotorů a statorů založená v roce 1993. Věnuje se realizacím početných sérií, ale i kusové zakázkové výrobě a škála jejich výrobních a montážních pracovišť je velice široká. Zahrnuje pracoviště čistě ruční charakteristiky, jež vynikají vysokou flexibilitou při změnách produktu, ale i pracoviště na vysoce automatizované úrovni. Na obrázku č. 16 je k vidění areál SOPO s.r.o. v současné podobě.



Obrázek 16: Areál SOPO s.r.o. [15]

4.2. Charakteristika pracoviště ve stávající podobě

Zde si představíme, jak probíhá montáž rotorů na pracovišti v současné podobě. Vstupní informace, jež jsem obdržel k analýze se týkají konkrétního kroku montáže, a to zapojování měděných drátů vinutí do komutátoru. Na následujícím obrázku je vidět pracoviště v původní podobě před optimalizací.



Obrázek 17: Konfigurace montážního pracoviště v původním stavu

4.2.1. Montážní postup

V montážním procesu užívá pracovník následující nástroje: důlčik s upraveným hrotem, kladivo o hmotnosti 300 g, štípací kleště, filetovací nůž. Upínací přípravek je otočný, pracovník si tedy rotor vždy natočí do vhodné polohy. Ručně nastaví drát do pozice nad drážkou komutátoru a provede tři až čtyři údery pomocí kladiva a důlčíku. Tento cyklus provádí periodicky v závislosti na počtu drážek daného komutátoru. Po zapojení drátů je třeba odstříhat přebytečné délky drátu přesahující drážky samotné. Pro tuto činnost má pracovník předepsané štípací kleště. Při takovémto pracovním postupu operátor prováděl pohyb svírání kleští, který může v závislosti na tloušťce drátu vyžadovat velikou sílu. Pohyb prováděl s vysokou periodou a ve velmi nevhodné poloze zápěstí. Z tohoto důvodu přešel pracovník vlastní invencí na postup, jenž spočívá v odsekávání drátu za pomoci kladiva a filetovacího nože. Odsekávání vždy provádí po

zapojení přibližně každé jedné třetiny vinutí. Po odsekání přebytečné délky drátů pracovník ručně, za použití relativně malé síly odlomí zbylé dráty, které samovolně neodpadly. Operace jsou chronologicky vyobrazeny na obrázcích č. 18-21.



Obrázek 18: Operace č. 1 - Umisťování drátu do vhodné polohy před úderem



Obrázek 19: Operace č. 2 - Úder za pomoci důlčíku a kladiva



Obrázek 20: Operace č. 3 - Odsekávání drátů nožem



Obrázek 21: Operace č.4 - Odlamování drátů

4.2.2. Časový průběh montáže

Pro konkrétní velikost rotoru, u kterého analýzu provádím, platí, že počet drážek na komutátoru je roven 32. Od tohoto počtu se odvíjí celý časový průběh montáže. V následující tabulce jsou vypsány jednotlivé operace, jejich průměrná časová délka, počet opakování a celkový čas. Výraz „časově neanalyzované pohyby“ zahrnuje činnosti jako je např. pootočení rotorem, výměna nástrojů v rukou, krátkodobé protažení pracovníka atd.

Tabulka 5: Časový průběh montáže

Č. Operace	Činnost operátora	Počet opakování	Doba trvání [s]	Celkový čas [s]
1	Umístění drátu do polohy před úderem	32	2,5	80
2	Údery kladivem pro zapojení 1 drátu	32	2	64
3	Odsekávání drátů nožem	3	10	30
4	Odlamování drátů	3	8	24
5	Časově neanalyzované pohyby	-	-	20
Celková doba zapojování:				218

4.3. Ergonomické posouzení pracoviště

Zde je provedena analýza stávajícího pracoviště z hlediska negativních vlivů na pracovníka a efektivity práce.

4.3.1. Pracovní poloha

U vybavení stávajícího pracoviště je na první pohled zjevné, že je buď velmi staré, nebo z velké části „improvizované“. Pracovník zde svou práci vykonává vsedě na kancelářské židli.

Kancelářská židle je výškově nastavitelná a sama o sobě poskytuje pracovníkovi relativně dostatečnou oporu těla. Stůl je však výškově nenastavitelný a na proporce pracovníka a charakter práce velmi vysoký. Výškově nastavitelná židle nemá dostatečný rozsah, aby v kombinaci se zmíněným stolem poskytla optimální pracovní polohu. Je tedy vůči stolu příliš nízko. Tato poloha nutí pracovníka provádět montáž při úhlu loktů výrazně menším než 90°. Z pozorování pracovníka se jedná o úhel cca 70°. Tato poloha rukou je zásadně v rozporu s doporučením držet končetiny v tupých úhlech po větší část směny. Židle je kolečková a v tomto případě, kdy není třeba při práci vynakládat větší síly je akceptovatelná, nicméně židle statická by byla pravděpodobně optimální variantou.

Další spekulativní částí židle jsou opěrky předloktí. U použitého stolu je mnoho úložných prostor pod úrovní pracovní desky a pohybům při dosahování těchto míst mohou tyto opěrky překážet. Použitá židle také postrádá synchronní, či jiný účinný mechanismus, který by poskytoval dobrou oporu těla a pozici sedáku vůči zádové opěře při lehkém předklonu, v němž pracovník operuje po většinu směny.

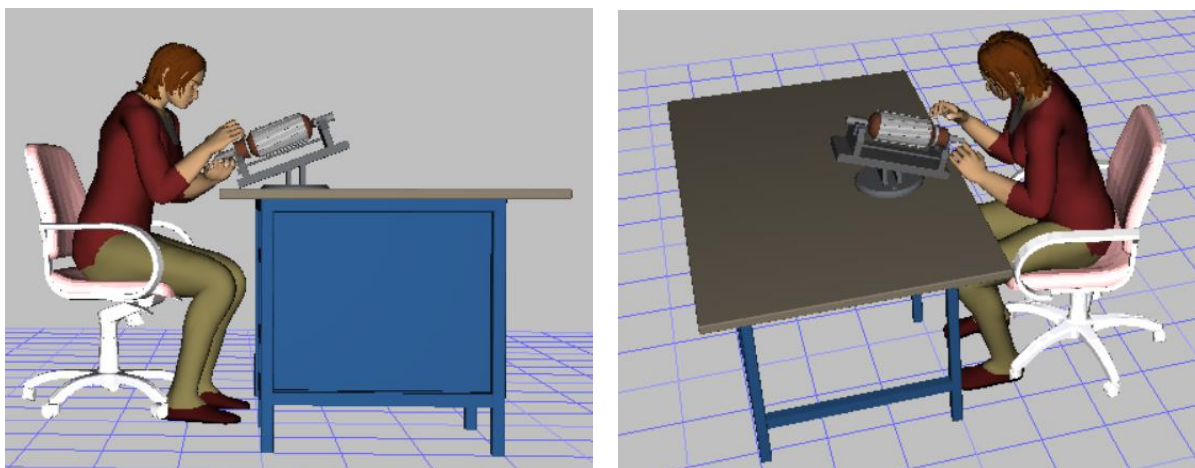
Stůl je, jak již bylo zmíněno, výškově nenastavitelný a jeho konstrukce je patrná z obrázku 17. Velké množství úložného prostoru má za následek omezení prostoru pro nohy. Ty pak musí setrvat v jedné strnulé poloze. Místo je omezeno jak ze stran, tak zepředu. Stůl je na proporce pracovníka velmi hluboký a zadních 30 cm se vymyká i dosahové zóně C. Přípravek pro uchycení rotorů je napolohován příliš blízko středovým úložným prostorům a nutí tak pracovníka sedět v nepřírozené poloze s vytáčením trupu.

Zjednodušený model stávajícího pracoviště je na obrázku č. 22. Na základě pozorování pracovníka a jeho polohy, v níž se drží po většinu části montáže, jsem jeho držení těla co nejpřesněji zreplikoval v programu Technomatix Jack 9.0. Ze simulace jsou patrné výše zmíněné problémy jako je vytáčení trupu, ostré úhly končetin apod.

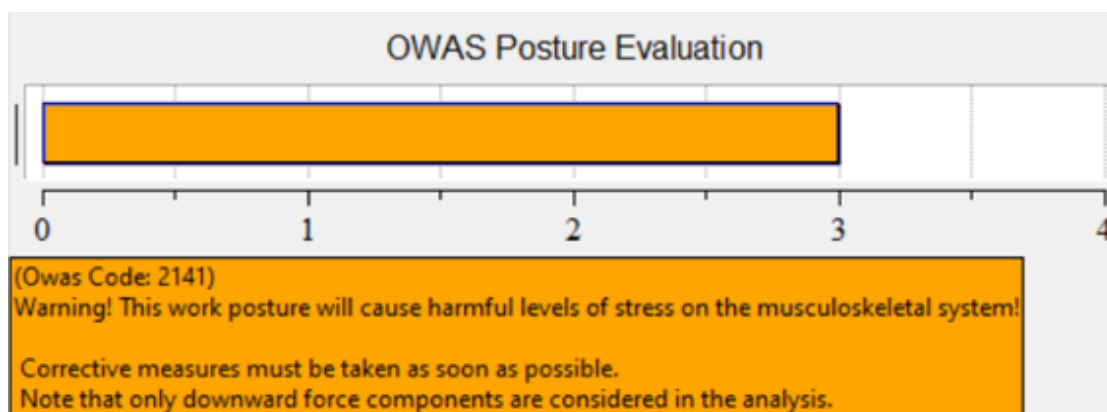
Dále jsem provedl zhodnocení dané polohy analýzou OWAS, jež je součástí programu Technomatix Jack 9.0. Analýza polohy přiřadila úroveň 3. Škálu hodnocení OWAS znázorňuje tabulka 6.

Tabulka 6: Škála hodnocení analýzy OWAS

Úroveň	Popis
1	Poloha v normě, není třeba zásahu
2	Poloha může mít na tělo škodlivý efekt, okamžité zásahy nejsou vyžadovány
3	Poloha má škodlivý efekt na tělo, zásahy jsou vyžadovány co nejdříve
4	Poloha má škodlivý dopad na tělo, zásahy jsou vyžadovány okamžitě



Obrázek 22: Poloha pracovníka na pracovišti ve stávající podobě



Obrázek 23: Hodnocení analýzou OWAS

4.3.2. Pracovní pohyby

Většina pracovních pohybů se odehrává v dosahové zóně A a B. Samotný přípravek pro upevnění rotoru se nachází v zóně A a všechny nástroje, které pracovník využívá pro tento druh montáže jsou, byť chaoticky, k dispozici v dosahové zóně B. Z tohoto hlediska je tedy pracoviště v pořádku. Vzhledem k charakteru práce lze předpokládat, že se jedná o pohyby s využitím průměrných 9 % F_{max} . Pro tuto hodnotu je dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb stanoven limit 21 800 pohybů za 8 hodin trvající směnu. Z pozorování lze určit, že pracovník vykoná za směnu 26 010 pohybů levou rukou a 39 780 rukou pravou. Obě tyto hodnoty limit překračují, přičemž hodnota na pravé ruce dosahuje téměř jeho dvojnásobku. Další zásadní roli hraje faktor, že zhruba třetina pohybů pravé ruky zahrnuje údery kladivem, jež jsou vykonávány v nevhodné pozici

zápěstí a způsobují opakované nežádoucí rázy (obr.č.19). Kromě celkového snížení počtu pracovních pohybů by tedy bylo vhodné tento krok zcela eliminovat.

4.3.3. Efektivita montáže

Efektivita na tomto pracovišti se odvíjí primárně od propracovanosti jednotlivých kroků montáže, jejich doby trvání a možnosti tyto kroky optimalizovat, sloučit, či úplně eliminovat. Touto problematikou se budeme zabývat v kapitole „Návrh optimalizace pracoviště“.

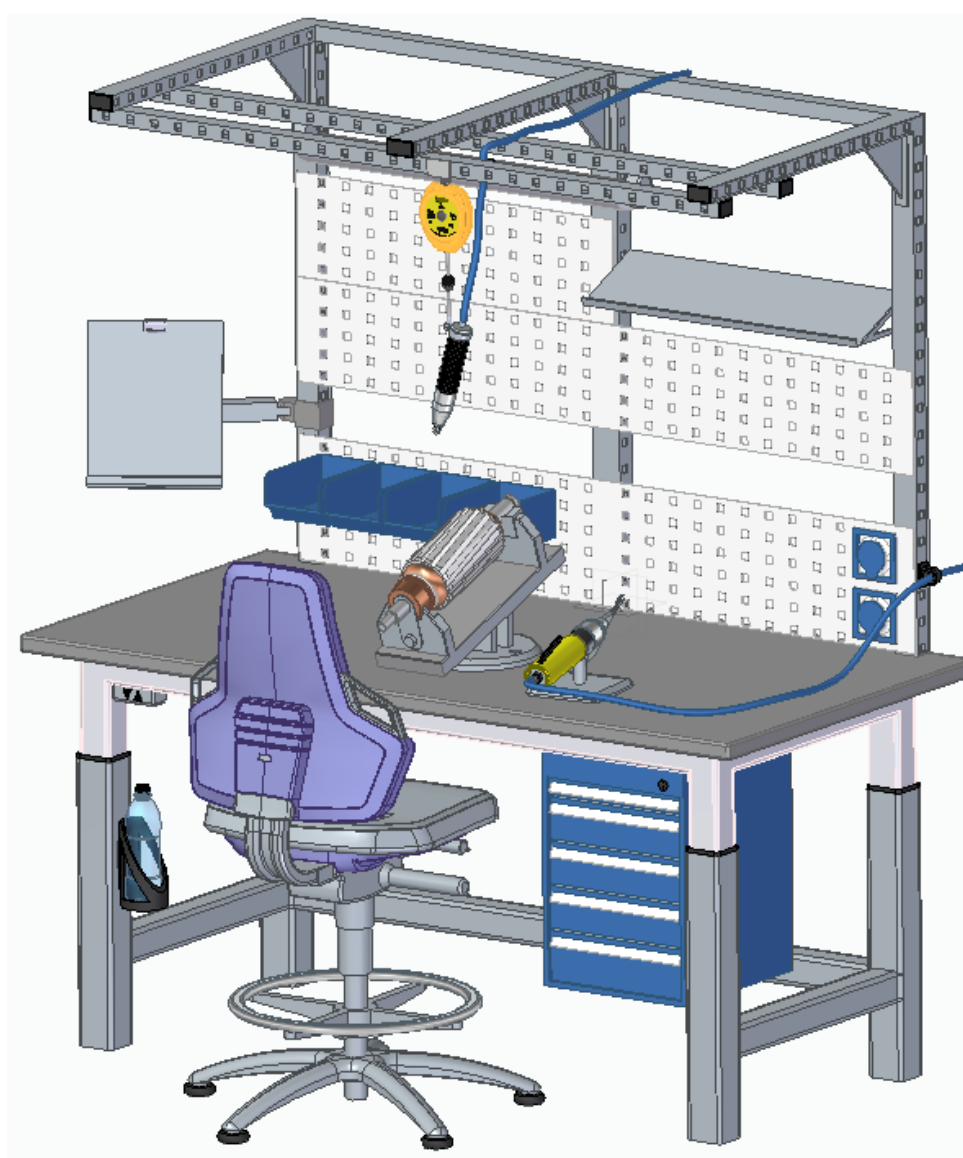
Pracovní místo samo o sobě je velmi neuspořádané (obr. 19). Věci nemají určené místo a většina z nich ani nesouvisí s montáží samotnou. Na pracovní desce se nachází dvě lahve na pití, kalendář, jídlo, průvodní listy, boxy s lepícími páskami atd. Tyto věci by se na pracovní desce vůbec vyskytovat neměly. Překáží práci samotné a znesnadňují čištění. Neuspořádanost stolu způsobuje také prostoje při práci vlivem znesnadněného hledání nástrojů a neustálou nutností věci přeskupovat při vytváření potřebného místa.

5. Návrh optimalizace pracoviště

Tato kapitola se zabývá optimalizací řešeného pracoviště. Optimalizace bude provedena na základě teoretických znalostí z rešeršní části a výstupů z analýzy pracoviště. Návrh bude projektován tak, aby při splnění všech ergonomických doporučení co možná nejvíce pozvedl efektivitu práce. Nejdříve bude prezentován kompletní návrh optimalizace s důrazem na posouzení efektivity práce, následně bude proveden detailní rozbor jednotlivých optimalizovaných komponent.

5.1. Představení finálního návrhu pracoviště

Na následujícím obrázku je znázorněn 3D model finálního návrhu optimalizace.



Obrázek 24: Finální návrh optimalizovaného pracoviště

Jedná se o ideální stav, který nebere v potaz finanční preference firmy. Návrh je nicméně velmi modulární a flexibilní pro požadovaný rozpočet. Toto téma bude podrobněji rozebráno v poslední kapitole této práce pojednávající mimo jiné o ekonomických aspektech návrhu. Návrh prošel dlouhým vývojem, ze kterého vyšlo několik dalších řešení, jež by spolehlivě plnila požadovanou funkci. Tato zástupná řešení zde budou pro jejich výhody zmíněna v kapitole 5.2.

Jádrem optimalizace je vyřazení všech operací, kde je za potřebí kladiva. Jedná se tedy o usazování drátů do drážek komutátoru a odsekávání zbytků. Tyto operace jsou kritické jak z hlediska zdravotního, tak z hlediska efektivity. Časová analýza kapitoly 4.2.2. rozděluje montáž do čtyř operací a neurčité páte, jež zahrnuje přesněji nespécifikované pohyby. První operace se týká umístění drátu do pozice nad drážkou před provedením úderu. Tuto operaci jsem shledal bez pokročilé robotizace, která by se pro toto použití pravděpodobně nevyplatila, velmi obtížně nahraditelnou a také zdravotně nejméně závadnou. Ve finální optimalizaci je tedy ponechána v původní podobě a představuje 80 vteřin z celkového procesu. Prostředí firmy poskytuje rozvod tlakového vzduchu. Pro operace 2 a 3 je tedy zvoleno použití pneumatických nástrojů specifických parametrů.

Údery kladivem a upraveným důlčikem byly plně nahrazeny pneumatickým úderníkem. Síla úderníku musí být dimenzována pro usazení drátu do drážky takovým způsobem, aby k provedení operace stačil jeden úder. Úderník je zavěšen na pružinovém balancéru, jež jednak eliminuje jeho hmotnost, v první řadě ale automaticky vrací úderník do ergonomicky vhodné polohy nad rotorem po každém použití. Jeho polohu si pracovník může přesněji nastavit dle svých preferencí. Úder se provádí pouhým přitlačením úderníku na dané místo a je proveden automaticky. Výsledkem tohoto kroku optimalizace je eliminace rizik lokálního svalového přetížení a zkrácení doby trvání operace z 64 na 30 vteřin.

Operace 3 a 4 se podařilo sloučit dohromady použitím pneumatických nůžek s vhodně upravenými čelistmi pro toto použití. Nůžky dráty plně odstihnou a operace 4 tak pozbývá smyslu. Pneumatické nůžky jsou umístěny na stojánku, jež svým úhlem napomáhá pracovníkovi vyvarovat se nevhodné poloze zápěstí. Jeho použití je ale diskutabilní, jelikož může nad ergonomicky vhodnou polohou převážit nevýhoda zvýšené pozornosti při navracení nůžek zpět do stojanu. Relevance tohoto příslušenství by se

musela taktéž ověřit experimentem v praxi. Optimalizace má opět za následek eliminaci zdravotních rizik a zkrácení doby trvání operací. U operace 3 se podařilo zkrátit čas z 30 na 12 vteřin. Operaci 4 se podařilo úplně eliminovat a ušetřit tak dalších 24 vteřin z celkového procesu.

Hodnoty ušetřeného času jsou pouhým předpokladem, jenž má základ ve fyzické „stínové“ simulaci pohybů bez vybavení a jeho úplná správnost by vyžadovala ověření v praxi.

Tabulka 7: Komparace časů před a po optimalizaci

Č. operace	Čas původní [s]	Čas po optimalizaci [s]	Ušetřený čas [s]
1	80	80	0
2	64	30	34
3	30	12	18
4	24	0	24
5	20	20	0
Celkový čas	218	142	76

Z tabulky č.7 vyplývá, že s optimalizací se celkový čas montáže zkrátí o 35 %.

5.2. Rozbor jednotlivých komponent

V této kapitole provedeme rozbor všech optimalizovaných komponent, jejich výhod, nevýhod a dopadů na pracovníka. Výběr komponent je proveden na základě rešerše trhu a je dostupný na skladech mnoha prodejců. Komponenty jsou popsány bez referencí na konkrétní značky a prodejce.

5.2.1. Stůl

Standardem moderní ergonomie jsou stoly elektricky výškově nastavitelné. Volil jsem tedy tuto variantu. Pracovník si tak může nastavit výšku stolu dle svých preferencí. Výškový rozsah stolu je dostatečný pro změnu pracovní polohy na polohu ve stoje, kterou pro účely tohoto druhu práce shledávám minimálně stejně vhodnou, jako polohu vsedě. Navržený stůl je čtyřnohý a tím pádem i velmi stabilní. Modularita stolu umožňuje uspořádání úložných prostor dle daných preferencí a integraci potřebných komponent, jako jsou zásuvky, přípojky na tlakový vzduch, světla atd. přímo do konstrukce stolu bez složitých montážních operací. Stůl jsem vybavil stojanem na dokumenty a držákem na

lahev. Cílem uspořádání úložných prostor a jednotlivých komponent je stav, kdy každá věc má na stole přesně dané místo. To zajišťuje jasný přehled o poloze nástrojů, snadné čištění a tím i úsporu času. Náhled navrženého stolu je patrný z obrázku 24.

5.2.2. Židle

Navržená židle má nastavitelnou výšku sedáku, sklon sedáku, výšku bederní opěrky a jejího vydutí. Židle postrádá opěrku hlavy a loktů. Pro charakter práce nemá opěrka hlavy význam a opěrky loktů by pouze překážely. Židle není kolečková a poskytuje tak pracovníkovi větší stabilitu při pohybech vyžadujících zvýšenou fyzickou sílu. Při správném ergonomickém uspořádání pracoviště z hlediska dosahových zón kolečková židle smysl taktéž postrádá. Židle je vybavena synchronní mechanikou, jež zajišťuje neustálé kopírování pracovníkova sedu. Kontinuálně tak poskytuje oporu těla bez nutnosti nastavování židle do vhodné polohy při každé změně sedu. Tuto mechaniku lze v případě potřeby zablokovat.

5.2.3. Pneumatický úderník

Pneumatický úderník, jak již bylo zmíněno, má za úkol nahradit důlčík a kladivo. Úderníky se používají pro různé aplikace. Nejčastěji pro ražbu značek do oceli či jiných materiálů. Jejich velikost se odvíjí od síly, jež jsou úderníky schopni vyvinout. Pro aplikaci usazování drátů do komutátoru je třeba experimentálně zjistit sílu, která je s dostatečnou rezervou schopna úkon provést. K zajištění efektivního průběhu montáže je důležité, aby usazení drátu proběhlo na jeden úder. Do úderníků je možno upnout různé razící nástroje. Pro naši aplikaci by se musel nástroj jednoduše obrobit, aby byl schopen provádět daný úkon. Model pneumatického úderníku v jeho nejběžnější podobě je zobrazen na obrázku č. 25.

Alternativou pneumatických úderníků jsou pneumatická kladiva. Ta provádějí údery s vysokou frekvencí a požadovanou funkci by jistě taktéž zajistila. Nevýhodou jsou vibrace, kterým je pracovník vystaven. Jak úderníky, tak kladiva existují také ve svých elektrických variantách. Ty nevyžadují rozvod tlakového vzduchu. Nevýhodou je však nutnost dobíjení a zvýšená hmotnost vlivem těžkého akumulátoru.



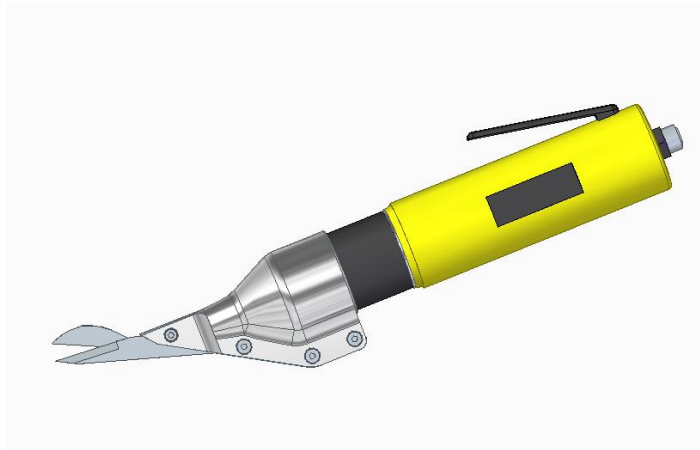
Obrázek 25: Pneumatický úderník

5.2.4. Pneumatické nůžky

Pneumatické nůžky se stejně jako úderník přímo podílejí na efektivitě montáže. Jsou zde náhradou za kladivo a nůž. Zvolena je varianta nůžek, kdy pohyb provádí pouze horní čelist. Spodní čelist tak při odstříhávání drátů nerušeně klouže po komutátoru. U výběru pneumatických nůžek je nutností vyhledávat ty varianty, které mají nízký profil dolní čelisti, jako je tomu na obrázku 26. Pracovník s nimi tak jednodušeji zajede pod dráty, jež odstříhává. Čelisti se případně dají jednoduše obrobit. Při práci s pneumatickými nůžkami nemůže dojít k poškození komutátoru, jako je tomu v původní operaci, kdy pracovník musel sílu úderu odhadnout tak, aby usekl dráty, ale zároveň nepoškodil komutátor. Možností je opět i akumulátorová varianta nůžek.

Další mechanicky jednoduchou variantou je odštípnout dráty za pomoci ručního lisu se zakázkově vyrobeným rádiusovým nožem. Lehký ruční lis by byl v ližinovém vedení s dorazem nad místem, kde je třeba dráty odštípnout. Pracovník by tak pokaždé lis pouze přisunul k sobě a zatáhl za páku. Doraz lisu by zajistil, že odštípnutí drátů proběhne bez poškození komutátoru.

Výhodou tohoto řešení je jednoduchost pracovních pohybů a nezávislost na připojení na tlakový vzduch či elektrinu. Problémem je však náročnost výroby rádiusových nožů. Na tomto montážním pracovišti se velikosti rotorů střídají a na každý rozměr by tak bylo potřeba jiného nože. Tento problém pneumatické nůžky zcela eliminují. Další nevýhodou je vyšší pořizovací cena kompletu v poměru k pneumatickým nůžkám. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny nůžky s vhodným tvarem spodní čelisti.



Obrázek 26: Pneumatické nůžky

5.2.5. Pružinový balancér

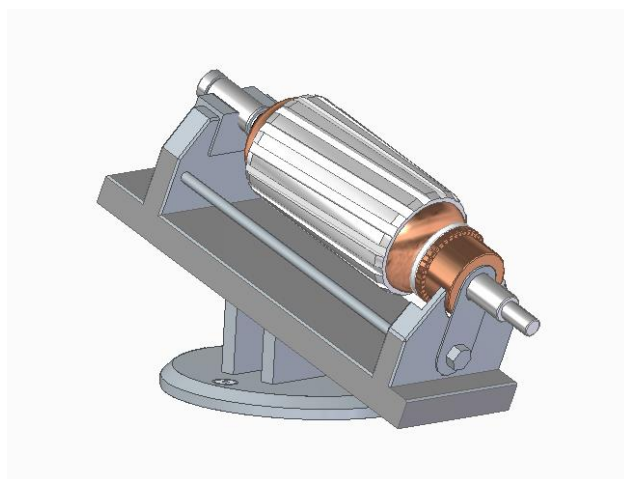
Pružinové balancéry jsou vyvažovací zařízení sloužící k závěsu břemen, nejčastěji nástrojů. Balancéry mají dvě zásadní schopnosti. Redukovat váhu nástroje a navracet samovolně nástroj do přednastavené polohy. Za správné nastavení balancéru odpovídá předepětí pružiny. Každý balancér má určitý hmotnostní rozsah, pro který je dimenzován. Pro kombinaci s pneumatickým úderníkem se bude pravděpodobně jednat o balancér s rozsahem 1-5 kg. Mnoho balancérů je vybaveno bezpečnostní brzdou, jež automaticky zastaví odvíjení lanka v případě pádu břemene. Nejběžnější provedení balancéru je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 27: Závěs úderníku na pružinovém balancéru

5.2.6. Přípravek pro uchycení rotoru

Vhodný přípravek pro uchycení rotoru je nejzásadnějším článkem efektivního procesu montáže. V původním stavu pracoviště je to nejspíš právě proto jediná komponenta specificky navržená pro dané použití. Přípravek dobře plní svou funkci z technického i ergonomického hlediska a je tedy ponechán v původní podobě i po optimalizaci. Jedinou přidanou vlastností je možnost předozadního nastavení jeho polohy vůči stolu. Ta poskytne pracovníkovi další možnost, jak si pracoviště ergonomicky upravit dle vlastních preferencí. Na obrázku č. 28 je tento přípravek vyobrazen v provozu s upnutím rotoru.



Obrázek 28: Přípravek pro uchycení rotoru

6. Zhodnocení optimalizace pracoviště

V této kapitole se zaměříme na výstupy, jež optimalizace přinesla. Nejprve shrneme zdravotní benefity a doložíme je analýzou v programu Technomatix Jack. Dále krátce zhodnotíme výstupy kvalitativní a kvantitativní. Nakonec provedeme analýzu nákladů pro zavedení optimalizovaného pracoviště.

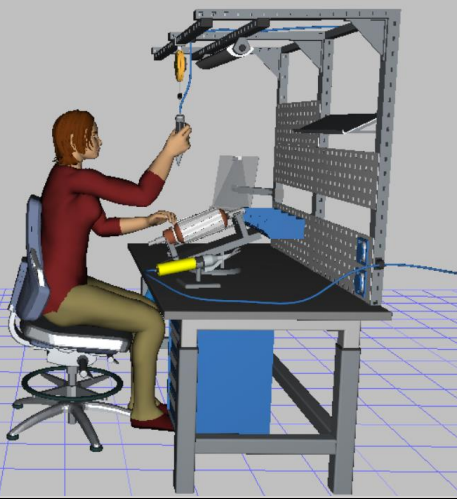
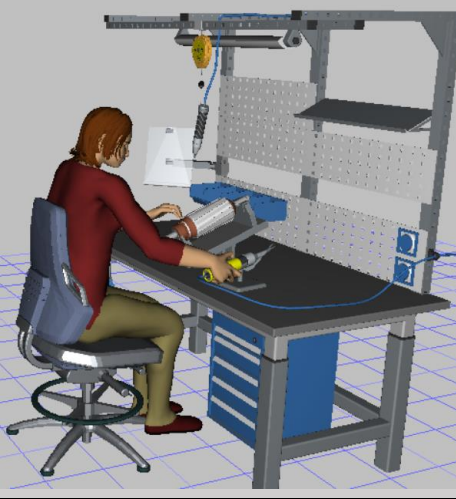
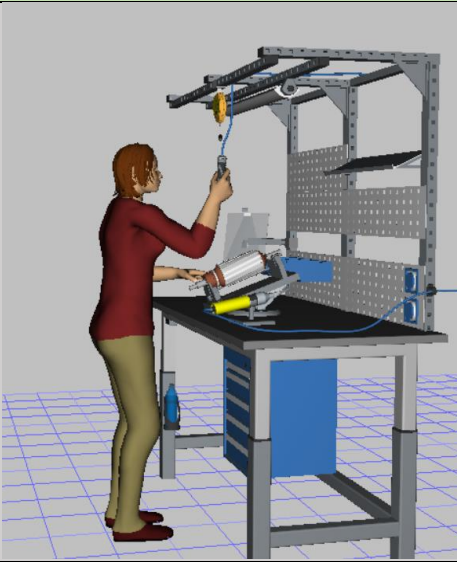
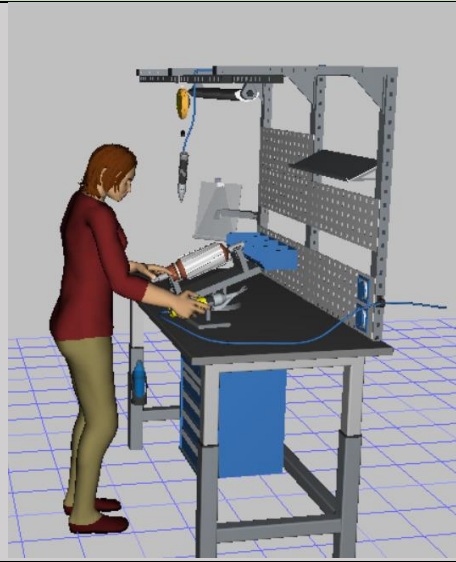
6.1. Hodnocení pracovních pohybů

V konečném návrhu se podařilo eliminovat veškerou práci s kladivem. Místo původních cca 150 úderů potřebných pro montáž jednoho rotoru se nyní jedná o 32 zatlačení pro aktivaci úderu úderníku a 12 sekund práce s pneumatickými nůžkami. Po optimalizaci také odpadá riziko úrazu kladivem při nezdařeném zásahu důlčíku či nože. Vlivem přenesení téměř veškeré potřebné síly vynakládané pracovníkem na pneumatické nástroje se taktéž markantně snížilo riziko lokální svalové zátěže. Pohyby při podávání nástrojů se odehrávají maximálně v dosahové zóně B a pozici nástrojů si pracovník může plně přizpůsobit dle vlastních preferencí. Celkový počet pohybů se při zohlednění navýšení počtu zapojovaných motorů snížil na 15 690 u levé ruky a 20 210 u ruky pravé. Tyto hodnoty s rezervou vyhovují hygienickým limitům stanoveným nařízením vlády č. 361/2007 Sb.

6.2. Hodnocení pracovní polohy

Ve finálním návrhu se podařilo vyřešit všechny kritické aspekty pracovní polohy původního stavu pracoviště. Stůl poskytuje dostatečné místo pro nohy a nedochází tak k vytáčení trupu. Stůl i židle jsou výškově nastavitelné, což při optimálním seřizení poskytuje pracovníkovi polohu, při které končetiny svírají tupé úhly. Ergonomická židle se synchronní mechanikou předchází strnulému sedu a je pracovníkovi dobrou oporou při všech způsobech sedu. Pracoviště operátorovi nabízí možnost změny pracovní polohy na polohu ve stoje, což je při takto monotónní práci vítanou a velmi zdravou obměnou. Snížená hloubka stolu oproti původnímu stavu umožňuje snadný přístup k úložným prostorám na čelní desce a neuvádí tak pracovníka do nepřírodných poloh při natahování se přes pracovní desku. Polohy pracovníka vsedě a ve stoje v optimalizovaném pracovišti ilustruje simulace programu Technomatix Jack na obrázku č. 29. Pro kontrolu správnosti pracovních poloh jsem simulaci provedl pro pozice vsedě i ve stoje v kombinaci

s podáváním pracovních nástrojů a znovu jsem aplikoval analýzu OWAS. Analýza ohodnotila všechny pracovní polohy známkou 1.

Poloha		
OWAS	1	1
Poloha		
OWAS	1	1

Obrázek 29: Polohy pracovníka po optimalizace

6.3. Vliv optimalizace na kvalitu a kvantitu

Kvalita montáže se optimalizací nijak zásadně nezměnila. Výhodou je vyřazení dynamických pohybů, které mohly způsobovat škody na rotoru. Při používání kladiva může dojít k nepřesnému úderu a poškození rotoru. Dále také musel pracovník před optimalizací velmi dobře odhadovat sílu úderu na nůž tak, aby se odsekly dráty a komutátor zůstal nedotčený. Stálost velikosti síly úderu je kvůli lidskému faktoru neudržitelná a přirozeně tak musí jednou za čas dojít ke škodám. Nepřímo na kvalitu montáže působí také dobře uspořádané prostření a větší pohoda pracovníka jež s optimalizací přichází. Pracovník tak zůstává bdělý po delší dobu a jeho práce je o to preciznější.

Hrubým propočtem se počet hotových rotorů po optimalizaci zvedl z původních 116 na 167 kusů za směnu. To je dáno redukcí doby montáže jednoho kusu o 35 %.

6.4. Ekonomické zhodnocení

Tato kapitola se zabývá zhodnocením finanční náročnosti projektu. Na základě rešerše trhu budou stanovena cenová rozpětí jednotlivých komponent a z jejich průměrných hodnot bude sestavena celková cena optimalizovaného pracoviště. Zda se firma rozhodne pro vybavení blíže horní či nižší hranici cenového rozsahu závisí na preferencích kvality a tím i životnosti, také ale na požadované době návratnosti investice. Cenová bilance je zobrazena v následující tabulce.

Tabulka 8: Cenová bilance optimalizace

Položka	Cenový rozsah [Kč]	Průměr [Kč]
Stůl s příslušenstvím	120 000 - 200 000	160 000
Židle	5 000 – 18 000	12 500
Pneumatický úderník	10 000 – 20 000	15 000
Pneumatické nůžky	3 000 – 10 000	6 500
Balancér	1 000 – 3 000	2 000
Stojan pro pneu. nůžky	1 500 – 4 000	2 750
Cena celkem		198 750 Kč

Za částku 198 750 Kč lze tedy provést kompletní navrženou optimalizaci. Výsledkem je zvýšení efektivity pracoviště o 35 % a zásadní zlepšení pracovních podmínek. Na zvýšení efektivity je potom přímo závislá návratnost investice.

Výsledná částka je orientační a lze s ní velmi snadno manipulovat. Nebude-li tedy tento „kompletní“ návrh vyhovovat finančním možnostem firmy, je možno využít pouze jeho klíčové části, které mají zásadní vliv na zdraví pracovníka a efektivitu práce. Jádrem je navržené nahrazení operací s kladivem pneumatickými nástroji a přizpůsobení pracovního místa tak, aby umožnilo pracovníkovi ergonomicky správnou polohu dle zmíněných pravidel a norem.

7. Závěr

Tématem této bakalářské práce bylo provést posouzení ergonomie pracoviště montáže a navrhnout optimalizaci takovou, která povede k odstranění nepříznivých vlivů na pracovníka a zvýšení efektivity práce.

První kapitola se zabývala nejprve obecným popisem pojmu ergonomie a její oficiální definicí. Následně byl stručně prezentován historický vývoj historie, jež mimo jiné zdůraznil, jak nepostradatelnou roli hraje ergonomie v průmyslu.

Následující kapitola byla věnována rešerši problematiky ergonomie montáže. Z obsáhlého množství materiálu byla vybrána taková ergonomická pravidla, která bylo možné přímo aplikovat na charakter navrhovaného pracoviště.

Třetí kapitola byla již praktického rázu a věnovala se analýze současného stavu pracoviště. Byla zde v krátkosti představena společnost SOPO s.r.o., pro kterou je tato práce vypracována. Následně byl podrobně popsán pracovní postup původního stavu montáže s rozdělením na jednotlivé operace. Byla provedena časová analýza a analýza efektivity práce. Závěrem proběhl rozbor nepříznivých vlivů na zdraví pracovníka podložený simulací v programu Technomatix Jack 9.0

V předposlední kapitole byl představen hlavní výstup této práce, a to samotný návrh optimalizace. Ten byl navržen na základě předchozí analýzy a teoretických poznatků z rešeršní části. V první části bylo popsáno „jádro“ celé optimalizace, které zahrnovalo zásadní principy fungování optimalizovaného pracoviště. V části druhé byl pak podrobný rozbor jednotlivých komponent pracoviště a jejich variací.

Poslední kapitola byla věnována zhodnocení navržené optimalizace. Byly zde shrnuty veškeré kritické aspekty původního pracoviště, které se podařilo napravit. Ergonomie pracovních poloh byla opět podložena simulací v programu Technomatix Jack 9.0. Finální část kapitoly se zabývala ekonomickým zhodnocením. Na základě rešerše trhu byla sestavena analýza nákladů na zřízení optimalizovaného pracoviště.

Pracoviště se s optimalizací stalo ergonomicky nezávadné, organizované, s možností personalizace nastavení dle preferencí pracovníka. Při splnění všech ergonomických zásad a pravidel se podařilo dosáhnout zkrácení doby montáže jednoho kusu motoru o 35 % a tím i výrazně zvýšit celkovou produktivitu.

8. Seznam použité literatury

- [1] Česko. Nařízení vlády č. 361 ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- [2] Historie ergonomie. Kořeny a první zmínky od Starověku až po současnost. *Portál o bezpečnosti práce (BOZP) a požární ochraně (PO)* [online]. Copyright © 2013 [cit. 16.05.2022]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostprace.info/ergonomie/historie-ergonomie>
- [3] Jovanovic, Vukica & Tomovic, Mileta & Cosic, Ilija & Miller, C. & Ostojic, Gordana. (2007). *Ergonomic Design of Manual Assembly Workplaces*
- [4] MALÝ, Stanislav, Miroslav KRÁL a Eva HANÁKOVÁ. *ABC ergonomie*. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN isbn978-80-7431-027-0.
- [5] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [6] MATOUŠEK, O. *Hodnocení psychické, fyzické a senzorické zátěže*. Praha: VÚBP, 2005. 24 s. edice Bezpečný podnik. ISBN 80-86973-02-6.
- [7] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02301-X.
- [8] MAREK, Jakub; SKŘEHOT, Petr. *Základy aplikované ergonomie*. Praha: VÚBP, 2009, 118 s., ISBN 978-80-86973-58-6.
- [9] ČSN EN 614-1 + A1 (85 3501) *Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické zásady navrhování – Část 1: Terminologie a všeobecné zásady*
- [10] Sirius Q24 | Ergo Interier. Ergo Interier – specialisté na ergonomii [online]. Copyright © Ergo Interier 2017 [cit. 18.07.2022]. Dostupné z: <https://www.ergo-interier.cz/office-pro-kancelarska-zidle-sirius-q24>
- [11] ESD pracovní stolička, sedátko z koženky, křížová noha z hliníku. *Můj účet* [online]. Dostupné z: <https://www.denios.cz/esd-pracovni-stolicka-sedatko-z-kozenky-krizova-noha-z-hliniku-266978/266978>

- [12] KINETIC 700K Series Stool by Interstuhl : ErgoCanada - Detailed Specification Page. *ErgoCanada - Canada's definitive source for ergonomic products including keyboards, mice, workstation accessories and furniture* [online]. Dostupné z: https://www.ergocanada.com/detailed_specification_pages/interstuhl_kinetic_700k_series_stool.html
- [13] Adjustable Chairless Wearable Invisible Chair Folding Camping Stool Lightweight Powerful Outdoor | Fruugo NO. Hjem | Fruugo NO [online]. Copyright © 2006 [cit. 18.07.2022]. Dostupné z: <https://www.fruugonorge.com/adjustable-chairless-wearable-invisible-chair-folding-camping-stool-lightweight-powerful-outdoor/>
- [14] Vlnění a optika. *E-learningový portál Obchodní akademie a hotelové školy Třebíč* [online]. Dostupné z: <https://moodle.oahstrebic.cz/mod/book/tool/print/index.php?id=1637&chapterid=269>
- [15] SOPO [online]. Dostupné: <https://www.sopo.cz/>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Kniha o ergonomii [2]	9
Obrázek 2: Správná poloha vsedě [8]	14
Obrázek 3: základní způsoby sezení – přední, střední a zadní [8]	14
Obrázek 4: Polohy trupu vztažené k časovému intervalu [1]	15
Obrázek 5: Poloha hlavy vztažená k časovému intervalu [1]	15
Obrázek 6: Poloha horních končetin v závislosti na časovém intervalu [1]	16
Obrázek 7: Poloha dolních končetin [1]	16
Obrázek 8: Dosahy horních končetin při práci vsedě [1]	18
Obrázek 9: Dosahy horních končetin při práci vsedě a ve stoje [1]	18
Obrázek 10: Dosahy horních končetin při práci vstoje	18
Obrázek 11: Výška pracovní roviny [8]	19
Obrázek 13: Pracovní stolička [11]	20
Obrázek 12: Ergonomická židle [10]	20
Obrázek 14: Stolička pro asistované stání [12]	21
Obrázek 15: Exoskeletální židle [13]	21
Obrázek 16: Areál SOPO s.r.o. [15]	23
Obrázek 17: Konfigurace montážního pracoviště v původním stavu	24
Obrázek 18: Operace č. 1 - Umístování drátu do vhodné polohy před úderem	25
Obrázek 19: Operace č. 2 - Úder za pomoci důlčíku a kladiva	25
Obrázek 20: Operace č. 3 - Odsekávání drátů nožem	26
Obrázek 21: Operace č.4 - Odlamování drátů	26
Obrázek 22: Poloha pracovníka na pracovišti ve stávající podobě	29
Obrázek 23: Hodnocení analýzou OWAS	29
Obrázek 24: Finální návrh optimalizovaného pracoviště	31
Obrázek 25: Pneumatický úderník	35
Obrázek 26: Pneumatické nůžky	36
Obrázek 27: Závěs úderníku na pružinovém balancéru	37
Obrázek 28: Přípravek pro uchycení rotoru	37
Obrázek 29: Polohy pracovníka po optimalizace	39

10. Seznam tabulek

Tabulka 1: Přípustný energetický výdej [1].....	12
Tabulka 2: Přípustný limit tepové frekvence [1]	12
Tabulka 3: Porovnání výhod sedu a stoje [7]	13
Tabulka 4: Příklady intenzity zvuku [14]	22
Tabulka 5: Časový průběh montáže.....	27
Tabulka 6: Škála hodnocení analýzy OWAS	28
Tabulka 7: Komparace časů před a po optimalizaci	33
Tabulka 8: Cenová bilance optimalizace	40