

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

**NÁVRH KOLABORATIVNÍHO
PRACOVISTĚ**

2021

**ALENA
BELDÍKOVÁ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Beldíková** Jméno: **Alena** Osobní číslo: **465367**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Průmysl 4.0**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh kolaborativního pracoviště

Název diplomové práce anglicky:

Collaborative workplace design

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky montáží a jejich automatizace
2. Návrh kolaborativního pracoviště
3. Ověření a simulace vybraného návrhu
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **28.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Tomáš Kellner
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Návrh kolaborativního pracoviště vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení pana Ing. Tomáše Kellnera a s využitím uvedené literatury.

V Praze dne:

.....

Podpis



Poděkování

Chtěla bych poděkovat především panu Ing. Tomášovi Kellnerovi za jeho ochotu, odborné vedení a cenné rady, které byly stěžejní pro napsání této diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat rodičům a příteli za jejich podporu během psaní této práce i celého studia.



Anotace

Cílem této diplomové práce je návrh kolaborativního pracoviště pro společnost SOPO s.r.o., která se specializuje na výrobu rotorů a statorů. V rámci rešerše literatury bylo nutné se seznámit problematikou kolaborativních robotů, montážních procesů a s ergonomií z důvodu pozdějšího návrhu pracoviště. V práci jsou představeny tři varianty kolaborativního pracoviště, z nichž je vybraná varianta podrobně zpracována především z pohledu ergonomie a kolaborativní robotiky. Na závěr práce došlo k ergonomickému, technickému a ekonomickému zhodnocení vybrané varianty.

Klíčová slova

Návrh montážního pracoviště, Kolaborativní robot, Montáž, Automatizace, Ergonomie

Abstract

The aim of this diploma thesis is to design a collaborative workplace for the company SOPO s.r.o., which specializes in the production of rotors and stators. As part of the literature search, it was necessary to get acquainted with the issues of collaborative robots, assembly processes, and ergonomics due to the later design of the workplace. The thesis presents three variants of the collaborative workplace, of which the selected variant is elaborated in detail, especially from the point of view of ergonomics and collaborative robotics. At the end of the work, there is an ergonomic, technical, and economic evaluation of the selected variant.

Keywords

Design of assembly workplace, Collaborative robot, Assembly, Automation, Ergonomics



Obsah

1	Úvod.....	8
2	Automatizace výrobního procesu.....	9
2.1	Oblasti automatizace	10
2.2	Robotizace.....	10
3	Montáž.....	12
3.1	Definice základních pojmů	12
3.2	Rozdělení montáže dle způsobu a organizace	13
3.3	Rozdělení montáže dle stupně automatizace.....	16
4	Průmyslové roboty a manipulátory	17
4.1	Vlastnosti robotů.....	19
4.2	Bezpečnost průmyslového robotu	20
4.3	Typy pracovišť	21
4.4	Kolaborativní roboty	22
4.4.1	Aplikace kolaborativních robotů.....	23
4.4.2	Bezpečnost kolaborativních robotů.....	25
4.4.3	IRB 14050 YuMi.....	30
5	Ergonomie.....	32
5.1	Ergonomie pracovního místa	33
5.2	Zátěž člověka.....	36
5.2.1	Fyzická zátěž.....	37
5.2.2	Psychická zátěž.....	37
6	Návrh montážního pracoviště.....	39
6.1	Společnost SOPO s.r.o.....	39



6.2	Předmět montáže.....	40
6.3	Původní pracoviště.....	44
6.3.1	Optimalizace původního pracoviště	49
6.4	Návrhy řešení pracoviště s kolaborativním robotem	52
6.4.1	První varianta.....	54
6.4.2	Druhá varianta	57
6.4.3	Třetí varianta.....	60
6.4.4	Výběr vhodné varianty.....	63
6.5	Rozpracování vybrané varianty.....	65
6.5.1	Použité přípravky	65
6.5.2	Bezpečnostní a senzorové řešení.....	67
6.5.3	Řízení pracoviště	69
6.5.4	Koncový efektor	71
6.5.5	Popis průběhu montážního procesu.....	74
6.5.6	Ověření dosahu na pracovišti	84
6.6	Zhodnocení vybrané varianty.....	86
6.6.1	Ergonomické zhodnocení.....	86
6.6.2	Technické zhodnocení	87
6.6.3	Ekonomické zhodnocení	88
7	Závěr	93
8	Reference.....	94



1 Úvod

Cílem této diplomové práce je navržení montážního pracoviště s využitím kolaborativního robotu. Kolaborativní robot, též nazývaný spolupracující nebo kooperující, je robot určený pro přímou spolupráci člověka a robotu bez nutnosti fyzického oddělení jednotlivých pracovních prostorů. Vhodnou aplikací těchto robotů na pracoviště může dojít ke zvýšení kvality a efektivity práce, a především ke snížení fyzické a psychické zátěže, která je kladena na pracovníky.

Na začátku se práce zabývá automatizací výrobních procesů a problematikou montáže. Dále je v práci představeno rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů a značná část práce se věnuje problematice kolaborativních robotů. Je zde definován pojem kolaborativní robot, jsou zde představeny nejčastější aplikace těchto robotů v rámci průmyslu a podrobněji je zde popsán i způsob zajištění bezpečnosti pracovníka, který pracuje v blízkosti kolaborativního robotu. Závěr rešerše literatury je věnován ergonomii.

Další část práce je věnována návrhu montážního pracoviště pro společnost SOPO s.r.o., kde je jako hlavní prvek automatizace použit kolaborativní robot od společnosti ABB s názvem IRB 14050 Jednoruký YuMi. Nejprve je představen předmět a postup montáže. Dále je představeno a následně zhodnoceno původní pracoviště, které se ve společnosti nachází. Provedenou simulací v programu Tecnomatix Jack byly na tomto původním pracovišti zjištěny pohyby a pozice pracovníka, které by bylo možné vhodnějším rozmístěním jednotlivých dílů upravit. Proto v rámci této práce byla představena i úprava tohoto původního pracoviště.

Práce se dále zabývá představením tří variant pracoviště, kde je již využit kolaborativní robot. Z těchto variant je vybrána optimální varianta, která je následně zpracována. V rámci podrobného zpracování jsou představeny jednotlivé přípravky, které se na tomto pracovišti nachází, bezpečnostní a sensorové řešení pracoviště a úprava prstů efektoru robotu. Následně je podrobně popsán průběh montážního procesu a na závěr se nachází ergonomické, technické a ekonomické zhodnocení této vybrané varianty.



2 Automatizace výrobního procesu

Hlavním cílem této diplomové práce je návrh řešení pracoviště, který jako hlavní prvek automatizace využívá kolaborativní robot, a proto je důležité se nejdříve seznámit s problematikou automatizace výrobních procesů.

Jedním z dlouhodobých trendů nejenom ve strojírenské výrobě je automatizace, díky které je možné se přizpůsobit neustále rostoucímu tlaku na zvýšení produktivity a kvality výroby.

Automatizaci je možno tedy charakterizovat jako realizaci výrobních, řídicích a dalších procesů pomocí strojů a automatů, a tedy bez přímého zásahu člověka.

Pokud by došlo k automatizaci komplexní, znamenalo by to, že celý výrobní proces je automatizován a člověk se v tomto případě nachází v roli plánování a strategického řízení strojů. Naopak při částečné automatizaci jsou automatizované jenom určité procesy nebo funkce. [1] [2]

Činnost, kterou doposud vykonával člověk, nyní díky procesu automatizace vykonávají automaty, počítače a prvky umělé inteligence. Čím dál tím více se také nejenom ve strojírenských oborech prosazují roboty a manipulátory, což ovšem nejsou jediné automatizační prostředky, které se dají využít. Je nutné na automatizaci pohlížet jako na celek, do kterého patří například i automatizovaná doprava, manipulace s materiálem nebo kontrola a měření výrobků, a proto se nelze omezit pouze na výrobní stroje. Mezi další automatizační prostředky tedy mohou patřit například zařízení pro mezioperační dopravu, zásobníky nebo zařízení pro automatickou kontrolu. [3] [4]

Jak již bylo zmíněno, automatizace ovlivňuje celkový vývoj vlastního výrobního procesu, a proto je vhodné výrobní proces definovat. Pod pojmem výrobní proces je možné si představit souhrn činností technologického, manipulačního, kontrolního a řídicího charakteru, které mají za cíl transformovat výchozí materiál do hotového výrobku. Při navrhování výrobních procesů je potřebné podrobně popsat tento přechod výchozího materiálu do hotového výrobku pomocí výrobního postupu. Pokud je výrobní postup



složen z postupu pracovního a postupu technologického, tak dohromady zaručí realizaci všech činností spojených s tímto přechodem. [5]

2.1 Oblasti automatizace

V současné době jsou známy tři stupně automatizace. Prvním a zároveň nejjednodušším stupněm je automatické ovládání, které je charakterizováno přímým otevřeným řetězcem. Druhý stupeň je automatická regulace, která je naopak charakterizována uzavřeným řetězcem se zpětnou vazbou. Nejvyšším třetím stupněm je automatické řízení, kde dochází k automatizaci samotných řídicích procesů.

Stupeň automatizace ovlivňuje také pružnost výrobního systému. Pružnost si můžeme představit zjednodušeně jako schopnost systému přizpůsobit se na změnu výrobku změnou informačního toku, kdy fyzické uspořádání strojů, zařízení a automatizačních prostředků zůstává stejné. Na tomto základě lze rozlišit ve strojírenství dvě oblasti automatizace:

a) Tvrdá automatizace

Tato oblast automatizace se uplatňuje ve velkosériové a hromadné výrobě. Používají se zde automatické výrobní linky a jednoúčelové stroje, což zajistí velkou produktivitu, avšak pozměnění nebo záměna výrobku je v této oblasti velice finančně náročná, neboť musí dojít ke změně výrobní linky.

b) Pružná automatizace

Oblast pružné deformace se naopak uplatňuje v kusové a malosériové výrobě. Zde se využívají pro výrobu číslicově řízené stroje, které umožňují snadný přechod na novou výrobu. [6] [7] [2]

2.2 Robotizace

Automatizace a robotizace jsou pojmy, které se v mnoha zdrojích překrývají. Je však vhodné je vnímat jako dvě samostatné kapitoly i přes to, že spolu velice úzce souvisí, jelikož průmyslové roboty a manipulátory jsou nejprogressivnějším prvkem automatizace.



Robotizaci je možno definovat jako zavádění robotů do výrobního procesu se záměrem nahrazení lidské pracovní síly.

Díky robotizaci má člověk možnost oprostit se jak od fyzicky náročné činnosti, tak i od monotónní činnosti a zároveň zvýšit produktivitu práce a minimalizovat chybu způsobenou lidským faktorem. [1]



3 Montáž

Jelikož jedním z cílů této diplomové práce je návrh montážního procesu, je důležité pojem montáž a její členění více přiblížit.

Montáž bývá zpravidla poslední fází nejenom strojírenského výrobního procesu. Tato fáze je důležitá jak z hlediska spolehlivosti a kvality výrobku, tak i z hlediska efektivnosti celého výrobního procesu. Montáž by mohla být charakterizována jako sestavování dvou či více součástí do montážního celku, ale je však nutné do montážního procesu zařadit i dopravu, manipulaci či kontrolu samotných výrobků.

Nekvalitně provedenou montáží může snadno dojít k znehodnocení vyrobených součástí, a naopak kvalitně navrženou a provedenou montáží lze snížit náklady na výrobu, a proto je nutné této problematice věnovat pozornost. [5] [8]

3.1 Definice základních pojmů

V průběhu diplomové práce se budou objevovat pojmy, které se v rámci montáže používají, a proto je nutné je dopředu vysvětlit. Jedná se o pojmy:

- **Montážní proces** – jedná se o podsystém systému výrobního, který má za cíl montáž výrobku.
- **Montážní operace** – realizace části montážního procesu. Obvykle se uskutečňuje na jednom pracovišti bez přestavení zařízení k montáži využívaných.
- **Montážní základna** – jedná se o souhrn ploch a prvků součástí, ke kterým se vztahuje poloha dříve sestavených součástí.
- **Montážní schéma** – určuje jaké součásti a v jakém pořadí by měli být v rámci postupu montáže spojovány. Součástí tohoto podkladu by mělo být i rozmístění součástí.

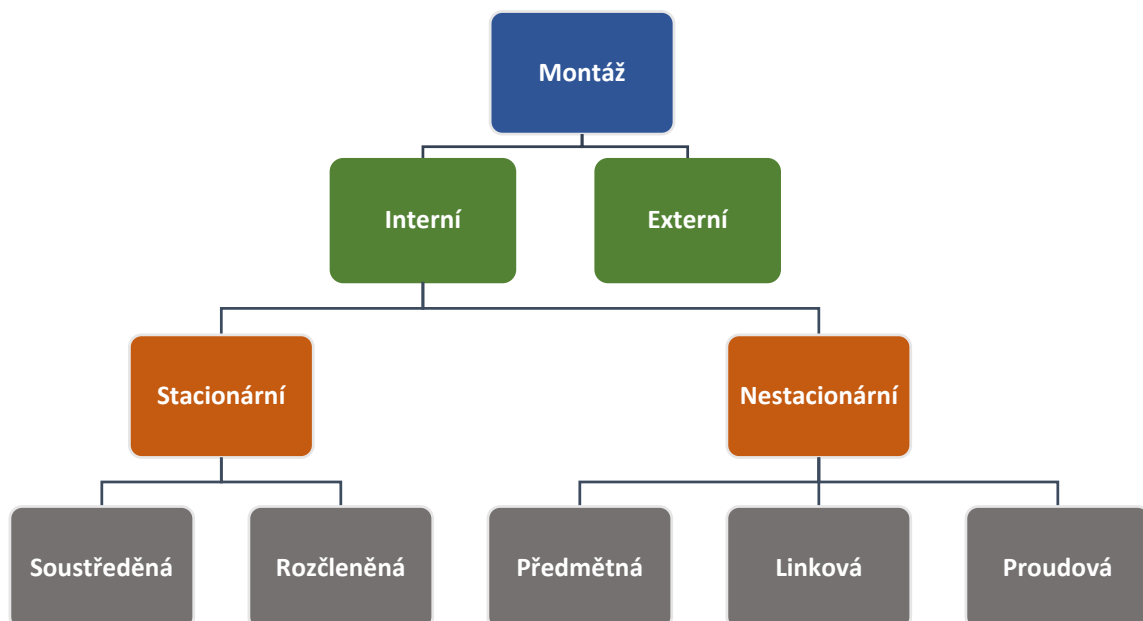
3.2 Rozdělení montáže dle způsobu a organizace

Montáž lze dělit podle mnoha faktorů, které ji ovlivňují. Jedním z hlavních faktorů je způsob a samotná organizace montáže, která je ovlivňována například typem a rozsahem výroby, pracností montáže anebo způsobem dodávek. Podle tohoto faktoru lze provést základní rozdělení způsobu montáže na:

- externí montáž
- interní montáž

Externí montáž se uskutečňuje mimo výrobní závod. Tento způsob montáže se nejčastěji uskutečňuje z důvodu velkých rozměrů montovaného předmětu, jako jsou různé stavební celky a konstrukce ale například i objemné stroje. Jednotlivé části mohou již být předem smontovány v menší celky již ve výrobních závodech. [5] [8]

Interní montáž je uskutečňována ve výrobním závodě a výrobek je po opuštění závodu již připraven k přímému použití. Tento způsob montáže se uplatňuje například u montáží automobilů nebo různého spotřebního zboží. Interní montáž se může dále dělit dle pohybu součásti a členitosti montovaného výrobku na montáže zobrazené na Obr. 1.

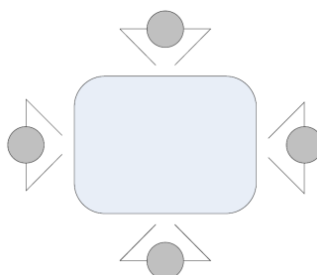


Obr. 1: Dělení montáže dle způsobu a organizace [5]

Stacionární montáž je nepohyblivou formou montáže, která je realizována na jednom místě a většinou se uskutečňuje v kusové nebo malosériové výrobě. Tato forma může být dále realizována soustřednou nebo rozčleněnou formou, jak se můžeme přesvědčit na Obr. 1.

Soustředěná montáž

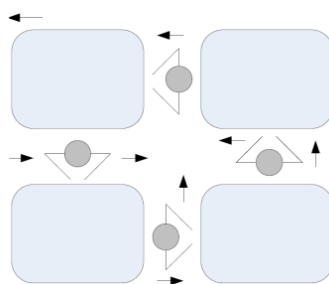
Je vykonávána na jednom pracovišti jednotlivcem nebo jednou skupinou pracovníků. Využívá se při montáži těžkých a rozměrných strojů, jako jsou například turbíny. Není zde přesný časový rozbor činností a je zde nutná vyšší kvalifikovanost pracovníků.



Obr. 2: Schéma soustředěné montáže [8]

Rozčleněná montáž

Výrobek se dle montážního schématu rozčlení na jednotlivé montážní celky, které se následně montují na několika pracovištích zároveň. V tomto případě je časová norma zpracována pro celé montážní celky. [5] [8]

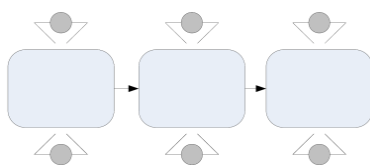


Obr. 3: Schéma rozčleněné montáže [8]

Nestacionární neboli pohyblivá montáž se vykonává současně ve vícero montážních operacích nebo ve skupinách pracovníky. Tento způsob montáže je typický pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Nestacionární montáž může být dle Obr. 1 dále realizována předmětnou, linkovou nebo proudovou montáží.

Předmětná montáž

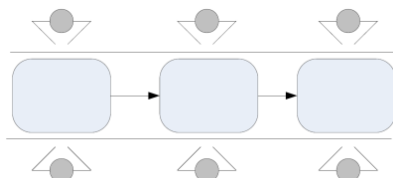
Jedná se o nejjednodušší realizaci nestacionární montáže. Jednotlivá pracoviště jsou zde uspořádána podle montážního postupu a montovaný předmět se mezi těmito jednotlivými pracovišti pohybuje. Bývá zvykem, že montáž se uskutečňuje s volným taktem, což znamená, že dílčí pracoviště nejsou časově vyvážené v objemu montážních činností.



Obr. 4: Schéma předmětné montáže [8]

Linková montáž

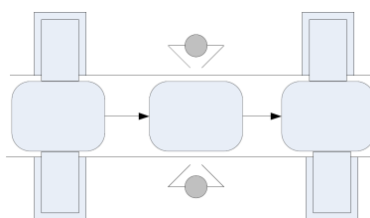
Je nutné rozdělit montovaný výrobek do menších montážních celků, které se následně rozdělí do dílčích operací. Charakteristikou této montáže je poté pohyb montovaného výrobku na montážní lince, která udává jeho takt a na které je nutné dodržet sled operací.



Obr. 5: Schéma linkové montáže [8]

Proudová montáž

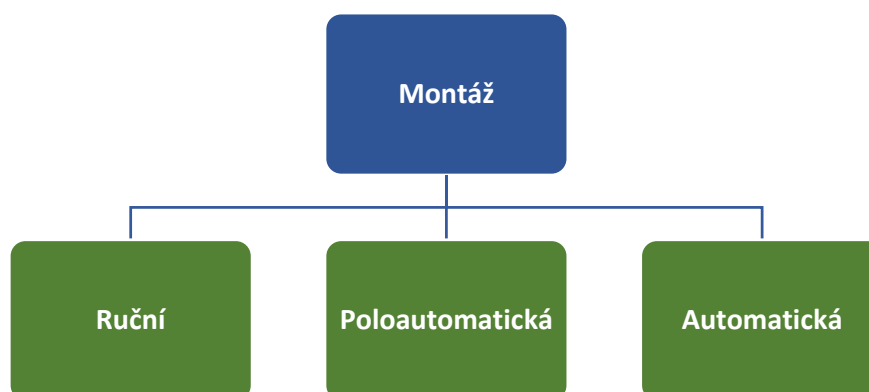
Je zde nutná synchronizovanost dílčích pracovišť. Montovaný výrobek se pohybuje na několika pracovištích jdoucích za sebou a ve většině případů se jedná o montáž jednopředmětnou s vysokým stupněm mechanizace. [5] [8]



Obr. 6: Schéma proudové montáže [8]

3.3 Rozdělení montáže dle stupně automatizace

Jedním z dalších aspektů, podle kterých se může montáž dělit je podle stupně zapojení člověka a automatizace do montážního procesu. Toto rozdělení je vyobrazeno na Obr. 7.



Obr. 7: Dělení montáže dle stupně automatizace [8]

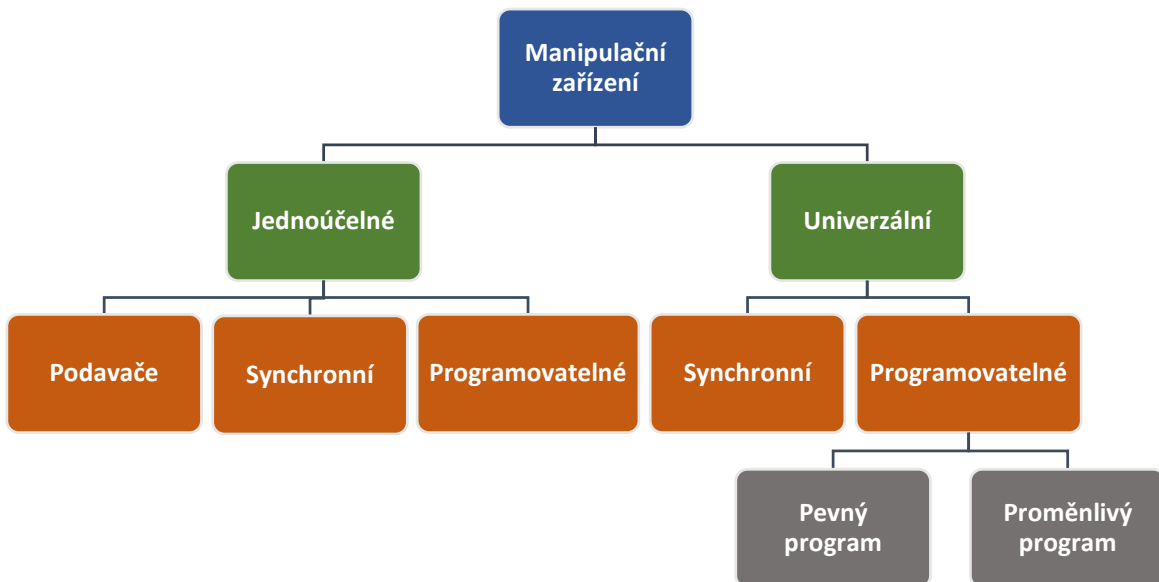
Největším stupněm zapojení člověka do montážního procesu se vyznačuje ruční montáž. Výhodou této montáže jsou poměrně nízké pořizovací náklady na montážní prostředky, což je vykoupeno nízkou produktivitou a možností ergonomických problémů.

Jestliže se jedná o sériovou výrobu, je vhodné zvolit poloautomatizovanou nebo automatizovanou montáž. Tento typ montáže může být prováděn pomocí montážních strojů, montážních linek nebo montážních robotů.

Automatizace montáže přináší mnoho výhod včetně možnosti rytmického průběhu montáže bez hromadění součástí na pracovišti, zkrácení doby montáže a s tím související zvýšení produktivity práce anebo třeba zvýšení přehledu o pohybu montážních celků. [8]

4 Průmyslové roboty a manipulátory

Jedním z účinných nástrojů pro automatizaci nejenom montážních procesů jsou manipulátory a roboty. Pro lepší orientaci v této problematice je na Obr. 8 uvedeno jejich rozdělení podle provedení a stupně řízení.



Obr. 8: Členění manipulačních zařízení [9]

Jednoúčelové manipulátory mají omezené pohybové možnosti, které jsou však přizpůsobené aplikaci daného manipulátoru. Mezi nejjednodušší jednoúčelové manipulátory patří podavače, které ve většině případů tvoří s ovládaným strojem celek, jsou pomocí něj řízeny a také mají často od něj odvozen pohon. **Univerzální manipulátory** mají na rozdíl od jednoúčelových větší rozsah manipulace a jsou víceúčelové. Univerzální manipulátory dále můžeme rozdělit na synchronní a programovatelné.

Synchronní manipulátory neboli tzv. teleoperátory zesilují silové a pohybové veličiny vyvolané řídicím pracovníkem. Řídicí pracovník spolu s manipulátorem utváří uzavřenou regulační smyčku. Také známé jako master – slave manipulátor. [1] [9]

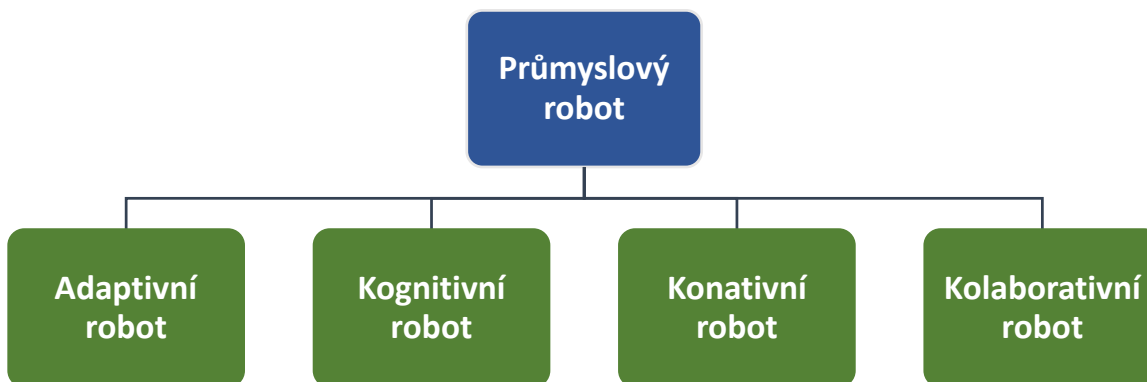
Na rozdíl od synchronního manipulátoru, jehož řídicí systém tvoří daný řídicí pracovník, jsou **programovatelné manipulátory** řízeny programovým ústrojím. Dále je možno je rozdělit na programovatelné s pevným programem a programovatelné s pružným programem.

Programovatelné manipulátory **s pevným programem** se přezdívají jednoduché průmyslové roboty, jelikož jejich program se není schopen měnit během jeho činnosti, jinak řečeno je stálý. [1] [9]

Průmyslovými roboty se nazývají programovatelné manipulátory **s pružným programem**. Tyto roboty jsou schopny provádět manipulační, montážní a technologické úkony a jsou schopny přepínat nebo volit program. Nejčastěji se jedná o zařízení s adaptivním řízením. Definice průmyslového robota existuje nespočet, ale za zmínku stojí například norma ISO 8373:1994, která průmyslového robota definuje jako:

"Automaticky řízený, programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách"

Jak již z názvu lze usoudit, průmyslové roboty jsou složitější zařízení než manipulátory. Lze se setkat s průmyslovými roboty, jejichž rozdělení je uvedeno na Obr. 9.



Obr. 9: Dělení průmyslových robotů [9]

Adaptivní robot se vyznačuje schopností přizpůsobit se změně okolí, což dokáže zásluhou zabudované zpětné vazby a také díky vyšší inteligenci řídicího systému robotu. Tyto roboty sledují určité parametry a při změně těchto parametrů automaticky změní



své chování a tím dokážou sledované veličiny vrátit do původního stavu. Nejčastěji se jedná o svařovací roboty.

Kognitivní roboty jsou již roboty, které jsou schopny vnímat a racionálně uvažovat. Jejich funkcí je vytvoření plánu na dosažení cíle, jenž jim byl zadán pracovníkem, a jeho následné provedení.

Konativní robot je robot s nejvyšším stupněm inteligence, protože je charakterizován samostatnou volbou cíle. Prozatím se konativní roboty nerealizují, jedná se o předpověď dalšího vývoje v oblasti robotů.

Kolaborativní robot slouží k přímé spolupráci robotu a člověka. Více o kolaborativních robotech bude napsáno v kapitole Kolaborativní roboty. [1] [9]

4.1 Vlastnosti robotů

Mezi základní vlastnosti průmyslových robotů patří:

1) Manipulační schopnost

Roboty jsou schopny uchopit a přemísťovat objekty. Jsou schopny vykonávat montážní operace a také zacházet s technologickými nástroji.

2) Autonomnost

Robot je schopný provádět posloupnost úkolů na základě zadaného programu samostatně.

3) Univerzálnost

Díky této vlastnosti robot neslouží pouze k jednomu účelu, ale je možné jeho účel změnit. Tato změna však vyžaduje změnu programu, popřípadě změnu koncového efektoru nebo nástroje.

4) Vnímání

Tato vlastnost se vyznačuje schopností robota vnímat prostředí. K tomuto nám slouží vnitřní a vnější senzory robotu.

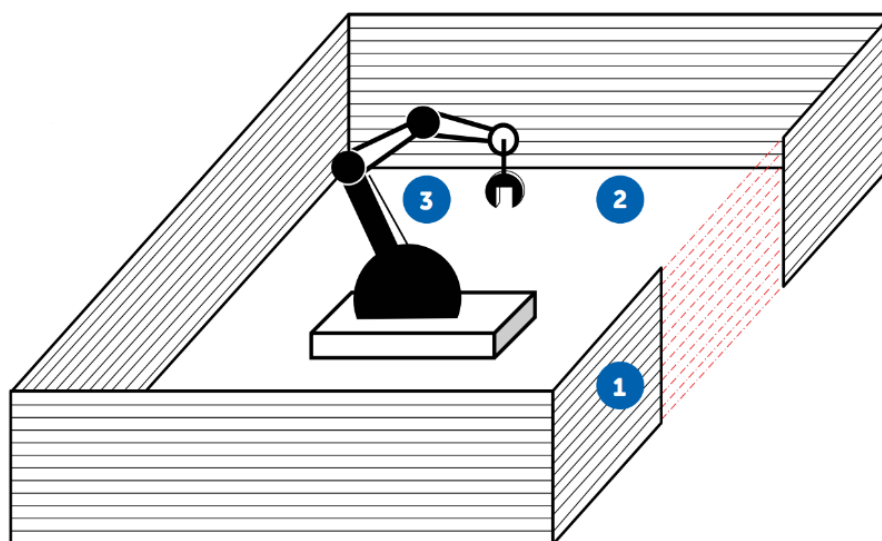
5) Integrovanost

Jedná se o soustředění jednotlivých složek robotu do jednoho kompaktního celku. [1] [4]

4.2 Bezpečnost průmyslového robotu

Typické průmyslové roboty se vyznačují robustní konstrukcí, vysokou rychlostí pohybu a velkou silou, a proto je nutné jejich pracovní prostor oddělit od pracovníků, jelikož by mohlo snadno dojít k úrazu.

Aby se takovýmto úrazům dalo předejít, je nutné vybavit robot bezpečnostními prvky. Umístění těchto prvků lze rozdělit do tří základních oblastí, které jsou vyznačeny na Obr. 10.



Obr. 10: Oblasti umístění bezpečnostních prvků [10]

Oblast 1 neboli obvod pracovního prostoru robotu lze oddělit od okolí několika způsoby. První způsob je vyznačení obvodu pracovního prostoru na podlaze, což však patří mezi nejméně bezpečnou variantu.

Druhý způsob je použití plotů nebo ochranných klecí, které plní funkci pevné mechanické zábrany. Všechny brány v plotu nebo ochranné kleci by měli být napojeny na řídicí systém robotu tak, aby v případě otevření robot ihned zpomalil svůj pohyb, případně se úplně zastavil. [10] [11]

Třetí způsob, kterým lze prostor oddělit, je pomocí optických závor. Optické závory pracují na principu vysílání paprsku světla na jedné straně a přijímání paprsku na straně

protilehlé. V případě přerušení paprsku vniknutím objektu do prostor těchto závor dojde k zpomalení pohybu robotu případně k jeho zastavení.

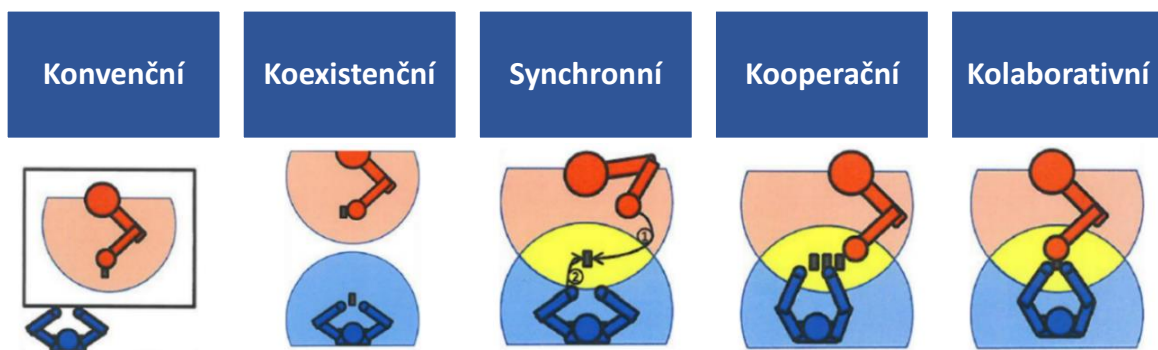
V **oblasti 2** se nachází bezpečnostní prvky jako jsou nášlapné rohože nebo senzory, které detekují přítomnost cizího objektu. Nášlapné rohože obsahují tlakový spínač, který při zatížení detekuje, že se objekt nachází v blízkosti robotu a robot je opět schopný reagovat zpomalením nebo zastavením. Rohože se umísťují do okolí robotu například v případě, že robot nelze ohraničit plotem z důvodu časté údržby. Další výhodou umístění těchto rohoží je možnost jejich využití i ve velmi prašných, nebo jinak znečištěných provozech, což například u optických závor není možné. Nevýhodou je však jejich nízká přizpůsobivost v případě změny pozic strojů, kdy je nutné upravit jejich tvar případně až rohože vyměnit.

Mezi senzory přítomnosti řadíme například laserové scannery nebo 2D a 3D kamerový systém.

V **oblasti 3**, tedy přímo na robotu, se nachází senzory pro detekci kolize a limitující prvky, které mechanicky nebo pomocí programování omezují rychlost pohybu robotu. Tyto bezpečnostní prvky budou blíže popsány v kapitole 4.4.2.3. [10] [11]

4.3 Typy pracovišť

Existuje poměrně mnoho způsobů, jakým mohou spolu člověk a robot spolupracovat. Mezi základní druhy pracovišť řadíme pracoviště zobrazené na Obr. 11.



Obr. 11: Typy pracovišť [12]



Konvenční pracoviště

V konvenčních továrnách jsou průmyslové roboty striktně odděleny od pracovníků pomocí bezpečnostních klecí.

Koexistenční pracoviště

V případě koexistenčního pracoviště jsou již bariéry mezi robotem a člověkem odstraněny, avšak pracovní prostor robota a člověka je stále oddělený.

Synchronní pracoviště

Na synchronním pracovišti dochází ke sdílení pracovního prostoru s člověkem. Prostor se však nevyužívá současně ale střídavě, v pracovním prostoru se tedy nachází pouze robot, nebo pouze člověk.

Kooperační pracoviště

Při práci na kooperačním pracovišti dochází ke sdílení pracovního prostoru robotu a člověka, kteří jej současně využívají, ale každý se věnuje jinému úkolu.

Kolaborativní pracoviště

Na kolaborativním pracovišti stejně jako na kooperačním dochází k současnému používání pracovního prostoru robotem a člověkem akorát s tím rozdílem, že v případě kolaborativního pracoviště již robot a člověk spolupracují na stejném úkolu. [12]

4.4 Kolaborativní roboty

Hlavním cílem této diplomové práce je navrhnout pracoviště, na němž bude pracovník spolupracovat s kolaborativním robotem. Proto je nutné se s tímto pojmem podrobněji seznámit a také vysvětlit, jakým způsobem se zajišťuje bezpečnost samotného pracovníka.

Kolaborativní robot neboli spolupracující robot je označení pro automatický nebo počítačem řízený stroj, který se řadí do skupiny průmyslových robotů. Jedná se o roboty, které byly navrženy pro sdílení stejného pracoviště s lidmi, a tedy na rozdíl od klasických průmyslových robotů nemusí být jejich pracovní prostor ohraničený ochrannou klecí.



Obr. 12: Pracovník spolupracující s kolaborativním robotem YuMi IRB 14000 [13]

Je možné tedy kolaborativní robot definovat jako robotické zařízení, které manipuluje s objekty ve spolupráci s lidským operátorem.

Historie kolaborativních robotů se píše od konce 90.let 20.století. V tomto období profesori James E. Colgate a Michael A. Peshkin spolupracovali s firmou General Motors, která se potýkala s problémy s ergonomií. Jedna z pracovních náplní pracovníků v General Motors byla manipulace s těžkými břemeny, což mnohdy způsobovalo nemoci z povolání, a právě tento fakt byl jedním z prvních impulzů pro vývoj prvních kolaborativních robotů. V roce 1999 si profesori James E. Colgate a Michael A. Peshkin podali první přihlášku patentu a kolaborativní robot při této příležitosti definovali jako zařízení pro přímou fyzickou interakci mezi člověkem počítačově řízeným víceúčelovým manipulátorem. [11] [13] [10] [14]

4.4.1 Aplikace kolaborativních robotů

V současné době lze využít kolaborativní roboty napříč různými odvětvími, tato kapitola se však bude věnovat nejčastějšímu použití spolupracujících robotů v rámci průmyslu.

Mezi velké výhody spolupráce člověka a robotu patří nejenom zvýšení produktivity a efektivity výroby ale samotný fakt, že tato spolupráce dokáže člověka oprostít od



monotónní práce, práce v nepřírodných polohách anebo od vykonávání úloh pro člověka nebezpečných.

Mezi nejčastější aplikace dle [15] patří:

a) Operace pick and place

Jak již překlad anglických slov „pick“ a „place“, tedy „zvednout“ a „umístit“ naznačuje, je v této operaci od robotu požadováno, aby byl schopný uchopit předmět a přemístit ho na jiné místo, případně změnit orientaci manipulovaného předmětu.

Manuální přemísťování předmětů jsou nejvíce opakující se operace. Pokud tedy nedochází k pravidelnému střídání pracovníků, kteří tuto činnost provádějí, dochází velmi často k chybám nebo snížení efektivity, případně může u pracovníků dojít až k nemocem z povolání.

b) Obsluha strojů

Další aplikací může být obsluha například CNC strojů, vstřikovacích strojů atd. Pracovníci v tomto případě jsou nuceni stát hodiny před strojem a umísťovat do něj jednotlivé součástky. Obsluhou strojů pomocí robotů dokážeme zvýšit produktivitu, jelikož náhle bude možné, aby stejný pracovník měl na starosti více strojů.

Robot bude mít tedy za úkol uchopit nezpracovaný polotovár a umístit jej do určeného místa ve stroji. Po dokončení cyklu zase výrobek ze stroje vyjme. Pokud nám to délka cyklu dovolí, je možné, aby jeden robot ovládal více strojů.



Obr. 13: Ukázka obsluhy strojů [16]



c) Balení a paletizace zboží

Roboty při balení a paletizaci zboží fungují na stejném principu jako při pick and place operaci.

d) Technologické operace

U technologických operací jako je například lepení nebo svařování je nutné, aby byl robot vybaven speciálním efektozem. Výhodou použití robotů při těchto operacích může být vysoká přesnost a opakovanost pohybů.

e) Dokončovací operace

Při dokončovacích operacích jako je leštění nebo broušení je nutné, aby robot vyvíjel pomocí efektoru sílu na daný výrobek. Pokud tuto práci vykonává pracovník s mechanickým nástrojem, musí stejně jako robot vyvinout určitou sílu na výrobek a často se zde objevují i vibrace, což může mít opět za následek nemoc z povolání.

f) Kontrola Kvality

Tato operace zahrnuje úplnou kontrolu hotového výrobku. Například ve strojírenství, kde vyrobené součástky musí být velmi přesné, je nutné pořídit snímky s vysokou kvalitou a z mnoha různých úhlů, aby bylo možné potvrdit, že vyrobená součást vyhovuje. Proto namísto pořízení například deseti kamer je výhodnější z hlediska financí pořídit robot s kamerou, který je schopný se kolem vyrobené součásti pohybovat. [15]

4.4.2 Bezpečnost kolaborativních robotů

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, tak v případě kolaborativních robotů dochází k přímé spolupráci robotu a člověka, a proto zde musí hrát primární roli bezpečnost. Vzhledem k tomu, že se jedná o technologii, která se stále vyvíjí, existuje zde stále riziko poranění člověka, a proto je nutné dodržovat bezpečnostní opatření.

Nejčastější nehody, ke kterým dochází v blízkosti nejenom kolaborativních robotů, lze zařadit do následujících skupin:



a) Náraz nebo kolize

Tato skupina zahrnuje situace, kdy je pracovník zasažen robotem například při nepředpokládaném pohybu robotu, při poruše jednotlivých částí robotu anebo změnou v programování.

b) Zachycení a drcení

Jedná se o situaci, kdy je část těla pracovníka zachycena mezi konstrukcí robotu anebo kdy je pracovník fyzicky drcen částí konstrukce robotu.

c) Udeření létajícím objektem

K takovéto situaci může dojít v případě poruchy části robotu, jeho nástroje, koncového efektoru nebo zdroje energie, což má za následek poruchu uchopovacího mechanismu robotu a následné uvolnění objektu. [10]

K zachování dostatečné bezpečnosti mimo jiné slouží i bezpečnostní normy.

4.4.2.1 Bezpečnostní normy

Bezpečnostní normy, které se týkají robotů a pracovišť s roboty se dělí na tři základní úrovně, a to normy typu A, B nebo C.

Normy typu A

Jedná se o základní bezpečnostní normy. Tyto normy předepisují požadavky na projektování, konstrukci a obecné požadavky na strojní zařízení. Nejzákladnější norma je ČSN EN ISO 12100 - *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika* [17].

Normy typu B

Tyto normy jsou skupinou bezpečnostních norem, které se zabývají buď jedním bezpečnostním aspektem nebo jedním bezpečnostním zařízením, které lze využít pro vícero strojů. Normy typu B lze dále rozdělit na normy typu B1 pro určité bezpečnostní aspekty, jako je například teplota povrchu nebo bezpečná vzdálenost a na normy typu B2 pro určité bezpečnostní prvky. Normou typu B1 je například ČSN EN ISO 13857 *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných zón horními a dolními končetinami* [18]. Normou typu B2 je například ČSN



EN ISO 13850 *Bezpečnost strojních zařízení – Funkce nouzového zastavení – Zásady pro konstrukci* [19].

Normy typu C

Normy typu C jsou bezpečnostní normy pro stroje, které popisují podrobné požadavky na bezpečnost pro konkrétní stroj nebo skupinu strojů. Stěžejní normy v oblasti robotiky jsou ČSN EN ISO 10218-1 *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty* [20] a ČSN EN ISO 10218-2 *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace* [21].

Jelikož se tato diplomová práce zabývá kolaborativní robotikou, je nutné zmínit specifikaci ISO/TS 15066: *Robots and robotic devices – Collaborative robots* [22], která vznikla jako doplněk již zmíněných norem ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2. Tato specifikace definuje konkrétní bezpečnostní pokyny a pojmy pro kontrolu rizik pracovišť se spolupracujícím robotem. [11] [23] [24] [25]

4.4.2.2 Provozní spolupráce robotu a člověka

Norma ČSN EN ISO 10218-1 definuje čtyři základní funkce vykreslené na Obr. 14, které mají zajistit bezpečnost.

1) Bezpečnostní monitorované zastavení

Robot, který je vybaven funkcí bezpečnostního monitorovaného zastavení je řízen automaticky a pracuje samostatně, tedy bez spolupráce s pracovníkem. Pokud dojde k situaci, kdy člověk vstoupí do monitorovaného pracovního prostoru robotu, dojde k řízenému zastavení činnosti robotu. Po následném opuštění prostoru robot pokračuje ve vykonávání činnosti bez nutnosti restartu systému.

Výhodou této funkce je nízká pravděpodobnost úrazu, která je však na úkor benefitů, které ze vzájemné kolaborace robotu a člověka plynou.



2) Ruční navádění

Stejně jako v předchozím případě i u této funkce dojde při vstoupení člověka do monitorovaného prostoru k zastavení robotu. Robot je typicky poté pracovníkem ručně naváděn a dochází tedy ke vzájemné spolupráci řídicího systému robotu a pracovníka. Tato funkce slouží například pro programování učení.

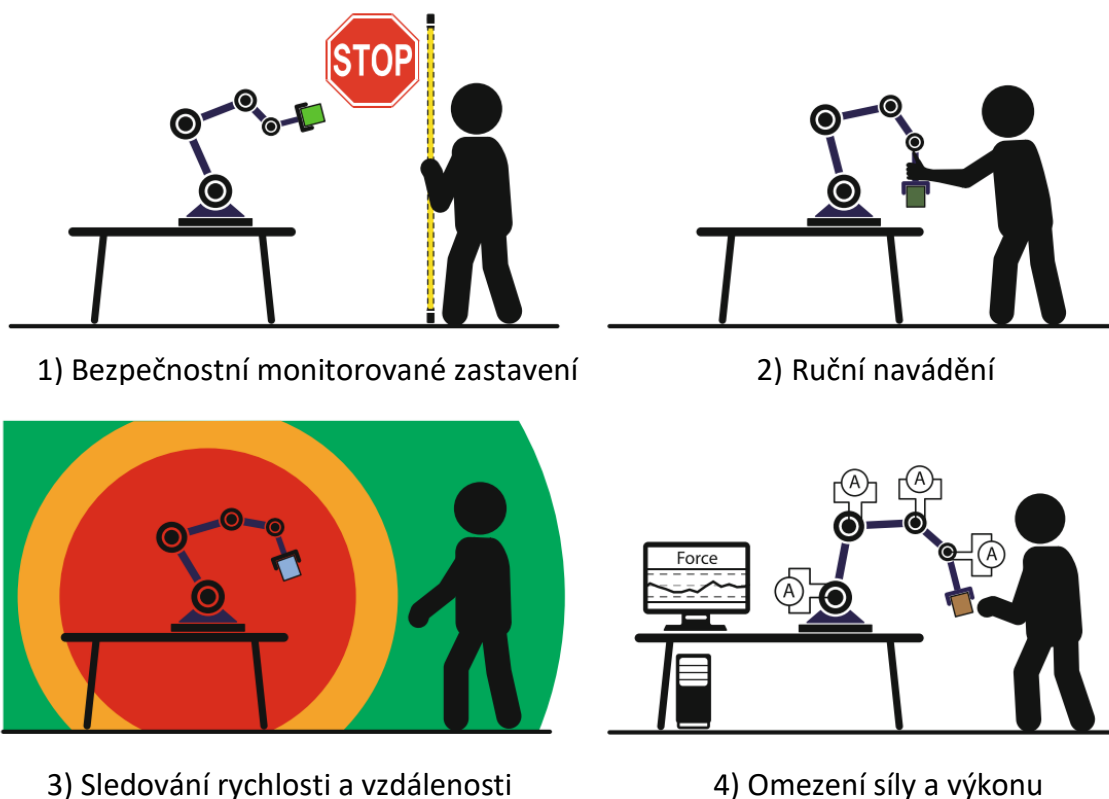
3) Sledování rychlosti a vzdálenosti

Při této funkci si robot neustále udržuje díky bezpečnostním sensorům určitou minimální bezpečnou vzdálenost a bezpečnou rychlost vzhledem ke všem objektům, které ho obklopují. Sensory zde poskytují nutné informace proto, aby byl robot schopný svůj pohyb přizpůsobovat dynamicky. Na rozdíl od funkce bezpečnostního monitorovaného zastavení se robot ihned nezastaví při vstupu člověka do jeho pracovního prostoru, ale postupně snižuje svou rychlost do té doby, než člověk překročí minimální bezpečnou vzdálenost, potom se robot zastaví úplně. Tato funkce se dá využít například v případě, že pracovník přiváží materiál do blízkosti robotu.

4) Omezení síly a výkonu

Tato funkce se používá při trvalé spolupráci robotu a pracovníka ve stejném pracovním prostoru. Mezi hlavní dvě výhody této funkce patří nepotřebnost externích sensorů a intuitivnost interakce. Těchto výhod se však dosáhne navzdory neschopnosti předvídat kolize mezi pracovníkem a robotem, a proto hlavním cílem této funkce je omezení síly a výkonu robotu. Robot v tomto případě vyvíjí pouze bezpečnou sílu a rychlost tak, aby při kolizi nedošlo k úrazu. V případě kolize je robot schopný tento náraz identifikovat, v rychlosti ho vyhodnotit a zareagovat.

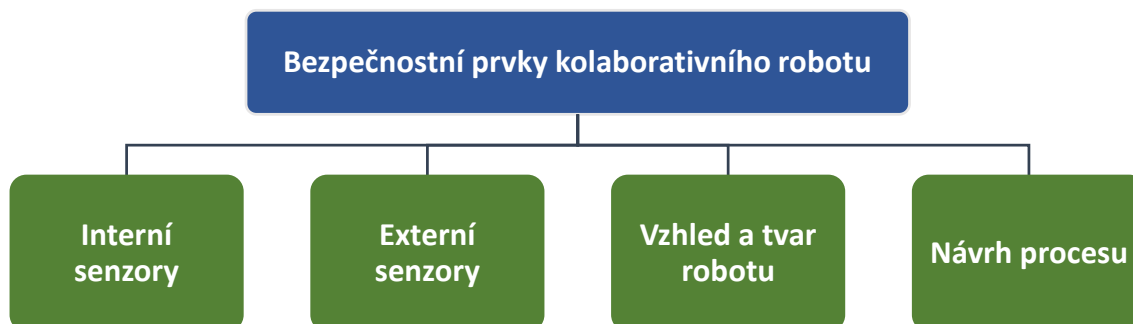
Na základě pokusů stanovila specifikace ISO/TS 15066 konzervativní limity bolestivosti při kvazistatickém a přechodném kontaktu pracovníka a robotu. [24] [26] [27]



Obr. 14: Základní funkce pro zajištění bezpečnosti [26]

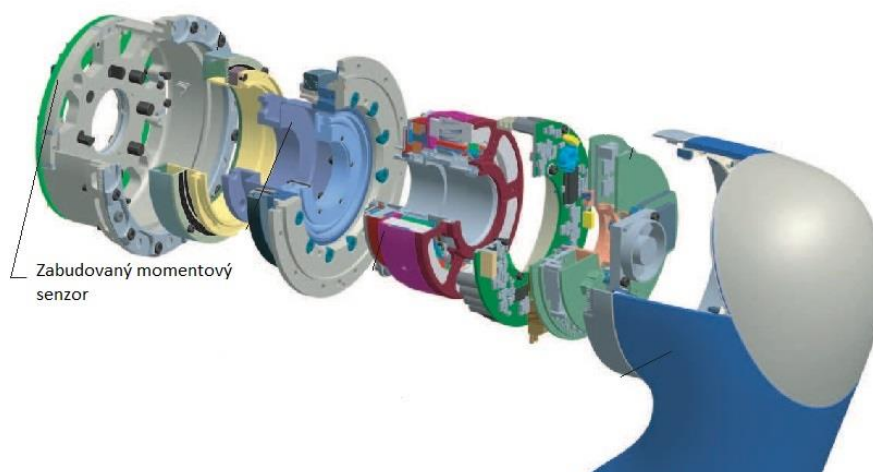
4.4.2.3 Bezpečnostní prvky kolaborativního robotu

Aby bylo možné roboty využívat v kolaborativním pracovišti, je nutné je vybavit určitými bezpečnostními prvky. Tyto bezpečnostní prvky lze dle Obr. 15 rozdělit na čtyři základní kategorie.



Obr. 15: Bezpečnostní prvky kolaborativního robotu [12]

První kategorií jsou **interní senzory**. Tyto senzory se nachází přímo v kloubech (pohonech) robotu a slouží k detekci případné kolize. Příklad lze vidět na Obr. 16, kde je vyobrazen kloub robotu společnosti KUKA s momentovým senzorem.



Obr. 16: Příklad interního senzoru robotu od společnosti KUKA [12]

Další možností zabránění kolize je použití **externích senzorů**. Jedná se například o kapacitní snímače přiblížení. Výhodou těchto snímačů je schopnost detekovat přítomnost vodivých i nevodivých předmětů před tím, než dojde ke kontaktu a díky tomu je možné kolizi předejít.

Samozřejmým bezpečnostním prvkem by měl být samotný **vzhled a tvar robotu**. Roboty určené pro kolaborativní spolupráci by měli mít uzavřené, zaoblené hrany a mezery mezi klouby by měly být dostatečně velké, aby se předešlo skřípnutí (např. lidského prstu). Dále je nutné zvolit vhodné materiály pro konstrukci. Použitím plastu namísto kovu lze docílit snížení hmotnosti samotného robotu a s tím související použití maximálních sil.

Poslední kategorií je chytrý návrh procesu, jehož součástí je návrh a uzpůsobení pracoviště. [12] [11]

4.4.3 IRB 14050 YuMi

V rámci této diplomové práce bude pro navrhované kolaborativní pracoviště použit kolaborativní robot od společnosti ABB s názvem IRB 14050 jednoruký YuMi.

Název YuMi vznikl spojením anglických slov „you“ a „me“, tedy „já“ a „ty“. Jedná se o spolupracujícího robota s jedním ramenem, který byl navržen pro montáže drobných součástek.

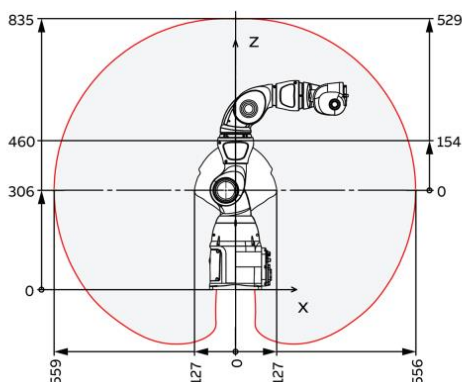
YuMi je zařízení tvořené kompaktní robotickou paží, systémem pro podávání součástek, kamerovým systémem a externím řídicím systémem. Kostra robotické paže je vyrobena z lehké hořčíkové slitiny a je pokryta pružným plastovým pláštěm. Paže je schopna se ohýbat v sedmi osách a je vybavena obratnými svěrkami a citlivou zpětnou vazbou regulace síly.



Obr. 17: IRB 14050 Jednoruký YuMi [28]

V případě nepředpokládané kolize robotu a pracovníka dojde k zastavení pohybu robotu v rámci milisekund, stejně jako v případě zaznamenaného přetížení senzory. Robot je charakteristický absencí bodů, ve kterých by mohlo dojít k přiskřípnutí.

Robot je schopný se do stejného bodu vrátit s tolerancí 0,02 mm a jeho maximální pohybová rychlost je 1,5 m/s. Jeho velkou výhodou jsou i nízké prostorové nároky, jeho hmotnost je 9,5 kg, nosnost 500 g a rozměry plochy základny jsou 160 mm × 160 mm. [28] [29]



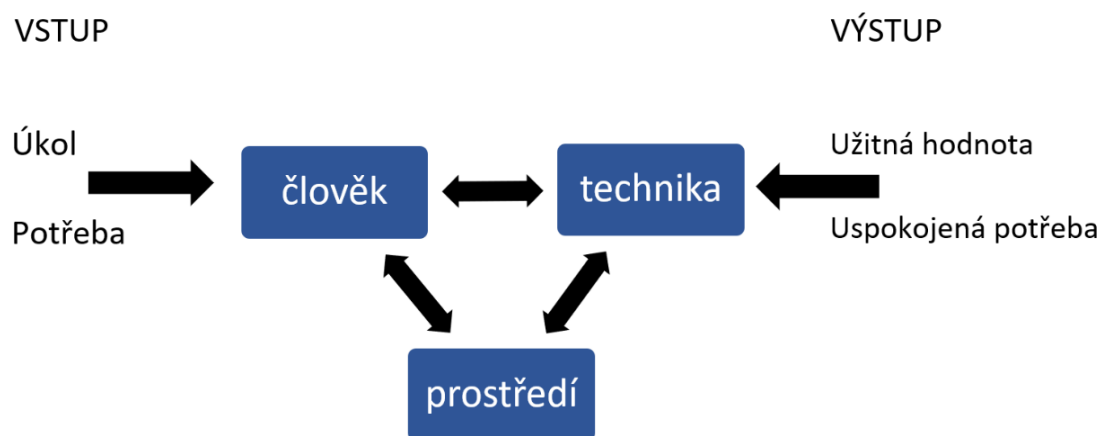
Obr. 18: Boční pohled [28]

5 Ergonomie

Jedním z dalších důvodů nasazování kolaborativních robotů je předcházení nemocím z povolání, které se vlivem namáhavé práce nebo práce v nepřírozených polohách mohou u zaměstnanců projevit. Proto je nutné zabývat se v této diplomové práci také ergonomií, která s tímto tématem úzce souvisí.

Ergonomie je vědní obor, který se snaží optimalizovat psychickou a fyzickou zátěž na člověka vyvíjenou a tím u člověka dosáhnout pracovní pohody, což má za následek nejenom zvýšení produktivity ale i rozvoj osobnosti člověka. [30]

Jejím hlavním přínosem je pohled na řešení problematiky člověka ve výrobním i nevýrobním systému. Ergonomie se snaží na tuto problematiku nahlížet jako na celek složený z člověka, techniky a prostředí a snaží se řešit vzájemné vazby mezi těmito částmi celku, díky kterým je možné vytvořit novou kvalitu. Schéma takového celku je zakreslené na Obr. 19.



Obr. 19: Systém člověk – technika – prostředí [30]

Jelikož se tato diplomová práce zabývá montáží, je důležité zdůraznit, že převládající vazba bude mezi člověkem a technikou, přičemž technikou zde rozumíme vše, co člověk používá k vytvoření užité hodnoty. Nejedná se jen o nástroje ale i o manipulační zařízení a nábytek. Avšak se zvyšující se mírou automatizace ve výrobní sféře se postupně energeticky a fyzicky náročné činnosti přesouvají na činnost psychickou, a proto zde hraje také důležitou roli prostředí.

Kritéria, která lze u systému člověk-technika-prostředí hodnotit jsou nejenom produktivita, spolehlivost a ekonomičnost systému, ale také fyzická a psychická namáhavost, nebezpečnost, hygieničnost a estetičnost tohoto systému.

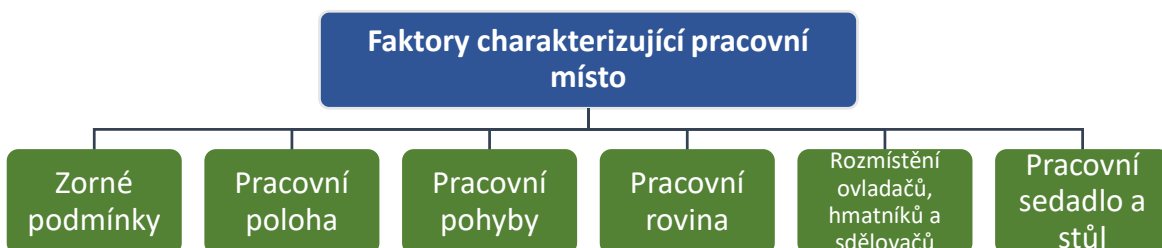
Dalším hlavním přínosem ergonomie kromě systémového pojetí je také antropocentrický přístup, jehož hlavním úkolem je zajistit, aby technika respektovala fyzické a psychické limity člověka. [30]

5.1 Ergonomie pracovního místa

Při řešení ergonomie pracoviště je důležité si uvědomit, že není možné se zaměřit pouze na techniku, ale je nutné se také zaměřit na individuální fyzické a psychické vlastnosti člověka. Aby bylo možné u člověka dosáhnout pracovní pohody, je nutné se zaměřit například na dobu, po kterou člověk práci vykonává, na fyziologické vlastnosti člověka a jeho zdravotní stav, na samotný druh práce anebo třeba na mikroklimatické podmínky pracoviště.

Dále je nutné odstranit všechny rušivé a škodlivé vlivy, které by mohly způsobovat určitý diskomfort nebo v horších případech i tělesné a duševní příznaky, jako je třeba přetížení pohybového aparátu nebo zrakové potíže. Odstraněním těchto vlivů lze předejít náhlému poškození zdraví tzv. úrazu anebo nemoci z povolání, což je onemocnění prokazatelně způsobené pozvolným působením nevhodných pracovních podmínek.

Je důležité si blíže popsat některé faktory, které jsou znázorněny na Obr. 20. Jedná se o faktory, které pracoviště charakterizují, a proto je nutné se na ně při navrhování pracovního místa zaměřit. [30] [31]



Obr. 20: Faktory charakterizující pracovní místo [31]



Zorné podmínky

Pracoviště musí být přizpůsobené druhu vykovávané práce a také musí být uspořádáno tak, aby člověk viděl na všechnu potřebnou techniku. Mezi základní zorné podmínky řadíme zornou vzdálenost, osu pohledu a zorné pole.

Zornou vzdáleností rozumíme vzdálenost v cm mezi pozorovaným detailem a okem. Určení správné zorné vzdálenosti závisí na velikosti kritického detailu, což je vzdálenost potřebná pro přijetí informace. U většiny typů montáží je doporučená zorná vzdálenost 35-50 cm. U jemných montáží je to potom 12-25 cm, a naopak u hrubých montáží se hodnota zorné vzdálenosti doporučuje 50 cm a výše. Je nutné však zahrnout i aspekty jako je například kvalita zraku pracovníka, osvětlení nebo výška manipulační roviny, která by měla být ideálně nastavitelná. [30] [31]

Osou pohledu rozumíme polopřímku, která vychází z oční bulvy a svírá úhel α s horizontálou vedenou okem. Hodnoty úhlu α se liší ve stoje, kdy se $\alpha_{stoj} = 25^\circ$ a v sedu, kdy se $\alpha_{sed} = 35^\circ$. Je důležité, aby obrazovky, sdělovače atd. byly kolmé na směr této osy, aby bylo možné zajistit správnou polohu hlavy.

Po fyziologické stránce se zorné pole vyznačuje jako oblast, kterou je člověk schopný pozorovat, bez pohybu oka. V ergonomii se zorným polem rozumí oblast, ve které je člověk schopný vykonávat zrakově náročné práce. Máme zorné pole optimální, které má 20° . Zorné pole normální, které má 60° . Pole funkční se 120° a pole maximální se 220° . [30] [31]

Pracovní poloha

Pracovní poloha je poloha těla, ve které člověk práci vykonává. Mezi nejčastější polohy patří sed a stoj, ale lze se setkat i s klekem, lehem nebo například dřepem. U pracovní polohy je nutné, aby byla stabilní a aby při ní nedocházelo k nadměrnému zatěžování muskuloskeletálního systému.

V případě rozhodování se mezi pracovní polohou v sedě anebo ve stoje je vhodné zvolit polohu v sedě, při které se dodržuje konkávní zakřivení páteře v krční a bederní oblasti. V ideálním případě by mělo se mělo předcházet vytáčením trupu tím, že orientace trupu, krku a hlavy by měla být v rovině souměrnosti těla, osa ramen by měla rovnoběžná



s osou pánve a stehna by měla svírat s trupem úhel větší než 135° . Poloha v sedě je na rozdíl od polohy ve stoje méně energeticky náročná a nedochází zde k trvalému zatížení dolních končetin, které na toto zatížení nejsou dimenzovány.

Je důležité však zdůraznit, že ani poloha v sedě bez možnosti změny není vhodná. Jakákoliv poloha bez možnosti její změny je nucená poloha a v ergonomii se definuje jako fyziologicky nepříznivá poloha. Důsledkem těchto nucených poloh je nadměrné zatížení, které vzniká kvůli statickému namáhání svalů nebo například vlivem trvalého tlaku nebo třeba natažení či tření.

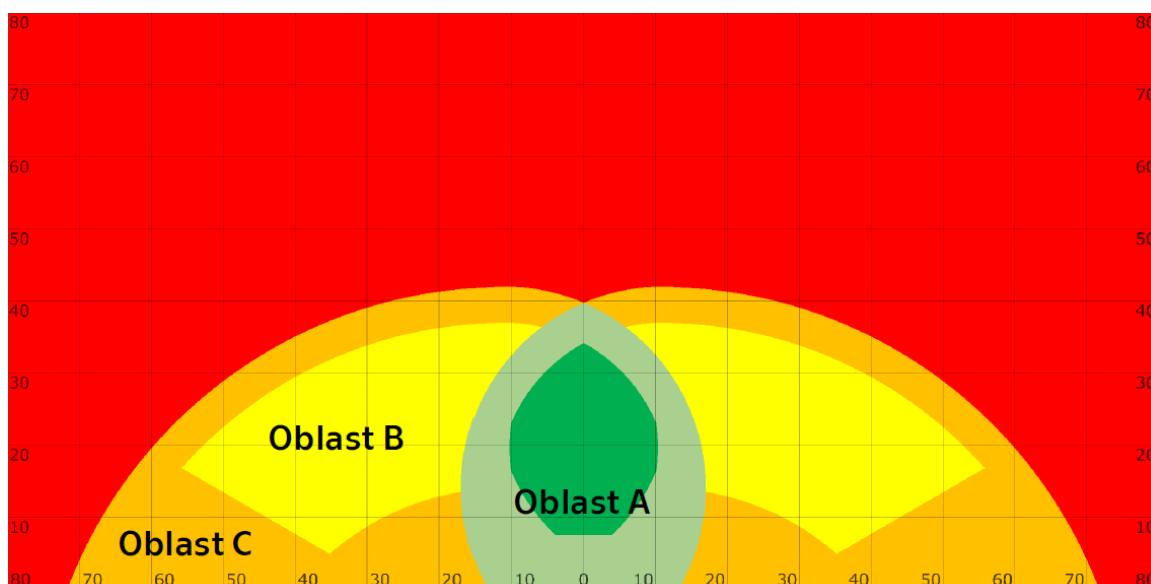
Pokud je nucená poloha pro vykonávání práce nevyhnutelná, je vhodné pracovníkovi zajistit přestávky, kdy je schopný tuto polohu změnit případně úmyslně navrhnout pracovní postup tak, aby si například pracovník musel dojít pro další dávku součástí a tím došlo ke změně polohy. Pokud nelze u práce umožnit polohu v sedě, je vhodné pracovníkovi umožnit alespoň polohu v „polosedu“. [30] [31]

Pracovní pohyby

Při montáži je důležité se zaměřit především na správné pracovní pohyby horních končetin. Pracovníci při montáži nejčastěji využívají obě dvě horní končetiny, a proto je nutné zajistit, aby se každá končetina zatěžovala rovnoměrně a nedocházelo tak k přetěžování jedné svalové skupiny. Při vykonávání těchto pohybů se musí zamezit riziku mechanického poškození.

Všechny pracovní pohyby by měli probíhat po přímých drahách v rytmickém a plynulém tempu. Je vhodné se při pohybu vyvarovat klikatým křivkám, a to i za cenu prodloužení dráhy pohybu.

Dosah horních končetin při vykonávané práci by měl respektovat optimální fyziologické vlastnosti pracovníka. Na Obr. 21 jsou vyznačeny oblasti dosahu horních končetin na pracovním stole. [30] [31]



Obr. 21: Oblast dosahu horních končetin, rozměry na osách jsou v cm [32]

V oblasti A je vhodné vykonávat časté a přesné pohyby, jelikož se jedná o oblast s nejsnadnějším dosahem a pro pohyb v této oblasti pracovník využívá pouze pohyb první poloviny rukou. V oblasti B již dochází k pohybu obou předloktí, avšak stále bez nutnosti změny základní pracovní polohy, může zde však docházet k mírnému předklonu nebo pohybu do stran. Oblast C je oblastí maximálního dosahu pracovníka a měly by se zde vykonávat pouze méně časté a pomalejší pohyby, jelikož je zde nutné otáčení trupu. Jak z náčrtu těchto oblastí vyplývá, nejideálnější oblastí pro vykonávání vlastní činnosti montáže je oblast A s tím, že do oblasti B je vhodné pracovníkovi umístit náhradní díly a nástroje nutné pro vykonání montáže. Tímto rozmístěním se dosáhne nejenom vyšší efektivity, ale zároveň se předejde úrazům a nemocem z povolání. [30] [31]

5.2 Zátěž člověka

Pracovní zátěž člověka lze definovat jako fyzickou nebo psychickou reakci organismu na vnější podmínky, vliv okolí, stav napětí nebo například vlastní pracovní činnost. O velikosti zátěže rozhoduje nejenom charakter plnění úkolu, ale také individuální faktory jako jsou způsobilost pracovníka, jeho věk a pohlaví nebo třeba samotné zkušenosti.

Vlivem nadměrné zátěže dochází k narušení pracovní pohody, což způsobuje zhoršení pracovního nasazení a případný stress. Zátěž můžeme rozdělit na fyzickou a psychickou.



5.2.1 Fyzická zátěž

Fyzická zátěž se u člověka projeví při jakékoliv činnosti a může být dvojího typu, a to buď dynamická nebo statická.

Dynamická neboli izotonická zátěž je zátěž, při které dochází ke střídavému zapojení svalových skupin a kdy dochází ke střídání napětí a uvolňování svalstva. Mezi typické zdroje dynamické zátěže patří stereotypní činnost, kdy například pracovník trvale zásobuje stroj materiálem nebo činnosti, které vyžadují vysokou přesnost, jako jsou například jemné montáže. Mezi další zdroje této zátěže patří například činnosti, kde je nutné použít velkou sílu nebo práce s nepřírozenou dráhou pohybu.

Statická zátěž je více zatěžující než dynamická. Dochází při ní k izometrické kontrakci svalů, což znamená, že délka svalů se nemění ale napětí ve svalu se zvyšuje, a tudíž dochází rychleji k únavě. Statická zátěž je charakteristická tím, že se svaly méně zásobují krví a kyslíkem a dochází v nich k hromadění kyselých metabolitů. K statické zátěži dochází například při nemožnosti změny polohy, při držení předmětů nebo práci nad hlavou.

Fyzickou namáhavost práce lze měřit buď přímými, nepřímými nebo speciálními metodami. Pomocí přímých metod se měří velikost stresoru a patří sem například přemístěná hmotnost, vynakládaná síla nebo počet pohybů. Pomocí nepřímých metod se měří odezva organismu a patří mezi ně například měření srdeční frekvence, frekvence dýchání, krevního tlaku nebo třeba elektrického kožního odporu. Odhad, výpočet z mechanické práce anebo dotazníková metoda patří mezi speciální metody.

Mezi efektivní metody snížení fyzické zátěže patří mechanizace, automatizace nebo jako v našem případě robotizace pracoviště. [30] [31]

5.2.2 Psychická zátěž

Postupné snižování podílu fyzické zátěže naopak přispívá ke zvyšování podílů zátěže psychické. Vyplývá to z charakteru prací, které jsou nyní více než kdy jindy zaměřené na moderní technologie a mentální dynamické práce. Ve většině případů snížení psychické zátěže je o mnoho náročnější proces, než tomu je v případě snížení fyzické zátěže.



Psychickou zátěž lze rozlišit na:

1. **Senzorickou zátěž** – odezva na požadavky na činnost smyslových orgánů a s nimi spojených struktur centrálního nervového systému
2. **Mentální zátěž** – odezva na požadavky na zpracování informací, které zatěžují psychické funkce a procesy jako je pozornost, paměť, představivost atd.
3. **Emocionální zátěž** – souvisí s požadavky vyvolávající afektivní odpověď

I přes to, že existují metody pro měření psychické namáhavosti, je nutné si uvědomit, že dopad této zátěže ovlivňují individuální potřeby a stav organismu jednotlivce. Dopad psychické zátěže je ovlivněn percepcí, což je proces vnímání, cítění a hodnocení situace a z toho již vyplývá, že i přes stejný vnější vliv bude odezva u jednotlivců odlišná. [30]

[31]

6 Návrh montážního pracoviště

Tato kapitola bude věnovaná návrhu montážního pracoviště pro společnost SOPO s.r.o.. Pro návrh kolaborativního pracoviště bude použit robot IRB 14050 od společnosti ABB, současně však bude představen výchozí stav pracoviště bez robotu a úprava tohoto stavu tak, aby vyhovovala jak ergonomickým, tak i montážním požadavkům.

Cílem návrhu kolaborativního pracoviště je zlepšit produktivitu práce, která nebude na úkor zdraví montážního pracovníka.

V této kapitole budou představeny jednotlivé varianty pracovišť a jejich součástí bude i jejich analýza. Návrh jednotlivých variant byl vymodelován v programu Autodesk Inventor, fyzická zátěž pracovníka byla následně ověřena v programu Tecnomatix Jack od společnosti Siemens.

Vybraná nejvhodnější varianta bude následně podrobně zpracována.

6.1 Společnost SOPO s.r.o.

Historie společnosti SOPO sahá již do roku 1992, kdy byla zapsána do Obchodního rejstříku firem. Jedná se o vývojově-výrobní firmu, která se zabývá výrobou malých, středních i velkých sérií rotorů a statorů do všech typů elektromotorů.

Statory a rotory vyrábí pro široké spektrum zákaznických aplikací na čtyřech místech v České republice, a to v Bistřici nad Perštějnem, Jedovnicích, Modleticích a Nebovidách.

Společnost má zaveden systém jakosti ISO 9001, je pravidelně certifikována společností TÜV a auditována na kvalitu a procesy jejich klienty. [33]



Obr. 22: Logo společnosti SOPO [33]

6.2 Předmět montáže

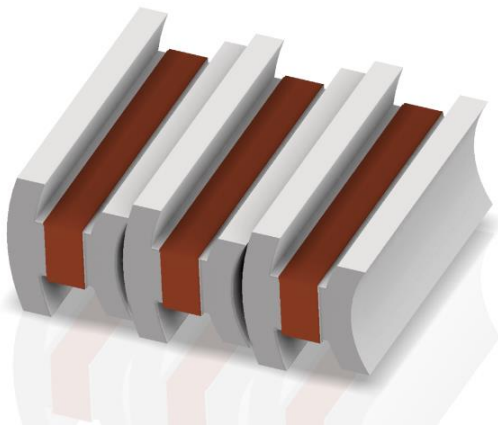
Předmětem montáže bude na tomto pracovišti **segmentový stator** (Obr. 23), který se skládá z deseti různých dílů, jejichž zjednodušené modely jsou zobrazené v Tab. 1.



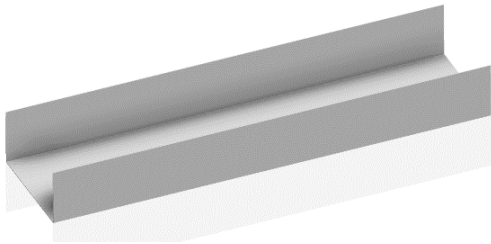




Obr. 23: Segmentový stator [33]

Jedná se konkrétně o operaci skládání segmentového statoru, jemuž předchází operace broušení hrany statorového segmentu a navíjení cívek na segment statoru.



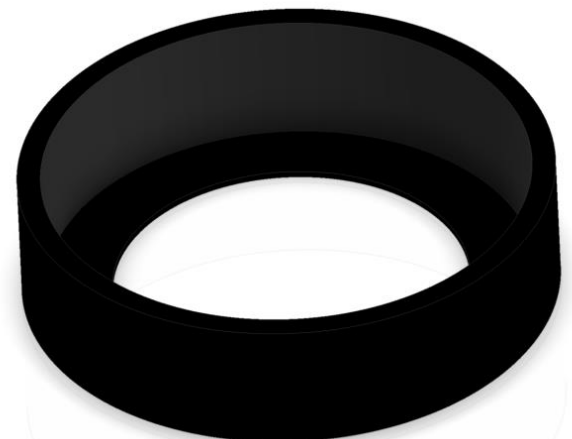
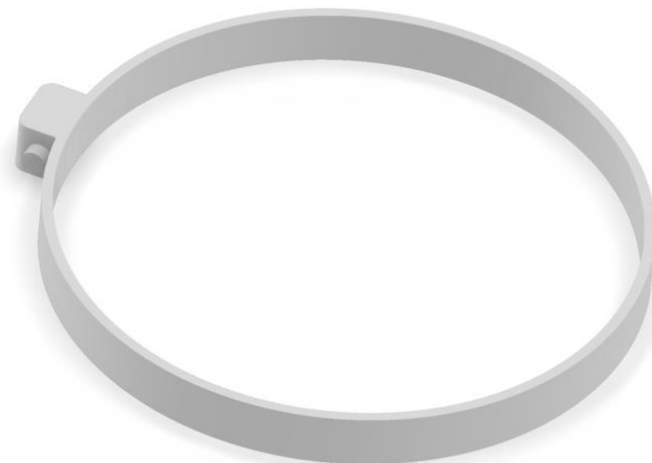
Tab. 1: Přehled jednotlivých dílů

Název dílu	Počet kusů	Náhled
Tři kusy statorové segmentu s navinutou cívkou (dále v práci již jen jako segment)	3	

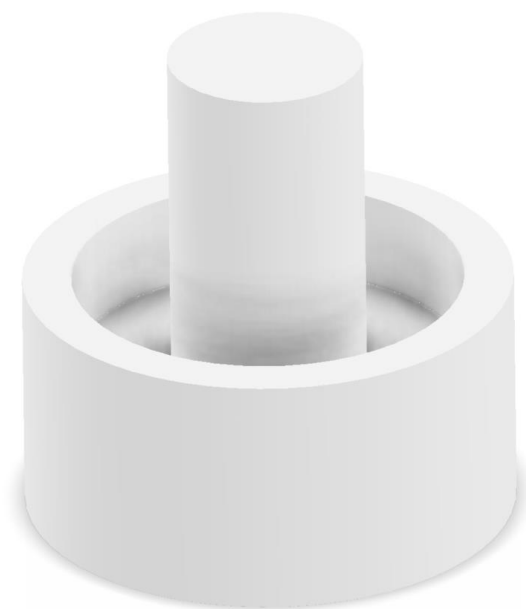


Proklad	18	
Bužírka 110 mm	1	
Bužírka 74 mm	1	
Bužírka 35 mm	1	
Bužírka 125 mm	1	



Bužírka 70 mm	1	
Bužírka 30 mm	1	
Statorová krytka plastová	1	
Stahovací spona	1	

Postup skládání jednotlivých dílů je následující. Nejprve se na jednotlivé části statorového segmentu umístí proklady, a to z obou stran. Poté se segmenty umístí do speciálního přípravku (Obr. 24) tak, aby segmenty dohromady tvořily požadovaný tvar.

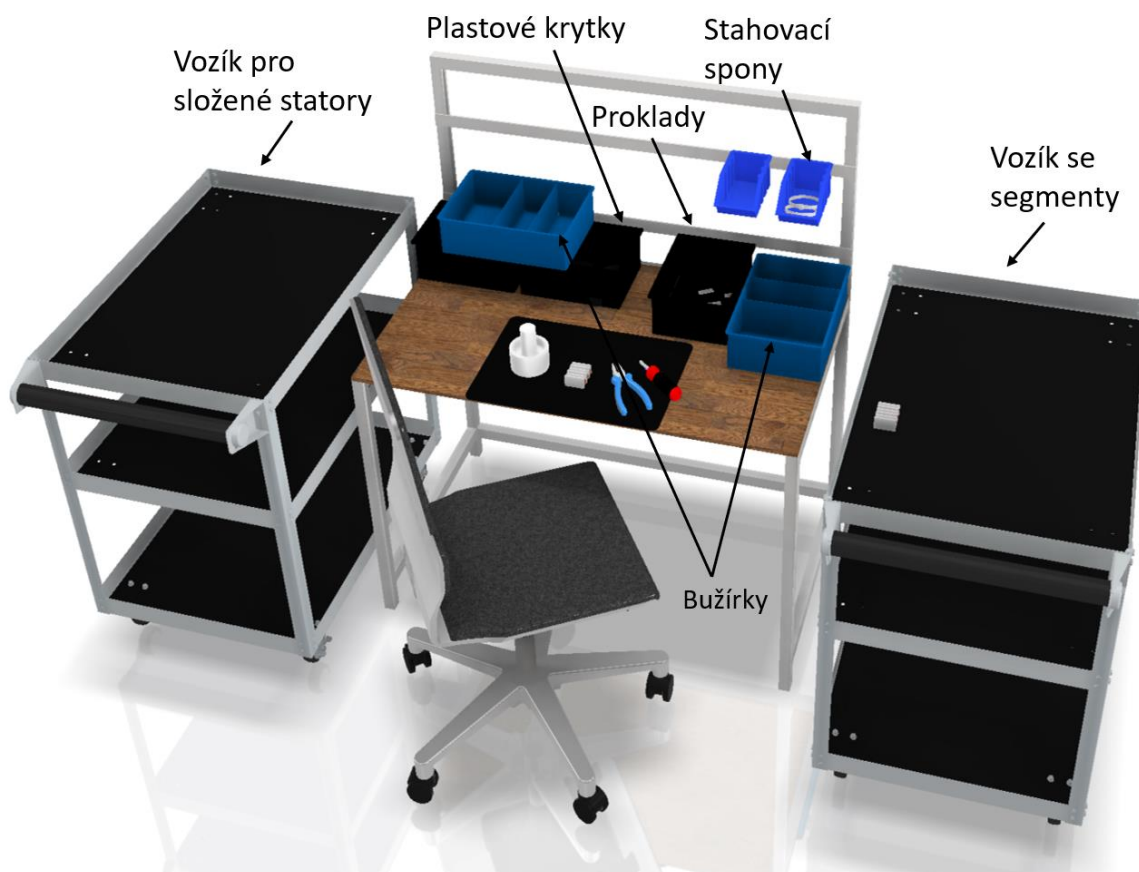


Obr. 24: Přípravek na oporu tvaru statoru

Dále se na obvod segmentů umístí stahovací spona, která se následně utáhne a tím pádem může dojít k vyjmutí přípravku, který doposud sloužil jako opora požadovaného tvaru. Nyní se na jednotlivé konce navinutých cívek navlíknou bužírky v předem daném pořadí. Operace skládání segmentového statoru je zakončena nasazením plastové krytky.

6.3 Původní pracoviště

Nejprve je nutné představit, jak probíhá montáž ve společnosti SOPO s.r.o. v současné době. Na Obr. 25 je vyobrazen původní stav pracoviště pro operaci skládání segmentového statoru.



Obr. 25: Původní stav pracoviště

Na policovém vozíku vpravo se nachází segmenty s navinutou cívkou, které se sem přemísťují z předchozí operace, kde dochází k navijení cívek. Na policový vozík vlevo se poté umísťují již složené segmentové statory.

Analýzou jednotlivých kroků pracovníka jsem získala celkový čas potřebný na sestavení jednoho segmentového statoru. Časové trvání jednotlivých kroků je z důvodu uvádění citlivých dat společnosti zkreslené od reality. Postup skládání a zkreslené časové trvání je rozepsané v Tab. 2.



Tab. 2: Zkreslené časové trvání sestavení segmentového statoru

Pořadí	Krok	Trvání (vteřiny)
1.	Přípravení segmentu	9 s
2.	Vkládání prokladů	75 s
3.	Umístění segmentu do přípravku	9 s
4.	Bod 1. - 3. se provede celkově třikrát, časové trvání je za dvě opakování (Stator se skládá celkově ze tří segmentů)	183 s
5.	Nasazení stahovací spony	12 s
6.	Utažení spony	17 s
7.	Vyjmutí přípravku	2 s
8.	Upravení pozice spony	17 s
9.	Nasazení bužírek	97 s
10.	Nasazení plastové krytky	3 s
11.	Odložení smontovaného statoru	2 s
Celkový čas		426 s

Z této analýzy je patrné, že nejdelší čas stráví pracovník na vkládání prokladů (průměrně 75 s) a na nasazování bužírek (97 s). V rámci návrhu variant pracovišť s kolaborativním robotem bude tedy nutné se na tyto činnosti zaměřit.



Původní pracoviště má několik nevýhod. Jako hlavní nevýhodu na tomto pracovišti považují skutečnost, že pracovníkovi není umožněna změna pracovní polohy z důvodu absence výškově nastavitelného stolu. Trvalá práce vsedě je považována za nucenou polohu, což může mít za následek nadměrné zatížení částí těla. Tato skutečnost musí být kompenzována častějšími přestávkami. Změna výšky stolu je důležitá i z důvodu odlišných výšek jednotlivých pracovníků.

Dále jako nevýhodu vidím absenci podložky pod nohy a rozmístění krabiček s jednotlivými díly, které se nachází příliš daleko od optimálního dosahu pracovníka a pro vytažení jednotlivých dílů je nutné zařadit pohyby navíc.

Tyto nevýhody byly následně ověřeny v programu Tecnomatix Jack od společnosti Siemens. V tomto programu byla vytvořena simulace montážního procesu, kterou prováděl muž s výškou 176 cm a hmotností 75,6 kg.

Pro vyhodnocení simulace byla použita metoda s názvem OWAS (Ovako Work Posture Analysis System). OWAS je jednoduchá metoda používaná k ověření bezpečnosti práce související s držením těla. Tato metoda identifikuje nejčastější polohy zad pracovníka (4 polohy), paží (3 polohy), nohou (7 poloh) a hmotnosti manipulovaného břemene (3 kategorie), kombinací těchto poloh se získá až 252 možných variant na základě kterých dojde k vyhodnocení. Pro vyhodnocení jsou použity celkem čtyři kategorie:

- První kategorie se týká normálních a přirozených pozic, u kterých není žádné doporučení pro změnu či úpravu činnosti.
- U druhé a třetí kategorie se již pracovník setkává s určitým rizikem, a proto by měla být ve střednědobém horizontu přijata opatření pro úpravu dané činnosti.
- Čtvrtá kategorie se týká nepřijatelných pozic, které vyžadují okamžité nápravné opatření. [34]

Jako nejvíce problematická činnost se při této analýze prokázala činnost při odebírání segmentů z policového vozíku vyobrazená na Obr. 26.



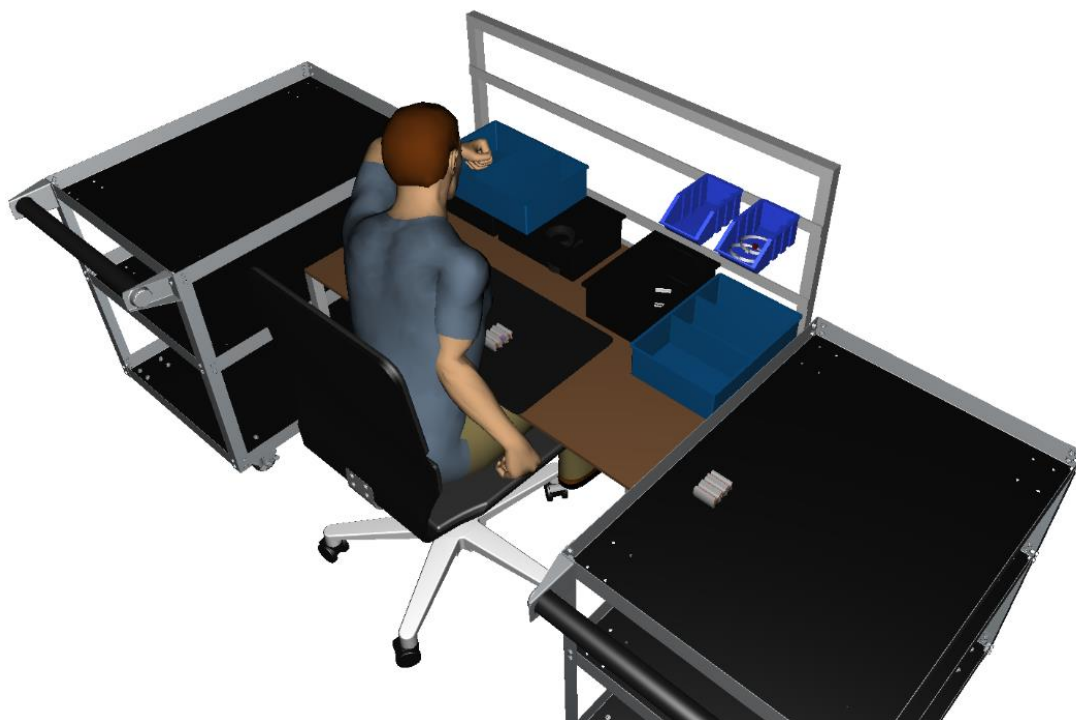
Obr. 26: Původní pracoviště: problém č.1

Hodnocení problému č.1

Tato činnost byla zařazena metodou OWAS do třetí kategorie a objevila se u ní poznámka, že při této pracovní poloze dochází k jisté míře namáhání pohybového aparátu a měla by nastat nápravná opatření. V této poloze však pracovník dlouho a často nesetrvává, proto není nutné tuto polohu považovat za vážnou hrozbu.

Hodnocení problému č.2 a č.3

Analýzou simulace se potvrdilo i nevhodné rozmístění krabiček na stole. Většina krabiček je umístěna příliš daleko od pracovníka, nejhůře byly metodou vyhodnoceny činnosti na Obr. 27 a Obr. 28 . Tyto činnosti byly metodou OWAS zařazeny do druhé kategorie.



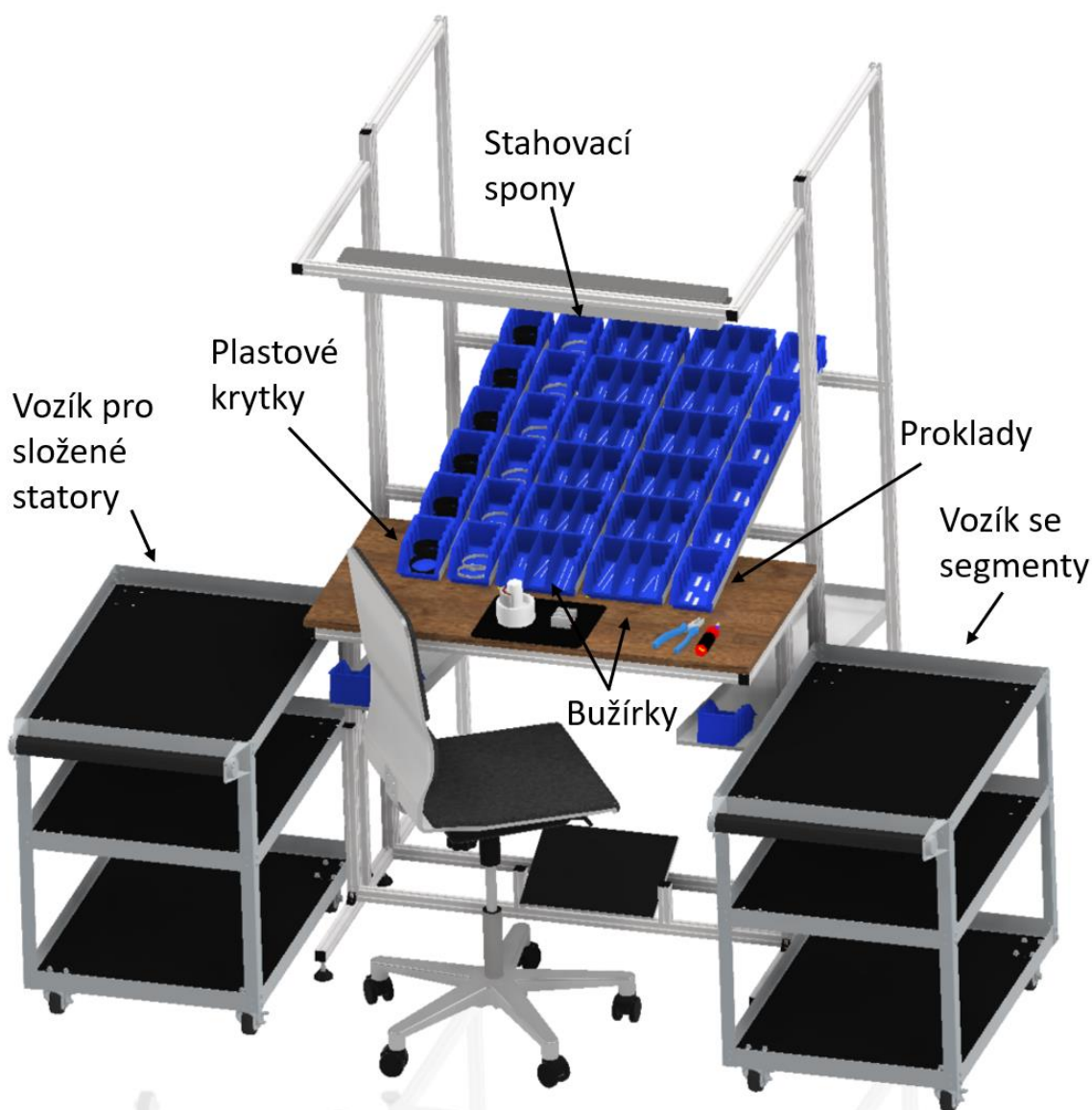
Obr. 27: Původní pracoviště: problém č.2



Obr. 28: Původní pracoviště: problém č.3

6.3.1 Optimalizace původního pracoviště

V rámci této práce byla navržena i úprava původního pracoviště bez použití kolaborativního robotu, u které bylo mimo jiné cílem co nejvíce zachovat koncept původního pracoviště. Návrh pracoviště se nachází na Obr. 29.



Obr. 29: Úprava původního pracoviště

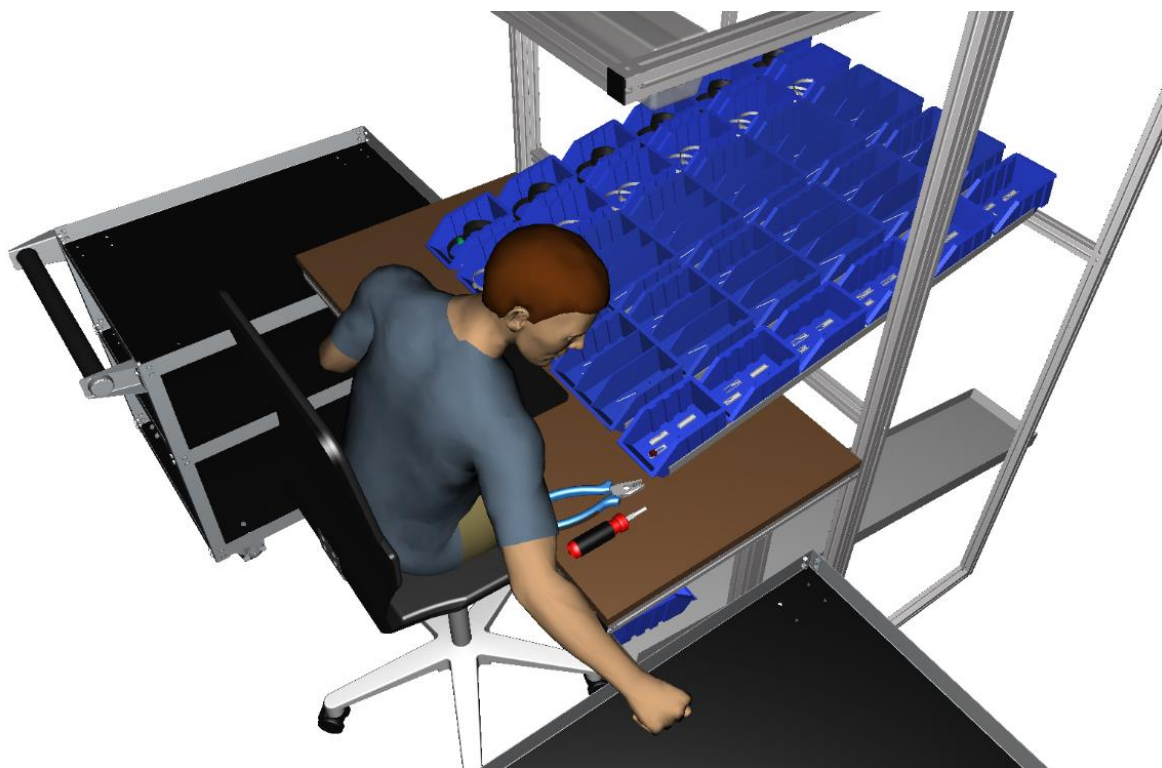
Mezi hlavní úpravu patří přidání spádových drah. Na stůl je spádovou dráhou přiváděno celkově pět krabiček, které obsahují jednotlivé díly potřebné pro sestavení segmentového statoru. Pořadí dílů v krabičkách je zleva: statorová krytka plastová, stahovací spona, jednotlivé bužírky a proklady. Při určování pořadí krabiček byl brán zřetel na stejné zatížení obou rukou pracovníka při montáži. Pod stolem se nachází

spádové dráhy pro návrat již prázdných krabiček. Spádové dráhy umožňují plynulý přísun materiálu, a tedy i plynulost montáže.

Stůl je výškově stavitelný, což umožňuje změnu pracovní polohy na polohu vsedě či vstoje a přizpůsobení výšky na míru daného pracovníka. Při poloze vsedě je doporučeno pracovníkovi využívat podložku nohou, aby se předešlo svírání ostrých úhlů mezi dolními končetinami. Dále bylo přidáno osvětlení nad daným pracovištěm.

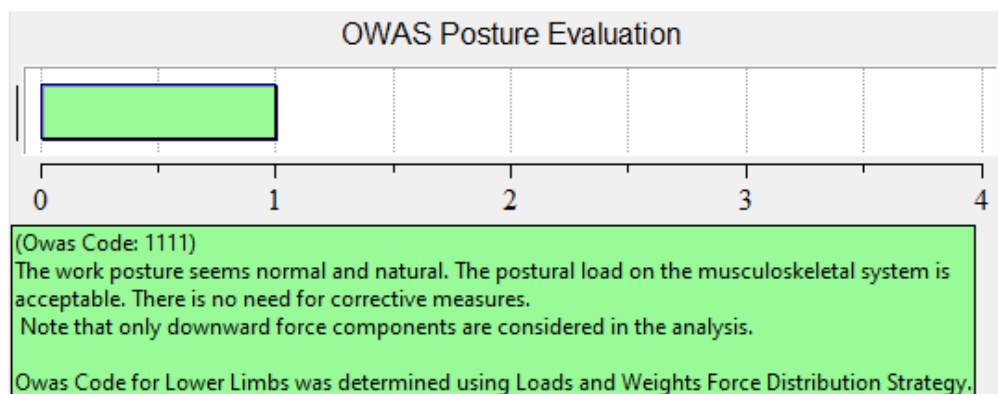
Stejně jako v případě původního pracoviště byla i u této úpravy vytvořena simulace v programu Tecnomatix Jack a následně byla vyhodnocena metodou OWAS.

Jako nejvíce problematická činnost se zde touto metodou prokázala činnost na Obr. 30, která ale na rozdíl od původního pracoviště byla zařazena do druhé kategorie.

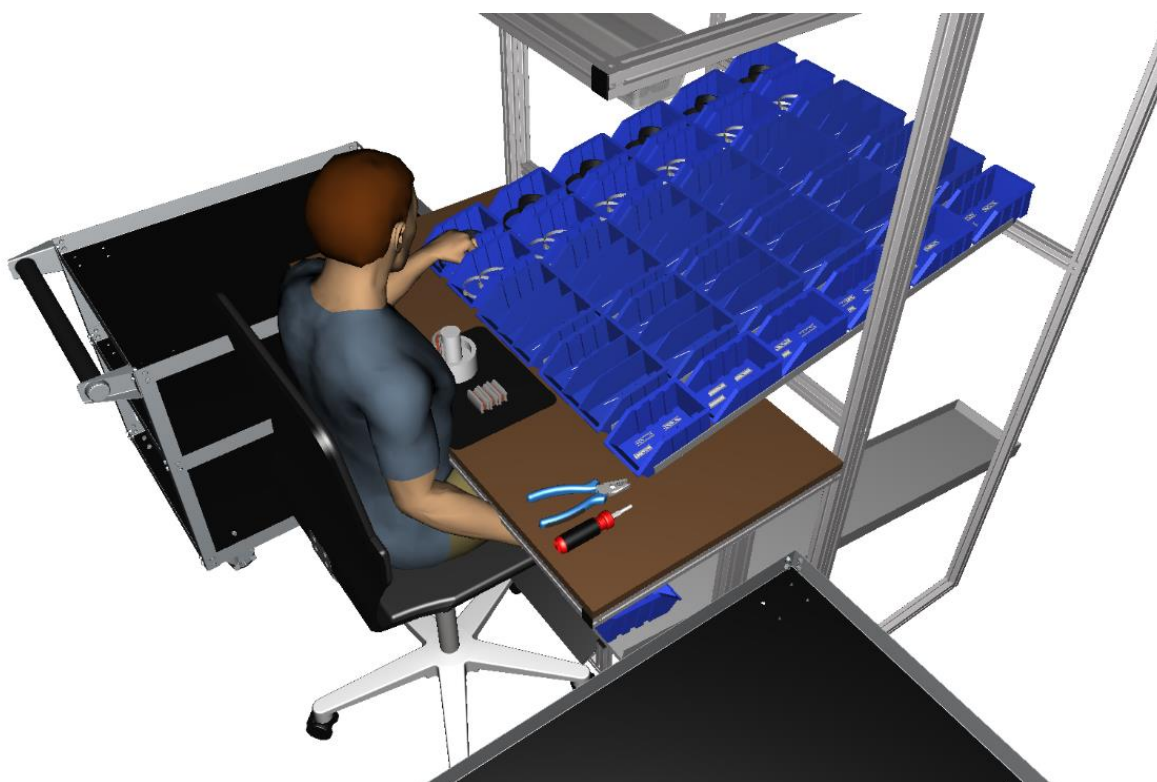


Obr. 30: Upravené původní pracoviště: Vybírání segmentu z vozíku

Zbytek montážního procesu již byl zařazen do první kategorie, kdy zatížení muskuloskeletálního systému je přijatelné a není potřeba nápravných opatření. Výstřižek tohoto vyhodnocení je na Obr. 31.



Obr. 31: Vyhodnocení zbytku montážního procesu metodou OWAS



Obr. 32: Upravené původní pracoviště: Přijatelný dosah pracovníka ke krabičkám



6.4 Návrhy řešení pracoviště s kolaborativním robotem

V této kapitole budou představeny návrhy řešení montážního pracoviště s využitím kolaborativního robotu od společnosti ABB IRB 14050.

Ve všech navržených variantách se jedná o montáž interní, jelikož se uskutečňuje ve výrobním závodě a po opuštění závodu je výrobek připraven k přímému použití. Dále se jedná o montáž stacionární, která je realizována na jednom místě a soustředěnou montáž, která je vykonávána jednotlivcem.

Jedním z nejdůležitějších faktorů při návrhu variant, bylo rozdělení práce mezi pracovníkem a mezi robotem. Mezi hlavní a nejzdlouhavější body montáže se řadí zakládání prokladů do segmentů a navlékání bužírek. Řešení navlékání bužírek na měděné dráty robotem by bylo příliš náročné, jelikož v případě drátů se nejedná o součást se stálým tvarem. Proto jsem se rozhodla, že robot bude tedy ve všech variantách vykonávat vkládání prokladů do segmentů.

Při návrhu jednotlivých variant je důležité dbát na pracovní prostor pracovníka a robotu, který sice sdílí, ale nesmějí si vzájemně při práci překážet. Z toho důvodu a také z důvodu lehčí manipulace s robotem je robot ve všech variantách umístěn na svém vlastním stole.

Všechny navržené varianty budou na závěr své kapitoly zhodnoceny z hlediska usnadnění práce pracovníkovi, ergonomie a ceny. Ergonomie bude vyhodnocována pomocí programu Tecnomatix Jack. Jednotlivé varianty jsou pouze ve fázi návrhu a je nutné, aby vybraná varianta byla následně podrobně zpracována.

Všechny navržené varianty obsahují položky uvedené v Tab. 3. Společnost ABB ceny nezveřejňuje, proto je cena robotu určena odhadem. Cena výškově stavitelné stolu z hliníkových profilů se pohybuje v rozmezí 25 000 Kč až 75 000 Kč, stejně tak se i cena stolu pod robot pohybuje okolo 2 500 Kč.

Výškově stavitelná židle se pohybuje v rozmezí 2 000 Kč až 7 000 Kč. Cena pěnových podložek na stůl se pohybuje okolo 500 Kč, cena kleští okolo 250 Kč a šroubováku okolo 200 Kč. Jako aku šroubovák jsem zvolila zástupce od firmy Makita, jehož cena se



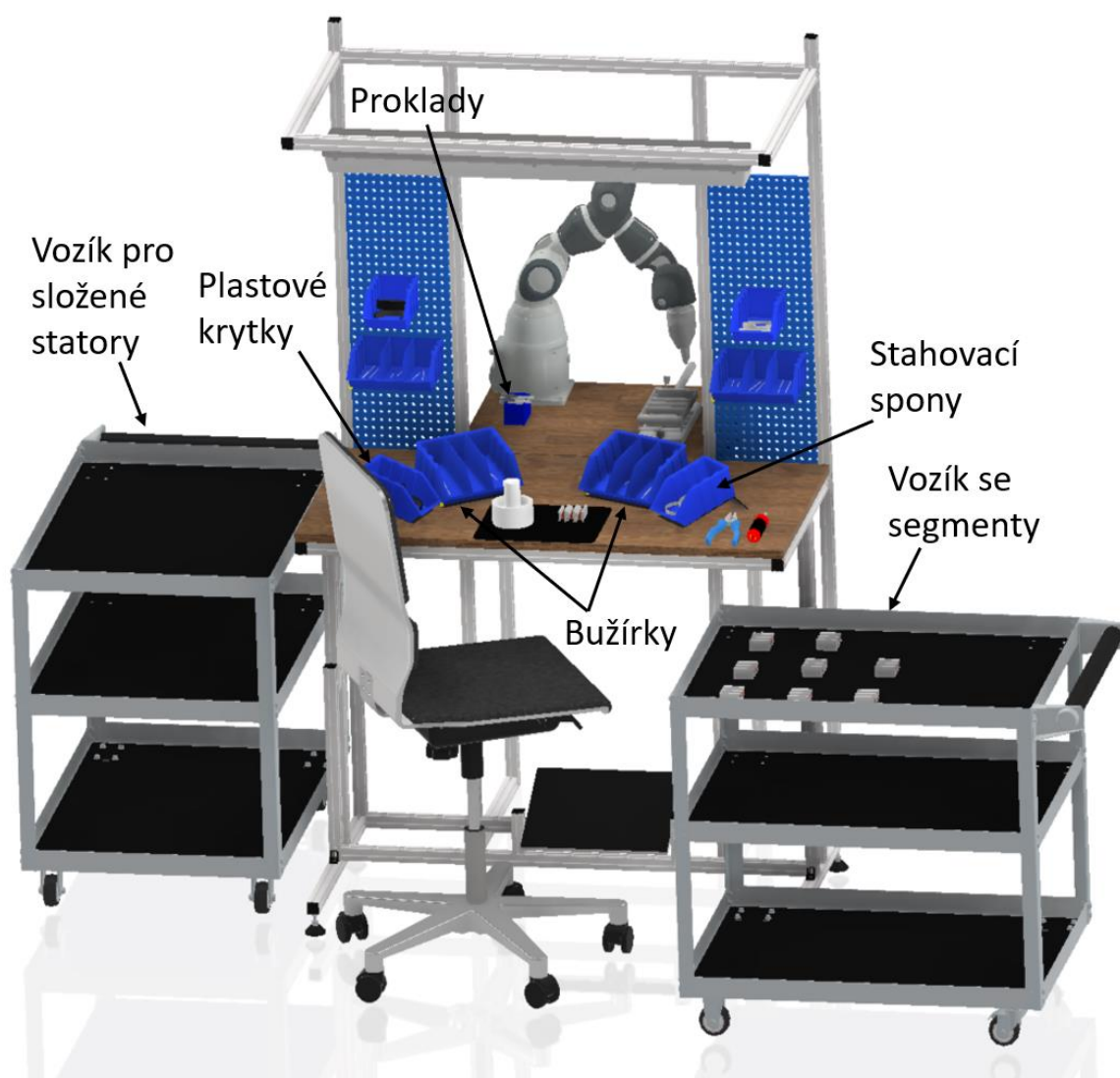
pohybuje okolo 1 300 Kč. Dále se ve všech variantách vyskytuje rozvolňovací přípravek, přípravek na podporu tvaru statoru a podavač prokladů.

Tab. 3: Kalkulace cen vybraných zástupců vybavení obsažených ve všech variantách

Položka	Cena
Robot IRB 14050	700 000 Kč
Výškově stavitelný stůl	32 274 Kč
Výškově stavitelná židle	5 275 Kč
Stůl pod robot	2500 Kč
Podložka na stůl	500 Kč
Kleště	250 Kč
Šroubovák	200 Kč
Aku šroubovák	1300 Kč
Cena celkem	742 299 Kč

6.4.1 První varianta

První varianta je tou nejjednodušší z hlediska automatizace pracoviště. V návrhu tohoto řešení převažuje práce pracovníka, ten má na starost zvednout segmenty z policového vozíku a umístit je na určené místo před kolaborativní robot. Robot následně zvedne segmenty, umístí je do rozvolňovacího přípravku a umístí na segmenty proklady z obou stran. Segmenty následně robot umístí zpět na vybrané místo. Odtud si již segmenty s vloženými proklady pracovník odebere a pokračuje v montáži.



Obr. 33: První varianta

Bylo by vhodné vybavit tuto variantu lokalizací objektů pomocí kamery. Obecně se takový proces nazývá Robot Vision, kdy kamera získá informace o poloze objektu a



pomocí zpracování těchto informací v řídicím systému v robotu je robot schopný daný objekt lokalizovat.

V tomto řešení by mohlo být pracoviště vybaveno systémem *Integrated Vision* od společnosti ABB. Toto řešení zahrnuje chytrou 2D kameru umístěnou na pracovišti, která je plně kompatibilní s kolaborativním robotem a softwarem RobotStudio. Pomocí zpracování obrazu kamery by robot byl naváděn k poloze umístění segmentů. Využití tohoto řešení by robotu zajistilo spolehlivé nalezení segmentů, které před něj pracovník postaví a pracovníkovi by to ulehčilo práci z hlediska přesnosti umísťování segmentů před kolaborativní robot.

6.4.1.1 Zhodnocení první varianty

Výhodou této varianty je její jednoduchost v případě přestavení původního pracoviště na pracoviště kolaborativní. Nevýhodou je naopak nutnost přerušování montáže z důvodu doplňování jednotlivých dílů do krabiček. Tato nevýhoda byla v této variantě řešena pomocí další sady krabiček umístěných na zadní stěně stolu.

Pracovníkovi byla ulehčena montáž o vkládání prokladů, což je činnost náročná na přesnost, kolaborace je však stále velmi závislá na pracovníkovi, a proto by mohl v této variantě vzniknout problém se samotnou plynulostí montáže a s tím související časté čekání robotu na podání segmentů.

Kalkulace ceny první varianty je v Tab. 4. Plastové krabičky by bylo možné objednat například z internetových obchodů, kde se ceny jednoho kusu menší krabičky pohybují okolo 35 Kč a cena větší krabičky okolo 66 Kč. Stejně by bylo možné objednat i policový vozík za 7 083 Kč. Společnost ABB ceny veřejně neposkytuje, proto odhaduji cenu kamery *Integrated Vision* na 100 000 Kč.

Tab. 4: Cena první varianty

Položka	Cena
Vybavení z Tab. 3	742 299 Kč
Čtyři menší krabičky	149 Kč
Dvě větší krabičky	264 Kč

Dva policové vozíky	14 166 Kč
Integrated Vision Kamera	100 000 Kč
Cena první varianty celkem	856 878 Kč

Následně byla provedena simulace pohybů na tomto pracovišti. Analýzou metodou OWAS bylo zjištěno, že nejproblematictější pohyb pracovníka je při podávání segmentu robotu na Obr. 34.



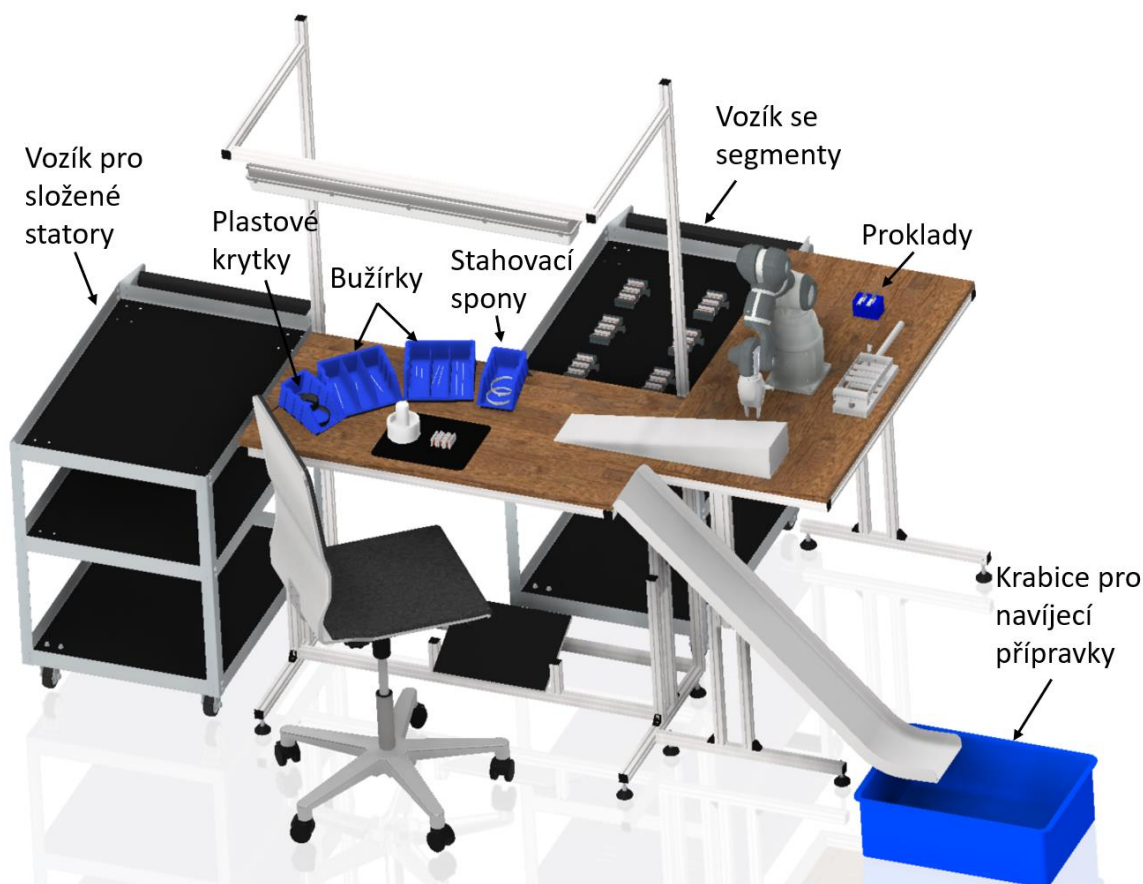
Obr. 34: První varianta: Podávání segmentu robotu

Touto metodou byl tento pohyb zařazen do druhé kategorie, kdy tato pracovní pozice může mít škodlivý dopad na pohybový aparát, ale zároveň zátěž není extrémní. Při této pozici byla také naměřena nejvyšší hodnota kompresní síly ve spodní části zad, tato hodnota činila 2034 N. Limit kompresní síly ve spodní části zad je podle Národního institutu pro zdraví a bezpečnost při práci (USA) 3400 N, a tudíž velikost této síly byla pod nastaveným limitem. Tento problém by bylo možné řešit například přemístěním robotu blíže k pracovníkovi nebo umístěním přípravku, který by segment od pracovníka k robotu přemístil.

Do druhé kategorie byly zařazeny i pohyby pracovníka, které vykonával při vyjímání dílů z krabiček umístěných na zadní stěně stolu.

6.4.2 Druhá varianta

Návrh druhé varianty je vyobrazen na Obr. 35. V návrhu této varianty by robot zvedal segmenty z policového vozíku, umisťoval by je do rozvolňovacího přípravku a následně by segmenty s vloženými proklady posílal pracovníkovi po spádové dráze umístěné mezi jednotlivými stoly. Segmenty se na policovém vozíku nachází v navíjecím přípravku z předchozí operace navíjení cívek na segment statoru.



Obr. 35: Návrh druhé varianty

Pracovník by vyjmul segmenty z navíjecího přípravku, který by následně spustil po spádové dráze do krabice umístěné na zemi. Poté by pokračoval ve skládání segmentového statoru a hotový produkt by odložil na policový vozík.

Pracoviště by v tomto případě mohlo být vybaveno systémem Integrated Vision jako v případě první varianty, jelikož uvažujeme, že segmenty budou na policovém vozíku



umístěny bez překrývání. Pokud by se segmenty vzájemně překrývaly, bylo by nutné pracoviště vybavit například 3D systémem FlexVision od společnosti ABB, díky kterému by byl robot schopný identifikovat jednotlivé segmenty i v tomto případě.

6.4.2.1 Zhodnocení druhé varianty

Jednou z nevýhod tohoto řešení je možnost využití pouze horní police v policovém vozíku, což velmi limituje plynulost montáže, stejně tak jako nutnost doplňování krabiček u pracovníka. Z toho důvodu by muselo docházet k častému doplňování jednotlivých dílů a tím pádem k přerušování montáže.

Další nevýhodou je nutnost vyprazdňování krabice pro navíjecí přípravek umístěné na zemi, u které by stejně jako v případě dílů muselo docházet k častému vyprazdňování, aby u předchozí operace nedošlo k nedostatku těchto přípravků. Nevhodné je i její umístění na zemi.

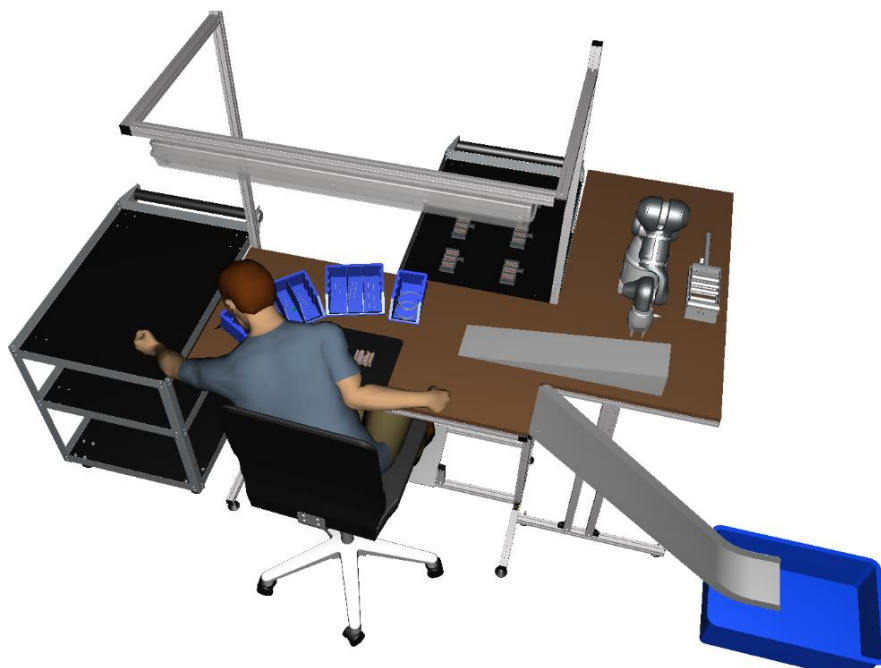
Práce je zde pracovníkovi usnadněna, stejně jako v první variantě, o vkládání prokladů.

Výpočet ceny druhé varianty se nachází v Tab. 5. Oproti první variantě se na pracovišti nachází navíc spádové dráhy a krabice na navíjecí přípravek. Krabice na navíjecí přípravek by bylo možné také objednat z internetového obchodu jako ostatní krabičky, její cena se pohybuje okolo 500 Kč.

Tab. 5: Cena druhé varianty

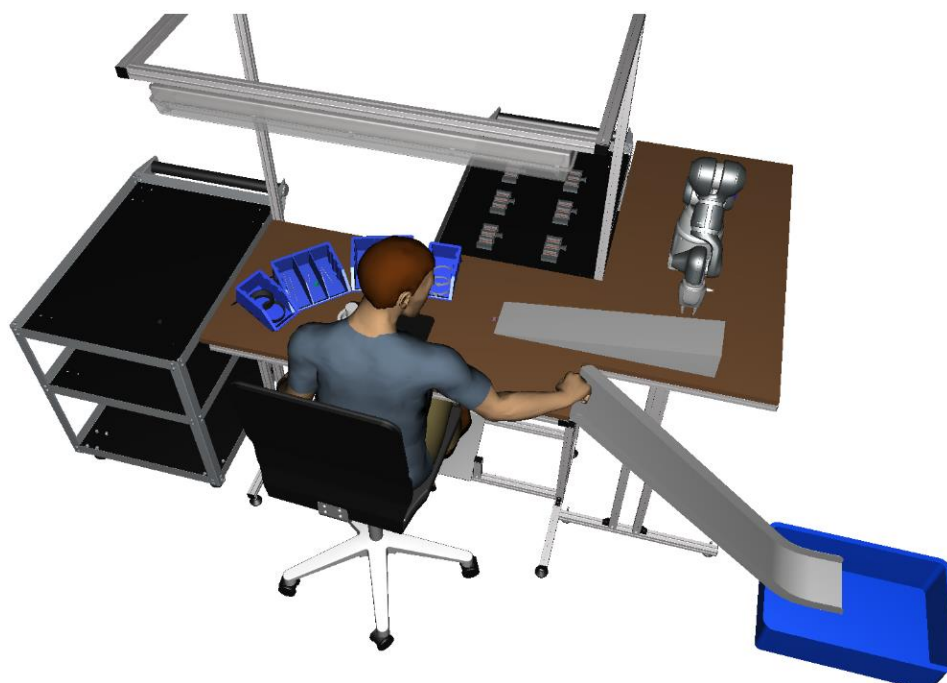
Položka	Cena
Vybavení z Tab. 3	742 299 Kč
Dvě menší krabičky	70 Kč
Dvě větší krabičky	132 Kč
Dva policové vozíky	14 166 Kč
Krabice na navíjecí přípravek	500 Kč
Integrated Vision	100 000 Kč
Cena varianty celkem	857 167 Kč

Provedenou simulací v programu Jack byl jako nejvíce kritický pohyb (druhá kategorie), stejně jako v předchozích simulacích, vyhodnocen pohyb na Obr. 36. Při tomto pohybu byla kompresní síla na spodní část zad rovna 2087 N, což je stále pod hranicí limitu.



Obr. 36: Druhá varianta: Odkládání hotového satoru

Zbylé pohyby prováděné při montážním procesu byly vyhodnoceny jako bezproblémové a byly zařazeny do první kategorie.



Obr. 37: Druhá varianta: Odkládání navijecího přípravku

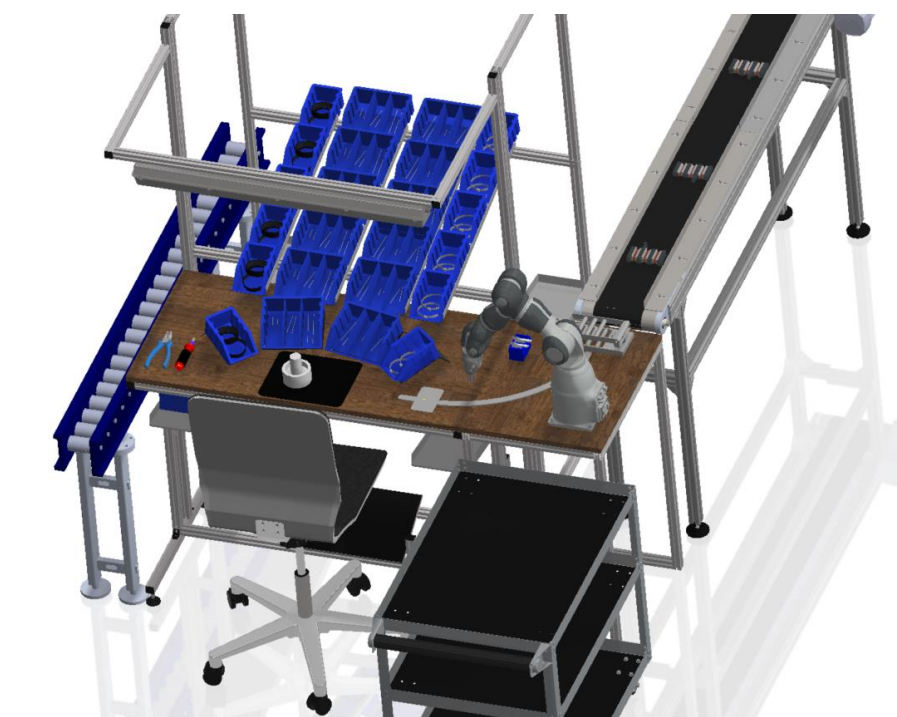
6.4.3 Třetí varianta

Třetí varianta je z hlediska automatizace pracoviště nejpropracovanější. Nejprve měla třetí varianta podobu jako na Obr. 38.

Na pásovém dopravníku se segmenty nachází v navíjecím přípravku stejně jako v druhé variantě. Z pásového dopravníku si robot segmenty posunutím přemístí do rozvolňovacího přípravku, kde vsune na segmenty proklady. Po vložení prokladů robot posune segmenty po kolejnici blíže k pracovníkovi, odkud si je již pracovník přebere a pokračuje v montáži.

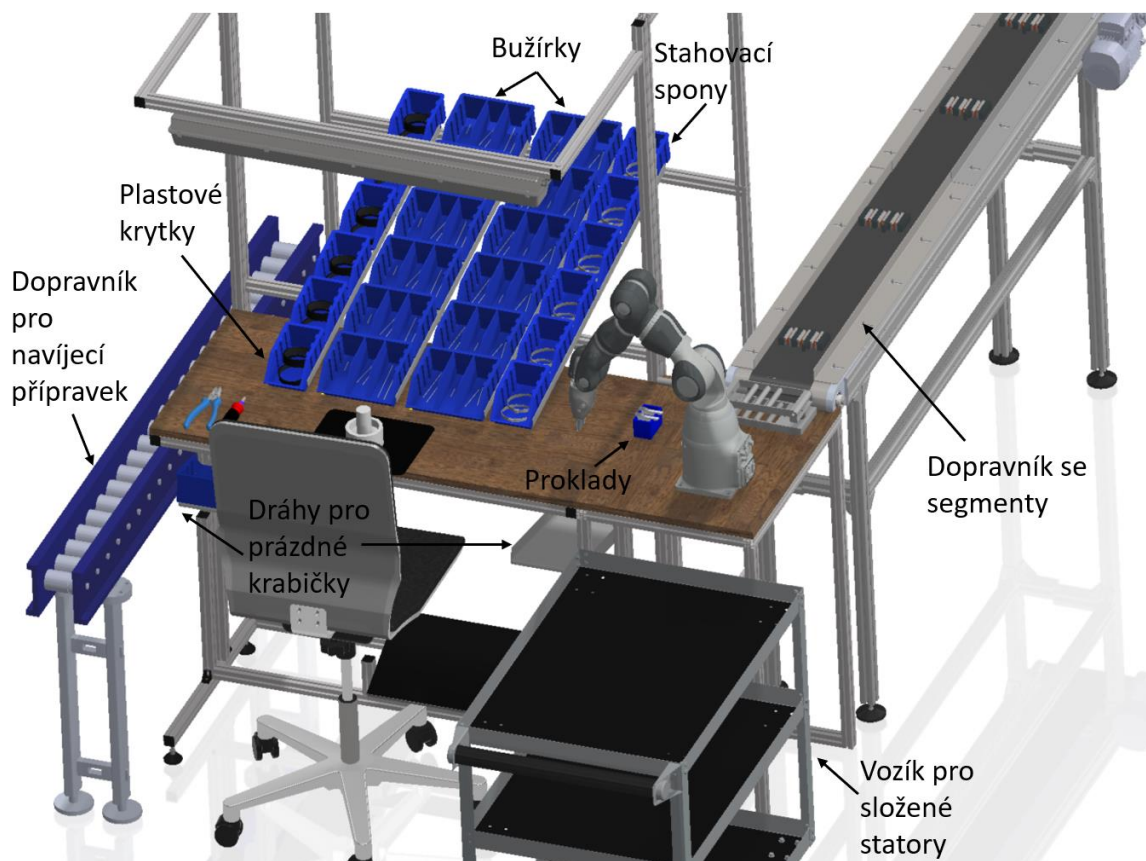
Policový vozík zde slouží pro odkládání hotových kusů a válečkový dopravník pro návrat navíjecích přípravků k předchozí operaci.

Spádové dráhy v tomto řešení nespádají až k pracovníkovi, ale jsou ukončeny na hraně stolu, odkud si je musí pracovník vyjmout a přemístit je na sklopené podložky. Toto řešení umožní z hlediska ergonomie přívětivější rozmístění krabiček. Problém však může nastat u sklopených podložek, na kterých jsou následně krabičky umístěny. Jelikož nejsou pevně spjaté se stolem, je zde možnost, že si pracovník nebude krabičky rozmisťovat ve správné vzdálenosti.



Obr. 38: Původní podoba třetí varianty

Problém s řešením na Obr. 38 však nastal v případě změny výšky stolu. Kvůli kolejnici nebylo možné snížit nebo zvýšit pouze výškově stavitelný stůl, ale výšku by musel změnit i stůl pod robotem a současně i pásový dopravník. Toto řešení je zbytečně finančně i technicky náročné, a proto jsem se přiklonila k variantě na Obr. 39, u které je možné změnit výšku pouze výškově stavitelnému stolu a tím pádem je toto řešení výhodnější.



Obr. 39: Třetí varianta pracoviště

Drobné úpravy nastaly i v případě spádových drah, které jsou nyní protažené až k pracovníkovi, umožní tedy plynulejší průběh a zajistí správnou vzdálenost krabiček od pracovníka a pracovníkovi ubude nutnost krabičky vyjmát ze spádových drah a správně je na stole aranžovat.

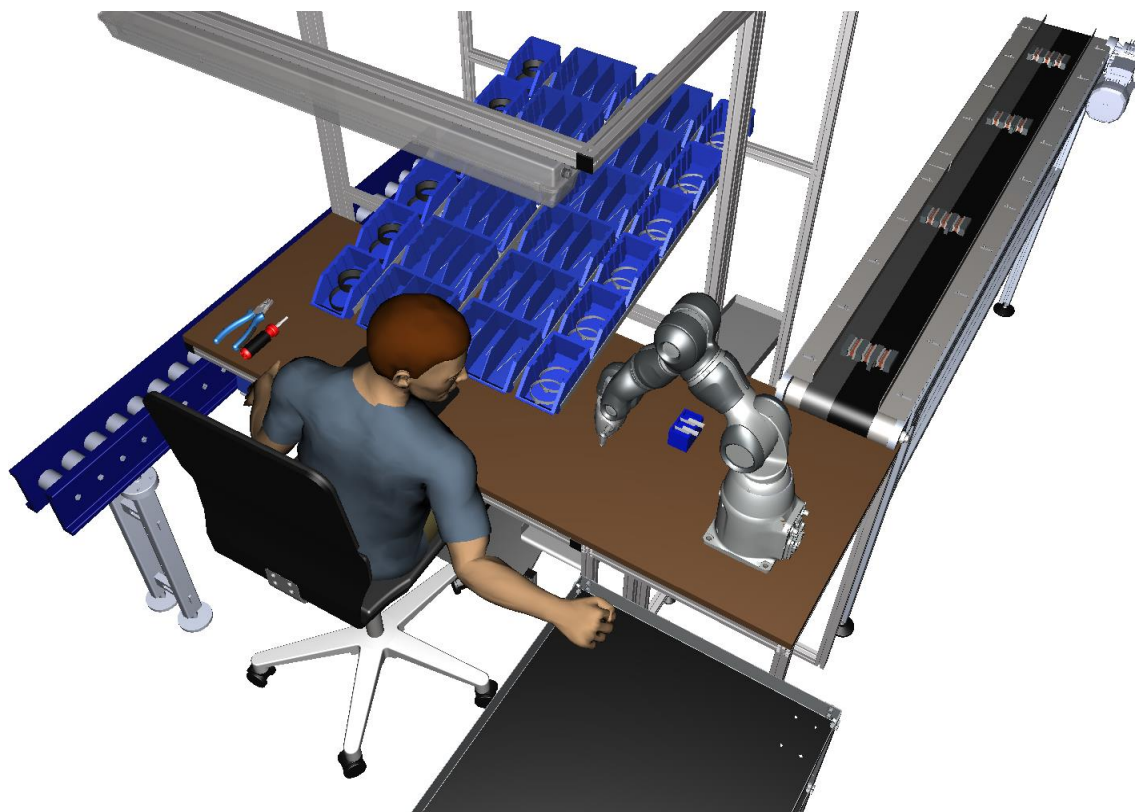
Dále byla odstraněna kolejnice. Místo tohoto způsobu přepravy segmentu byla navržena úprava navíjecího přípravku a prstů koncového efektoru robotu tak, aby byl robot schopný se segmenty manipulovat bez kolejnice. Toto řešení bude více přiblíženo v kapitole 6.5.5.

6.4.3.1 Zhodnocení třetí varianty

Jelikož se v této variantě segmenty dopravují k robotu po pásovém dopravníku, u pracovníka jsou nainstalovány spádové dráhy s dostatkem krabiček a pro navíjecí přípravek je zde použit válečkový dopravník, tak zde plynulost montáže nebude ohrožena. Pracovníkovi tak odpadají povinnosti spojené s doplňováním a vyprazdňováním jednotlivých dílů a stejně tak činnost robotu nemusí být přerušena z důvodu nedostatku segmentů. Tato plynulost je však na úkor ceny pracoviště, která bude ze všech daných variant nejvyšší. Pokud by nebyla tato varianta pro firmu příliš finančně náročná, bylo by vhodné nahradit policový vozík válečkovým dopravníkem.

Stejně jako v předchozích dvou variantách je zde hlavní náplní robotu vkládání prokladů na segmenty a pracovníkovou náplní je zde dokončení montáže.

Provedenou simulací v programu Jack nebyly zjištěny žádné škodlivé pohyby, všechny pohyby v rámci montážního procesu byly metodou OWAS zařazeny do první, a tedy nezávadné kategorie. Kompresní síla na spodní část zad nepřekročila stanovený limit.



Obr. 40: Třetí varianta: Položení hotového statoru na vozík

Jak již bylo řečeno, třetí varianta je nejdražší ze všech uvedených návrhů, podrobné rozepsání cen jednotlivých vybraných zástupců se nachází v Tab. 6.

Oproti první a druhé variantě se v tomto návrhu nachází navíc pásový dopravník, válečkový dopravník a konstrukce spádových drah. Cena válečkového dopravníku se pohybuje okolo 25 000 Kč v závislosti na jeho délce, cena pásového dopravníku okolo 100 000 Kč. Konstrukci spádových drah by bylo možné vytvořit z hliníkových profilů a její cena by se pohybovala okolo 6 000 Kč.

Tab. 6: Cena třetí varianty

Položka	Cena
Vybavení z Tab. 3	742 299 Kč
12x Menší krabičky	420 Kč
12x Větší krabičky	792 Kč
Policový vozík	7 083 Kč
Pásový dopravník	100 000 Kč
Válečkový dopravník	25 000 Kč
Konstrukce spádových drah	6 000 Kč
Integrated Vision	100 000 Kč
Cena varianty celkem	981 594 Kč

6.4.4 Výběr vhodné varianty

Pro výběr vhodné varianty byla použita metoda váženého pořadí. Na základě hodnocení jednotlivých variant v předchozích kapitolách bylo určeno jejich pořadí (Tab. 7) vzhledem k následujícím kritériím: cena, ergonomičnost, přizpůsobitelnost pracoviště pracovníkovi a úroveň automatizace.

Tab. 7: Pořadí jednotlivých variant

Kritérium	První varianta	Druhá varianta	Třetí varianta
Cena	1.	2.	3.
Ergonomičnost	3.	2.	1.



Přizpůsobitelnost pracoviště pracovníkovi	2.	3.	1.
Úroveň automatizace	3.	2.	1.

Na základě určených pořadí jednotlivých variant byla dle [35] variantám pracoviště přiřazena hodnota h podle vztahu

$$h_i^j = m + 1 - p_j^i \quad (1)$$

kde p_j^i je pořadí j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu a kde m je počet variant. Přehled přiřazených hodnot se nachází v Tab. 8.

Tab. 8: Přiřazené hodnoty variant

Kritérium	První varianta	Druhá varianta	Třetí varianta
Cena	3	2	1
Ergonomičnost	1	2	3
Přizpůsobitelnost pracoviště pracovníkovi	2	1	3
Úroveň automatizace	1	2	3

Následně byla přiřazena váha jednotlivým kritériím podle jejich důležitosti, součet vah všech kritérií se rovná jedné. Hodnoty variant byly přepočítány vzhledem k vahám kritérií a následně se jednotlivé hodnoty variant sečetly, přičemž platí, že čím větší součet, tím je daná varianta lepší.

Tab. 9: Určení pořadí variant

Kritérium	Váha kritéria	První varianta	Druhá varianta	Třetí varianta
Cena	0,25	0,75	0,5	0,25
Ergonomičnost	0,35	0,35	0,7	1,05
Přizpůsobitelnost pracoviště pracovníkovi	0,3	0,6	0,3	0,9
Úroveň automatizace	0,1	0,1	0,2	0,3
Celkem	1	1,8	1,7	2,5
Pořadí		2.	3.	1.

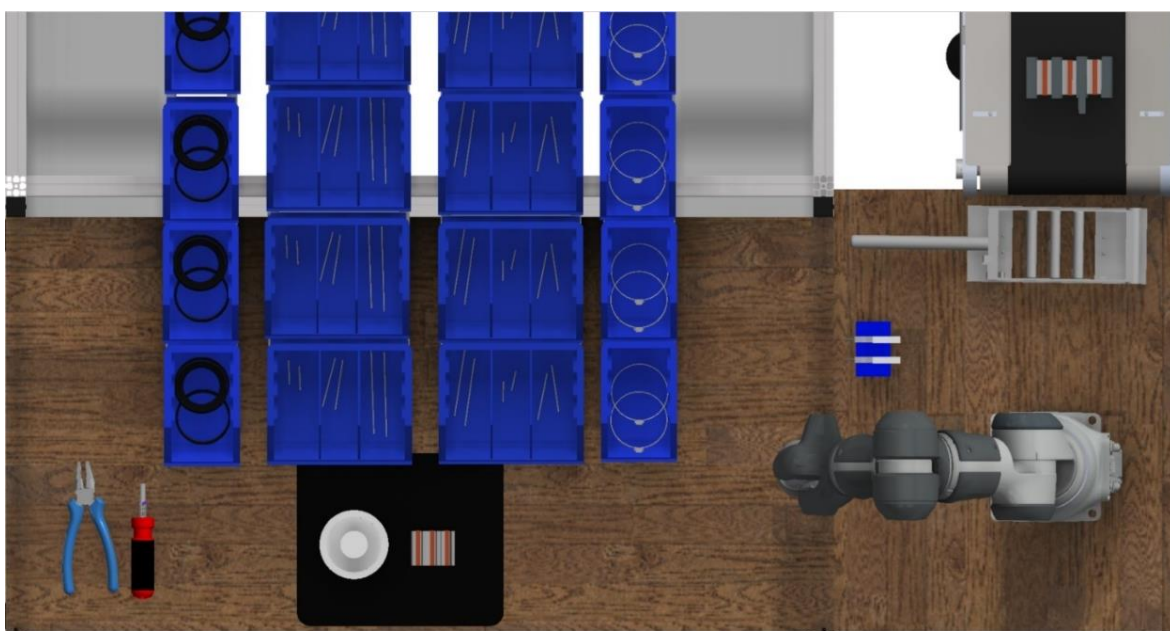
Na základě metody váženého pořadí byla k podrobnému rozpracování vybrána třetí varianta.

6.5 Rozpracování vybrané varianty

K podrobnému rozpracování byla vybrána třetí varianta. V rámci tohoto rozpracování je nutné detailně popsat činnost pracovníka a činnost robotu, představit všechny použité přípravky, popsat úpravu koncového efektoru a popsat senzorové a bezpečnostní řešení nacházející se na pracovišti.

6.5.1 Použité přípravky

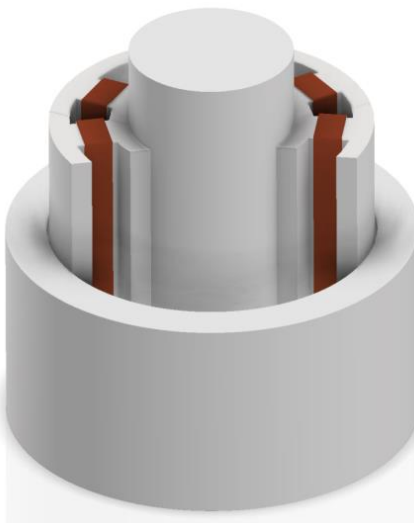
Celkem jsou na pracovišti použity tři přípravky. Jeden přípravek je používán výhradně pracovníkem a zbylé dva přípravky jsou používány výhradně robotem, z toho také vyplývá jejich následné umístění na pracovišti (Obr. 41).



Obr. 41: Rozmístění přípravků

Přípravek na oporu tvaru statoru

Tento přípravek byl již v předešlé kapitole představen. Slouží pracovníkovi jako opora tvaru statoru při skládání jednotlivých segmentů.

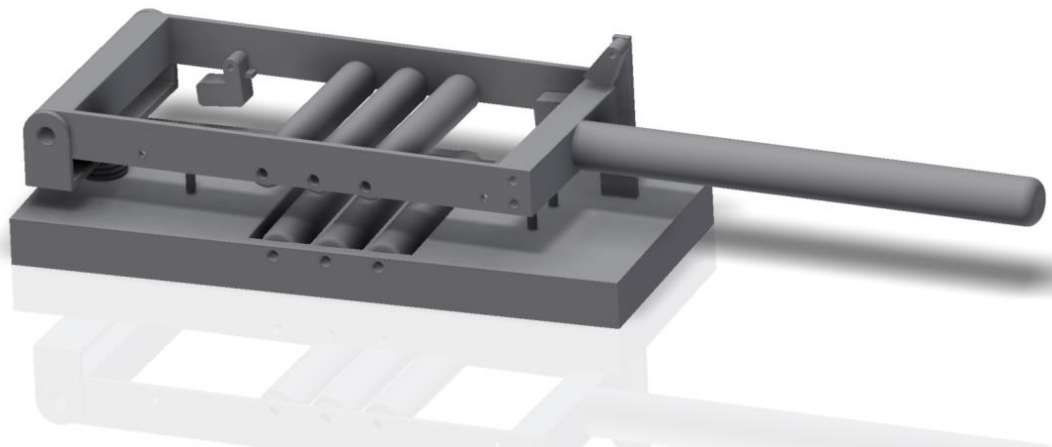


Obr. 42: Přípravek pro pracovníka

Rozvolňovací přípravek

Rozvolňovací přípravek je využíván výhradně robotem a z toho také plyne jeho umístění na stole pro robot. Funkce tohoto přípravku nebude podrobně rozepsána, jelikož se jedná o know-how společnosti SOPO.

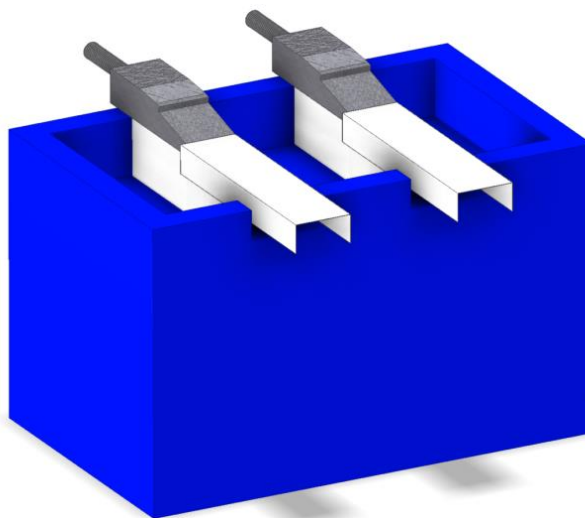
Robot v zavřené poloze přípravku proklady nasune na segmenty a po otevření přípravku může dále se segmenty manipulovat.



Obr. 43: Rozvolňovací přípravek

Podavač prokladů

Posledním přípravkem je podavač prokladů, jehož zjednodušený model se nachází na Obr. 44. Podavač je využívám výhradně robotem a stejně jako rozvolňovací přípravek je umístěn na stole pro robot. Uvnitř podavače se nachází zdvihací pružina, která zajišťuje plynulý přísun prokladů do horní části podavače. V horní části podavače se nachází klín, který vysouvá proklad tak, aby jej mohl robot uchopit.



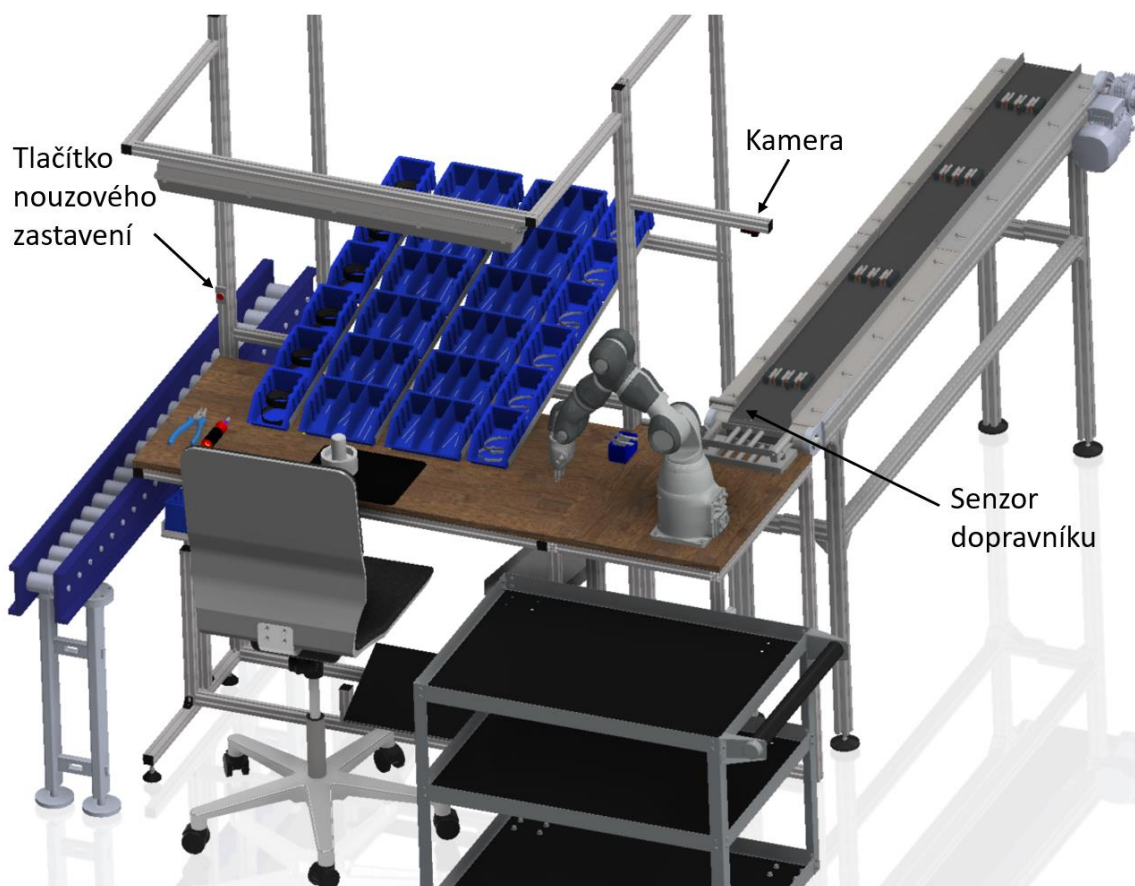
Obr. 44: Podavač prokladů

6.5.2 Bezpečnostní a senzorové řešení

Jelikož se jedná o kolaborativní robot, který je vybaven senzory pro detekci kolize a bezpečným designem, není nutné pracoviště vybavovat dalšími bezpečnostními prvky nebo ochrannými zónami. Bezpečnostní prvky kolaborativních robotů byly podrobně popsány v kapitole 4.4.2.3.

I přes tuto skutečnost je vhodné pracoviště vybavit tlačítkem nouzového zastavení, které stisknutím vypne veškeré elektrické zařízení, které se na tomto pracovišti nacházejí. Jedná se o robot, pásový dopravník a světlo. Tlačítko nouzového zastavení je umístěno na konstrukci stolu, a to v dostatečné vzdálenosti, aby se předešlo nechtěnému stisknutí, ale zároveň aby jeho vzdálenost od pracovníka nebyla příliš velká pro případ nutnosti stisknutí.

Bezpečnostní a senzorové řešení daného pracoviště je vyobrazeno na Obr. 45.



Obr. 45: Bezpečnostní a senzorové řešení pracoviště

Na pracovišti se dále nachází senzor na pásovém dopravníku. Konkrétně se jedná o jednopaprskovou optickou závoru, která funguje na principu vysílání světelného paprsku a přijímání tohoto paprsku na straně druhé. Pokud dopravník dopraví segment na svůj konec, dojde k přerušení světelného paprsku tímto segmentem a tím i k zastavení dopravníku. Poté co robot segment vyjme, dojde k obnovení činnosti pásového dopravníku. Optické závory by bylo možné využít i pro signalizaci nedostatku krabiček.

Pracoviště je dále vybaveno kamerovým systémem od společnosti ABB s názvem Integrated Vision.

Díky této kameře je robot schopný lokalizovat segment na pásovém dopravníku a díky tomu jej i spolehlivě uchopit. Jelikož se segmenty nachází na dopravníku v jedné rovině, není nutné zde použít 3D systém. Společnost ABB poskytuje kamery i zabudované v koncovém efektoru robotu, nebo připevněné přímo na robotu.



Obr. 46: Kamera Integrated Vision [36]

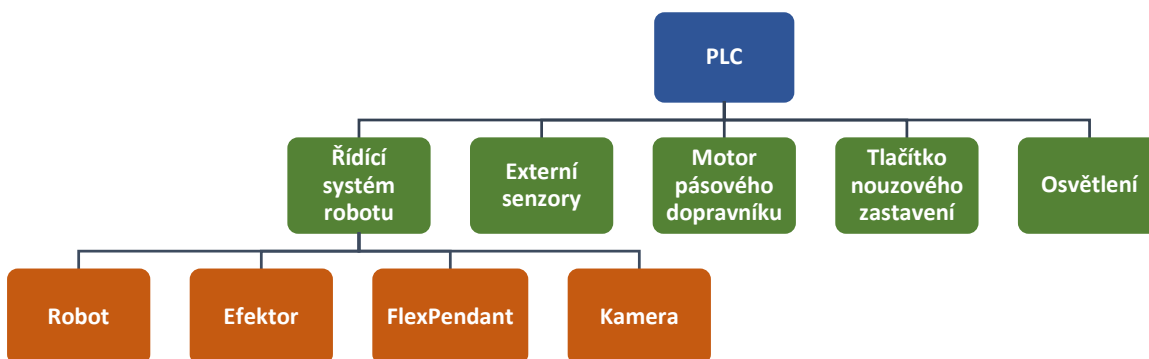
V této verzi pracoviště je však kamera umístěna na konstrukci stolu, a to hned z několika důvodů. Toto umístění umožňuje poskytnout kratší dobu cyklu, jelikož robot již nemusí zastavit svou činnost pro získání obrazu z kamery. Dále nastavení a kalibrace je jednodušší, jelikož kamera pracuje s pevným bodem, ze kterého se obraz získává.

Zvolená kamera má rozlišení 1280x1024, disponuje ochranou IP67 v případě připojených kabelů a objektivu a může pracovat v teplotách od 0 °C do 45° C.

6.5.3 Řízení pracoviště

První možností je propojení všech zařízení na pracovišti díky řízení pracoviště pomocí programovatelného logického automatu (dále jen PLC), pomocí kterého bude také možné kontrolovat bezpečnost daného pracoviště.

PLC by v tomto případě propojovalo řídicí systém robotu, senzory, pásový dopravník, bezpečnostní prvek pracoviště (tlačítko nouzového zastavení) a osvětlení daného pracoviště připevněné na stolu. Pro lepší přehlednost je schéma řízení vyobrazeno na Obr. 47.



Obr. 47: První možnost schéma řízení

Na rozdíl od svého robotického předchůdce je kolaborativní robot IRB 14050 vybaven externím řídicím systémem, díky kterému je robot lehký a flexibilní vzhledem k připevňovací ploše.

Řada řídicích systémů robotu se nazývá OmniCore a nabízí rozsáhlé možnosti ovládní pohybu a řešení pro továrny připojené k internetu. Díky schopnosti automatické optimalizace trajektorie je řídicí systém schopný zkrátit čas jednotlivých cyklů při současném zachování přesnosti pohybu. Pohyb robota je bezpečný a předvídatelný a není potřeba dodatečných zásahů od programátora. Řídicí systém se vyrábí v několika variantách vyobrazených na Obr. 48. [37]



Obr. 48: Řídicí systémy řady OmniCore [37]

K programování se využívá programovacího jazyku RAPID, jehož syntaxe je podobná programovacímu jazyku Pascal, a jež obsahuje veškeré podstatné programové instrukce

pro ABB roboty. Komunikace mezi PLC a OmniCore může probíhat pomocí komunikační sběrnice *Profinet*, která pracuje na základech průmyslového Ethernetu.

Řídicí systém používá operační systém RobotWare 7 a pro ovládání systému a programování lze k řídicí jednotce připojit přenosný ovladač s názvem FlexPendant. Tento ovladač je vybaven grafickým více dotykovým barevným displejem, kde je možné kontrolovat stav robotu nebo například robot online programovat. Ovladač je také vybaven joystickem pro přímé ovládání robotu, tlačítka pro ovládání programu a tlačítkem nouzového zastavení. [37]



Obr. 49: Nový ovladač FlexPendant od společnosti ABB [37]

Konstrukce řídicího systému obsahuje postačující vnitřní prostor pro integrování přídatných modulů například pro komunikaci, sledování dopravníku anebo dodatečnou externí osu. Z tohoto důvodu i z důvodu finančních nákladů bude vhodné, když bude pracoviště řízeno řídicím systémem robotu.






6.5.4 Koncový efektor

K manipulaci se segmenty bude robotu na tomto pracovišti sloužit koncový efektor, což je samostatná část robotu umístěná na konci robotického ramene. Konkrétně se bude jednat o efektor od společnosti ABB s názvem *Smart Gripper*.

Společnost ABB poskytuje efektor *Smart Gripper* hned v několika variantách, jejichž popis a náhled je znázorněn v Tab. 10. Mezi prvky nacházející se uvnitř nebo na koncovém efektoru patří servo modul, vakuová savka s integrovaným generátorem a

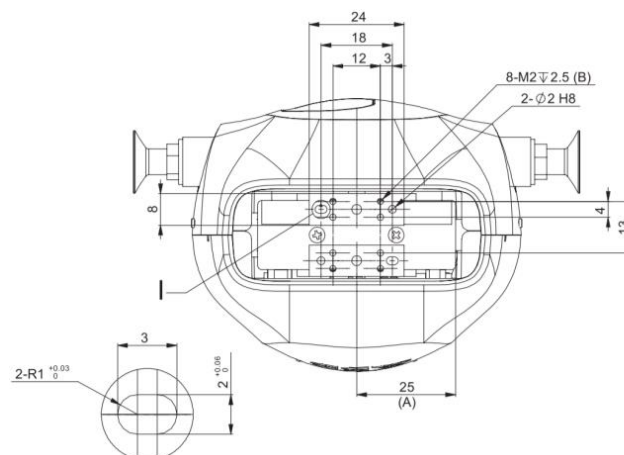
kamera systému Integrated Vision. Tyto prvky jsou mezi sebou na efektoru kombinovány.

Tab. 10: Přehled variant [38]

Přehled variant efektoru Smart Gripper od společnosti ABB					
Popis	Servo	Servo + vakuová savka	Servo + dvě vakuové savky	Servo + kamera	Servo + kamera + vakuová savka
Náhled					

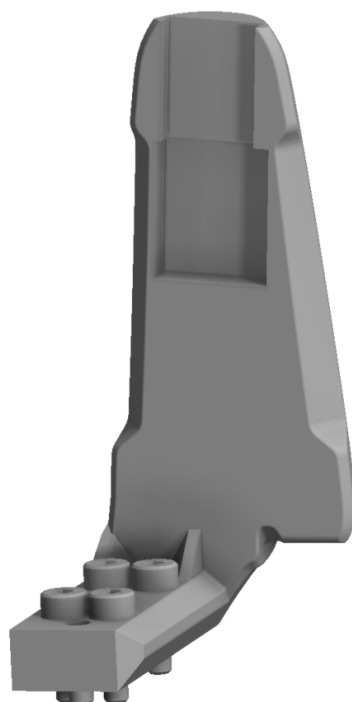
Pro řešení vybrané varianty v této diplomové práci bude použit *Smart Gripper* se servo modulem a kamerou. Prsty efektoru jsou instalovány na základně modulu a díky tomu je možné ovládat a kontrolovat jejich sílu a pohyb. Servo má integrované řízení polohy s opakovatelností $\pm 0,05$ mm a maximální úchopná síla prstů je 20 N. *Smart Gripper* komunikuje s řízením robotu IRB 14050 skrze Ethernet IP Fieldbus.

Není však možné použít vybraný efektor tak, jak je od firmy navrhnut. Je nutné navrhnut úpravu prstů samotného efektoru, aby bylo možné co nejefektivněji se segmenty manipulovat. Při návrhu prstů bylo nutné brát zřetel na rozměry efektoru a původní rozměry samotných prstů. Maximální rozpětí prstů je 50 mm.

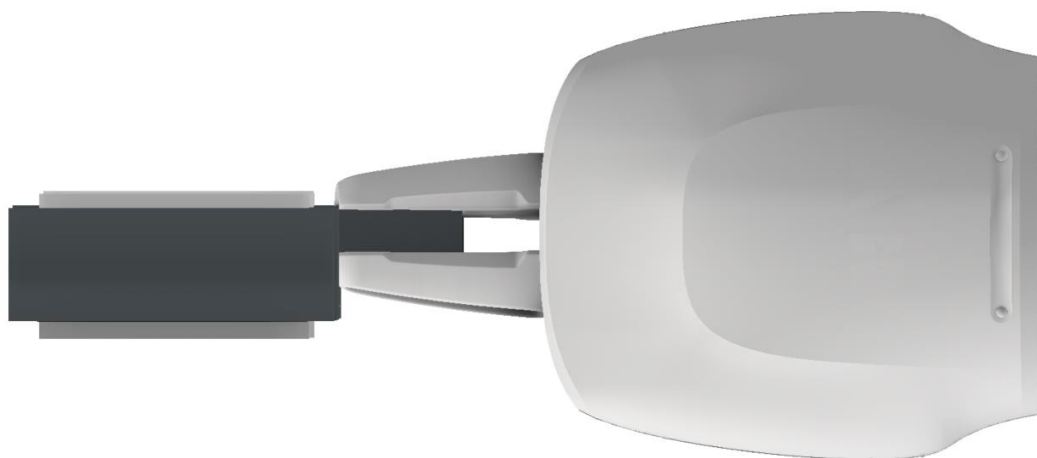


Obr. 50: Rozměry pro připojení prstů [38]

Samotné rozměry a připojovací plocha prstů k efektoru byla zachována. Byl změněn pouze tvar prstů, kdy výduť uvnitř prstů tvoří protikus k navíjecímu přípravku a díky tomu je umožněna snadná manipulace se segmenty v navíjecím přípravku.



Obr. 51: Prst efektoru



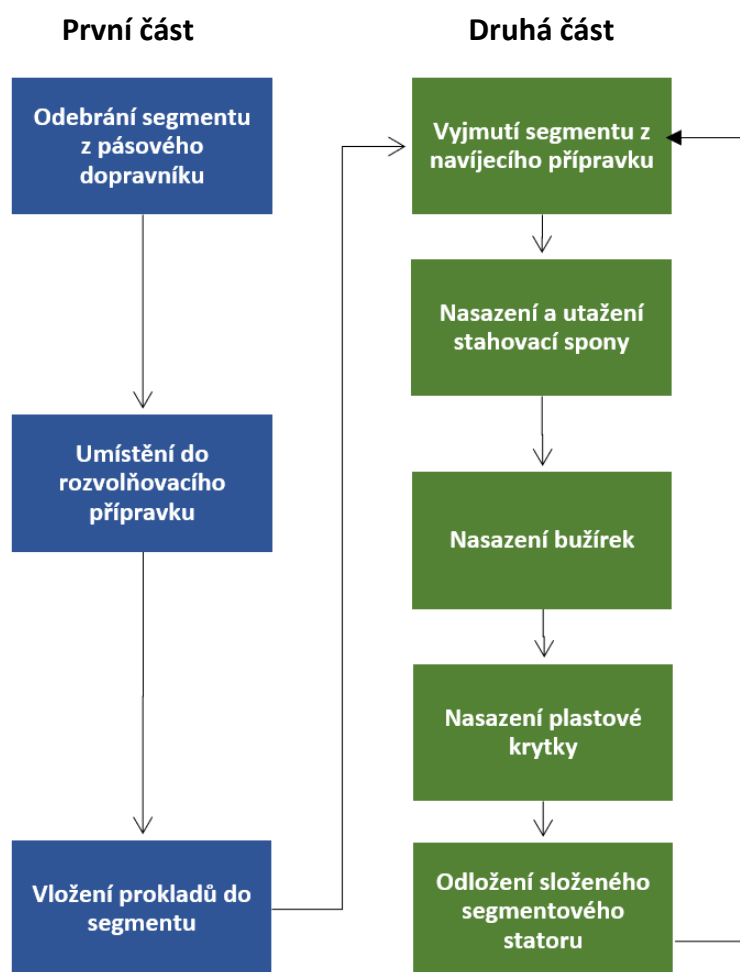
Obr. 52: Detail na úchyt segmentu v navíjecím přípravku

6.5.5 Popis průběhu montážního procesu

Popis montážního procesu by bylo možné rozdělit na dvě části. První část montážního procesu je zahájena a realizována robotem a robot zde zajišťuje jak montážní, tak i manipulační činnost. Ověření dosahu robotu a následné pořízení snímků bylo provedeno v softwaru RobotStudio od společnosti ABB.

Druhou část montážního procesu realizuje pracovník. V této části byla simulace a následné pořízení snímků provedeno v softwaru Tecnomatix Jack od společnosti Siemens.

Pro lepší přehlednost je na Obr. 53 vyobrazen zjednodušený popis průběhu montáže, kdy modré pole značí operace vykonané robotem a zelené pracovníkem. Podrobný přehled jednotlivých operací se nachází v Tab. 11, kde šedá část tabulky znázorňuje operace vykonávané robotem a bílá část vykonávaná pracovníkem.



Obr. 53: Zjednodušený popis průběhu montáže



Tab. 11: Popis operací

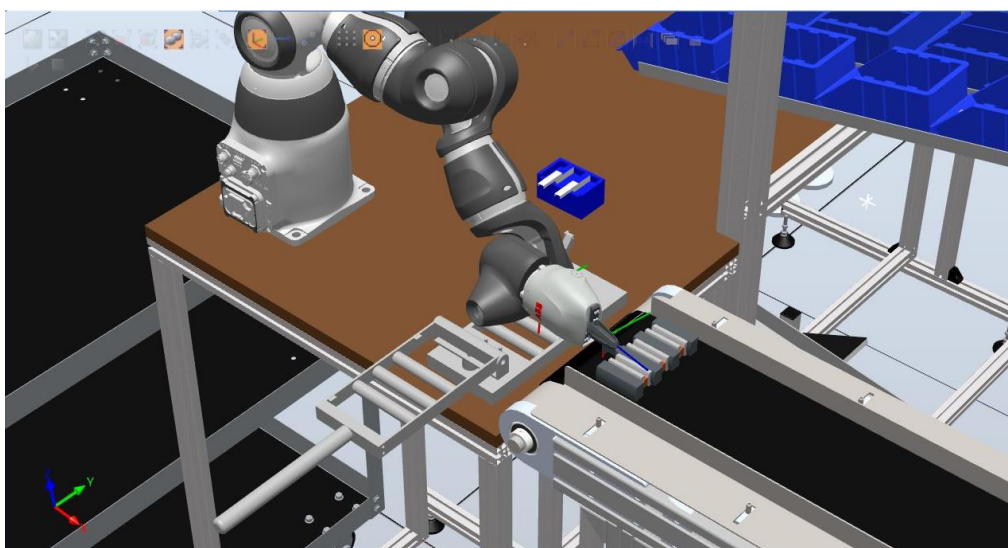
Č. operace	Popis operace
10	Odebrání segmentu z pásového dopravníku
20	Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku
30	Uzavření rozvolňovacího přípravku
40	Odebrání prokladů z podavače
50	Nasunutí prokladů na segment
60	Otevření rozvolňovacího přípravku
70	Umístění segmentu k pracovníkovi
80	Odebrání segmentu z pásového dopravníku
90	Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku
100	Uzavření rozvolňovacího přípravku
110	Odebrání prokladů z podavače
120	Nasunutí prokladů na segment
130	Otevření rozvolňovacího přípravku
140	Umístění segmentu k pracovníkovi
150	Odebrání segmentu z pásového dopravníku
160	Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku
170	Uzavření rozvolňovacího přípravku
180	Odebrání prokladů z podavače
190	Nasunutí prokladů na segment
200	Otevření rozvolňovacího přípravku
210	Umístění segmentu k pracovníkovi
220	Oddělení segmentu od navíjecího přípravku
230	Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník
240	Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru
250	Oddělení segmentu od navíjecího přípravku
260	Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník
270	Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru
280	Oddělení segmentu od navíjecího přípravku
290	Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník
300	Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru
310	Nasazení stahovací spony
320	Utažení stahovací spony
330	Nasazení bužírky 110 mm
340	Nasazení bužírky 74 mm
350	Nasazení bužírky 35 mm
360	Nasazení bužírky 125 mm
370	Nasazení bužírky 70 mm
380	Nasazení bužírky 30 mm
390	Vyjmutí statoru z přípravku

400	Dotažení stahovací spony
410	Nasazení plastové krytky
420	Umístění složeného statoru na policový vozík

První část montážního procesu

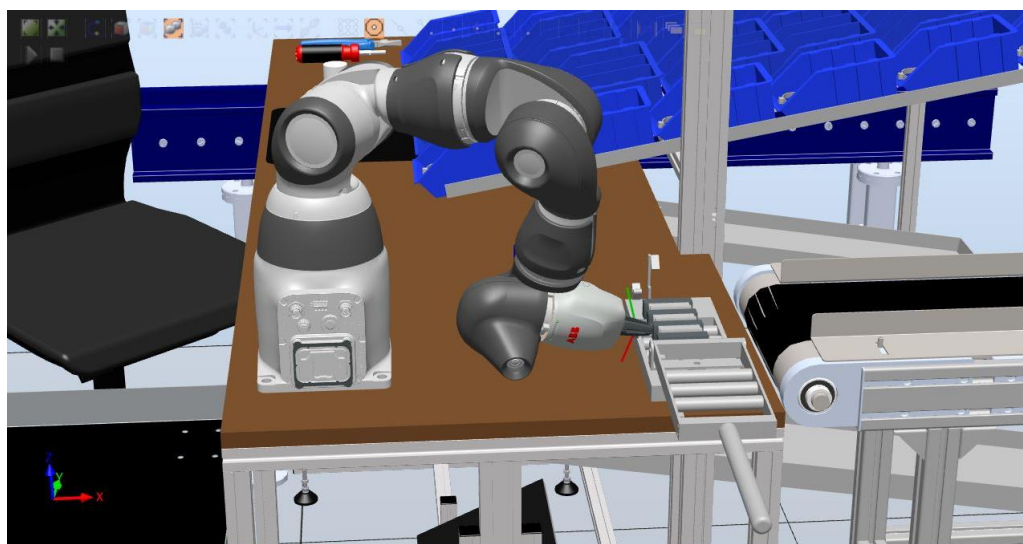
Do softwaru RobotStudio byl nahrán model zvoleného pracoviště ve formátu .sat a následně musela být upravena jeho pozice. Z knihovny ABB byl vybrán kolaborativní robot IRB 14050, který byl umístěn na stůl pod robot a dále mu byl přiřazen Smart Gripper, také z knihovny ABB.

Montáž začíná uchopením segmentu na pásovém dopravníku.



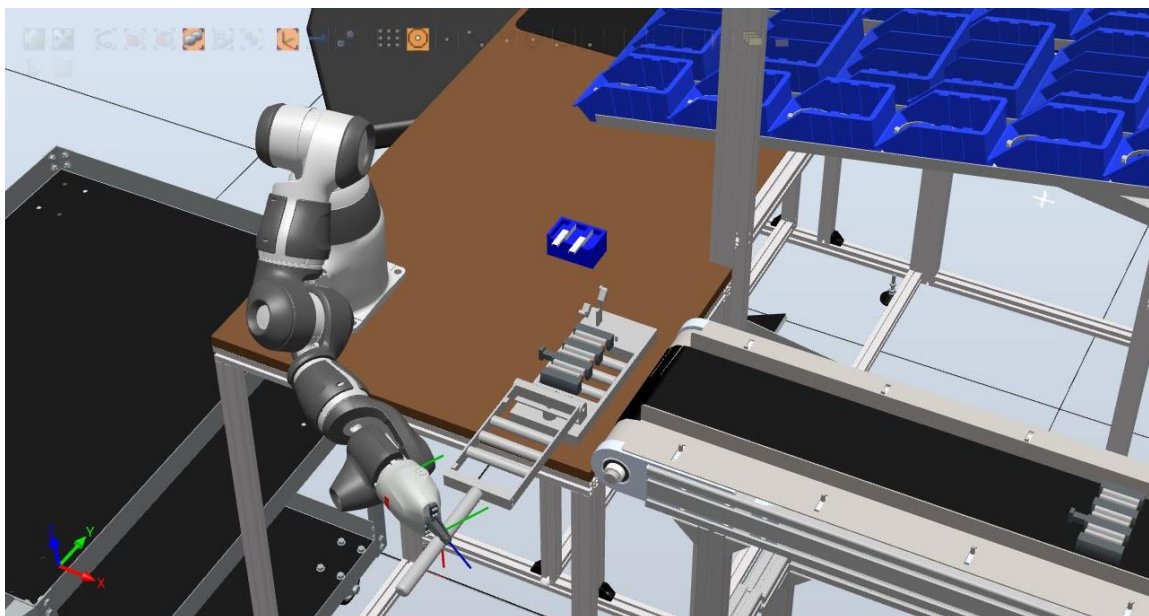
Obr. 54: Operace 10: Odebrání segmentu z pásového dopravníku

Robot následně segment přemístí z dopravníku do rozvolňovacího přípravku, který se nachází v otevřené poloze.



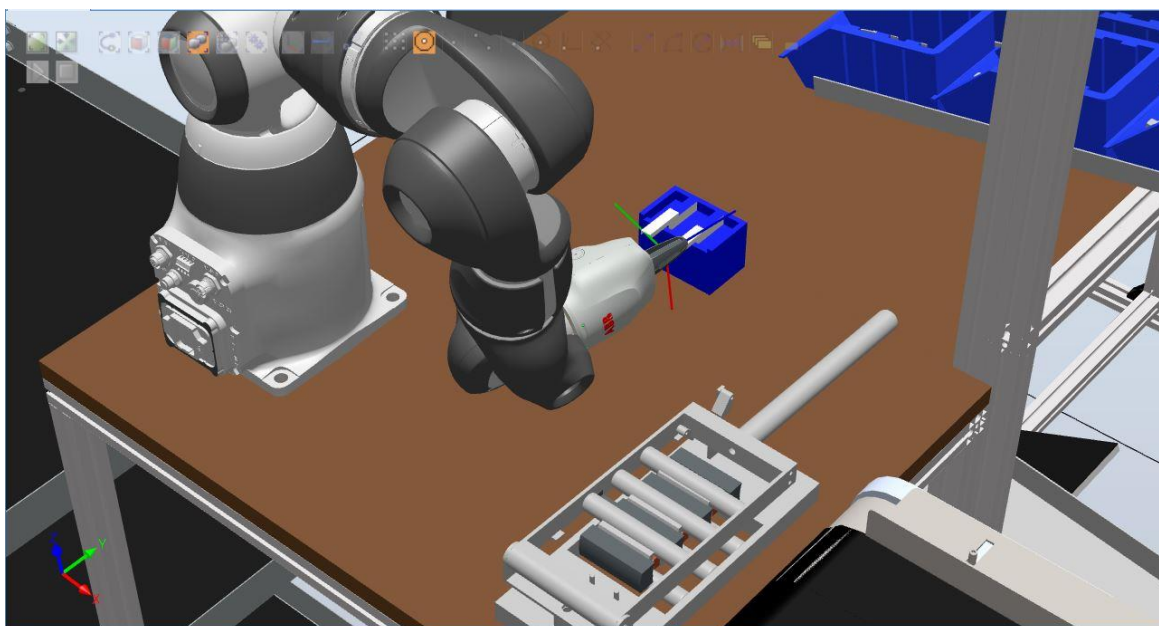
Obr. 55: Operace 20: Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku

Po umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku následně robot uvede přípravek do zavřené polohy.

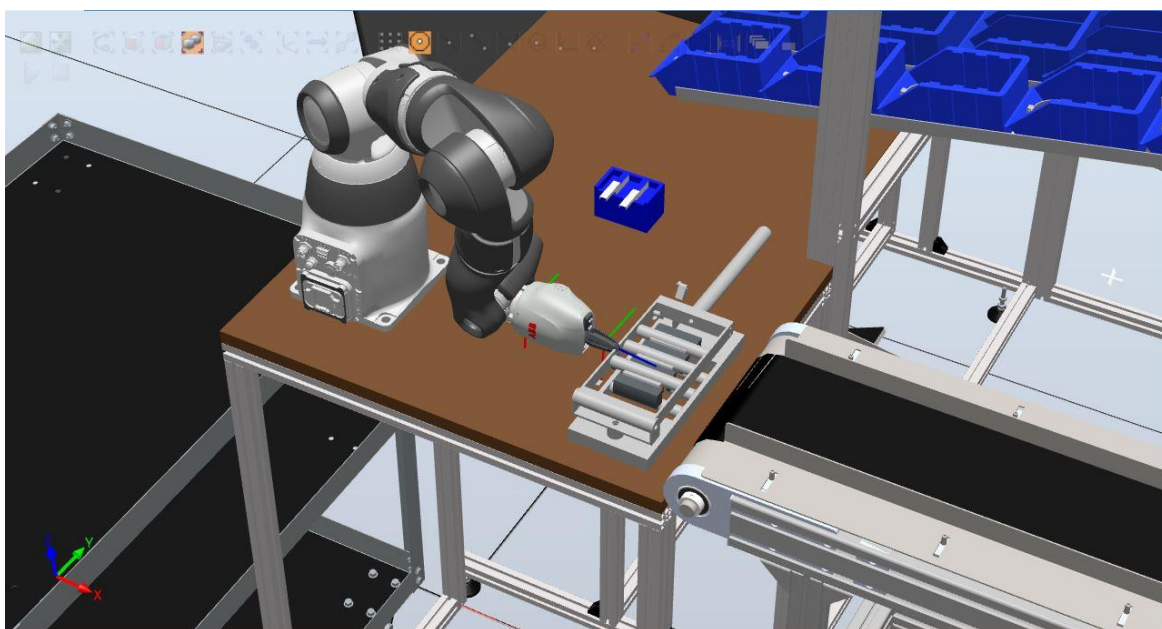


Obr. 56: Operace 30: Uzavření rozvolňovacího přípravku

Po uzavření rozvolňovacího přípravku si robot vyjme proklad z podavače a následně jej nasune na jednotlivé segmenty. Tuto činnost vykoná celkem šestkrát pro jeden kus segmentu v navíjecím přípravku.

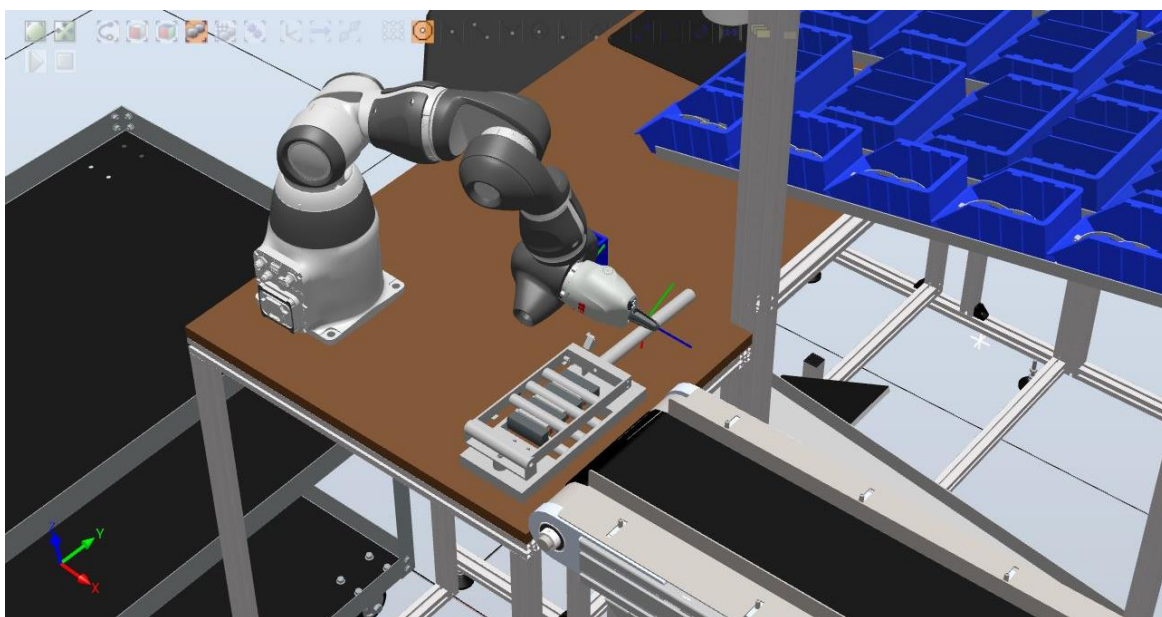


Obr. 57: Operace 40: Odebírání prokladů z podavače



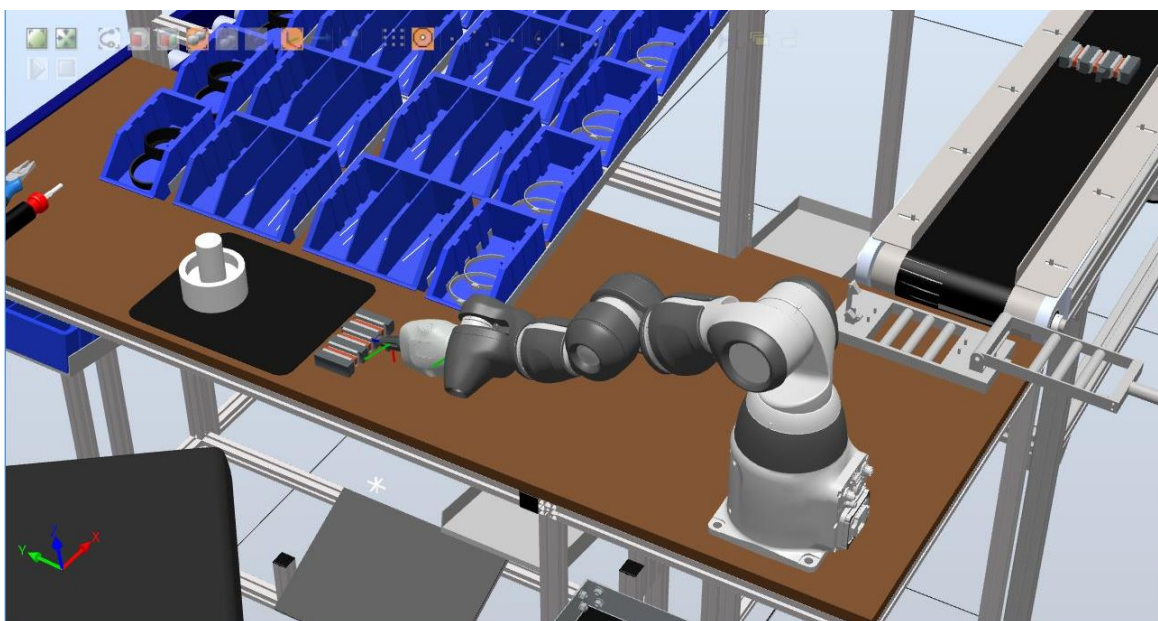
Obr. 58: Operace 50: Nasunutí prokladů

Po nasunutí všech šesti prokladů následně robot otevře rozvolňovací přípravek.



Obr. 59: Operace 60: Otevření rozvolňovacího přípravku

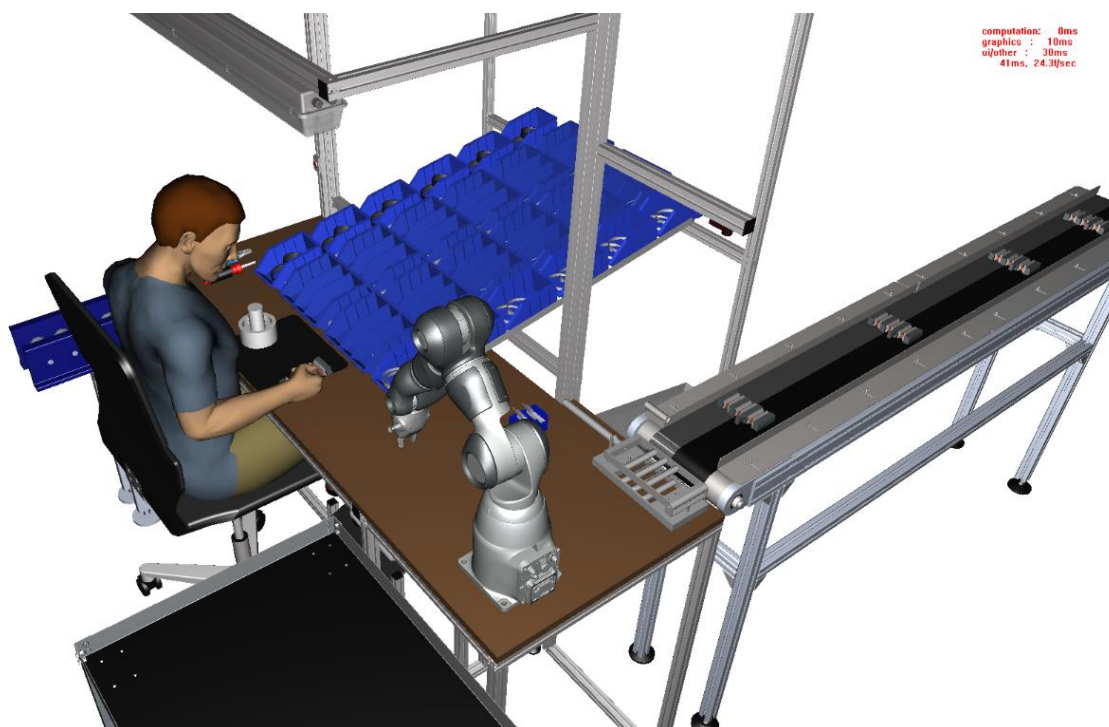
Jako poslední činnost robot vyjme segment z rozvolňovacího přípravku a umístí jej do blízké vzdálenosti k pracovníkovi. V rámci montáže jednoho statoru robot umístí k pracovníkovi celkem tři kusy segmentu v navíjecím přípravku.



Obr. 60: Operace 70: Umístění segmentu k pracovníkovi

Druhá část montážního procesu

Jak již bylo řečeno, druhou část montážního procesu vykonává pracovník. Nejprve si pracovník přebere segment od robotu. Segment se stále nachází uvnitř navíjecího přípravku.



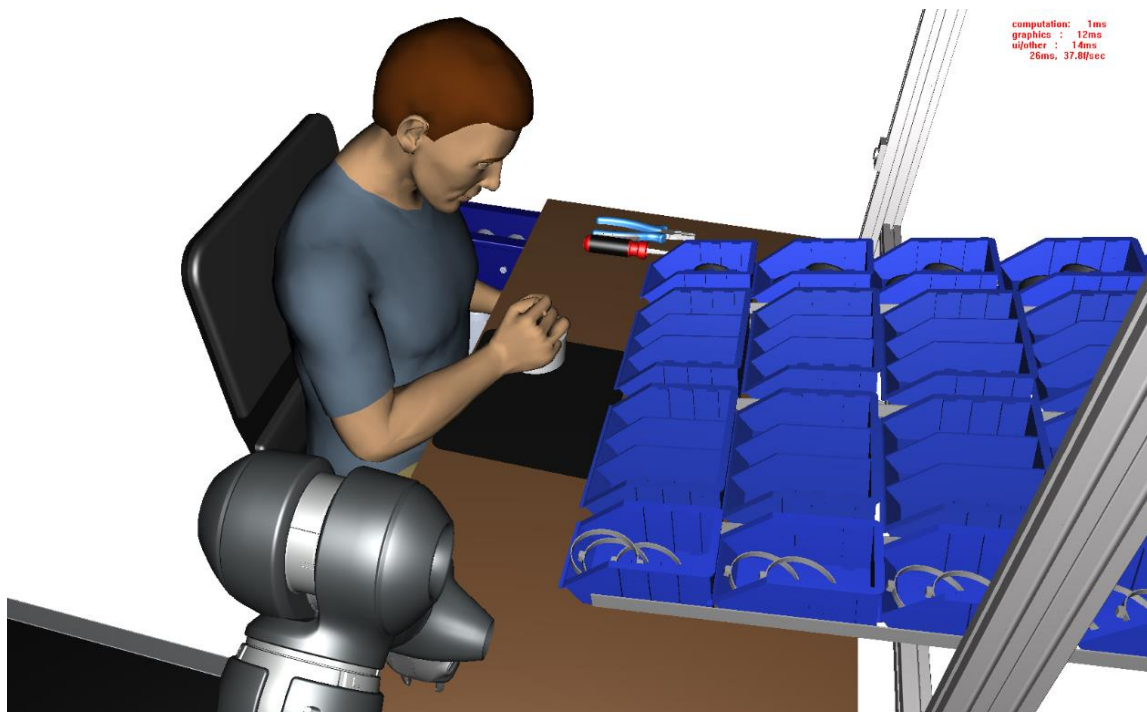
Obr. 61: Operace 220: Oddělení segmentu od navíjecího přípravku

Poté musí pracovník vyjmout segment z tohoto navíjecího přípravku a přípravek umístit na válečkový dopravník, který jej dopraví k pracovišti předchozí operace.



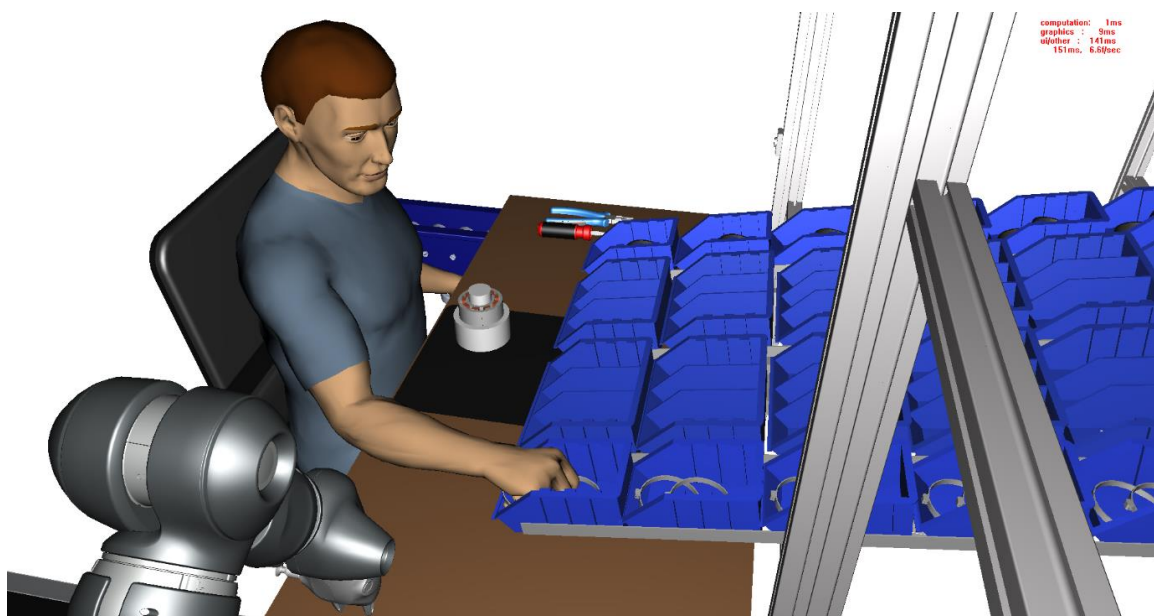
Obr. 62: Operace 230: Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník

Vyjmутý segment následně umístí do přípravku na oporu tvaru statoru.



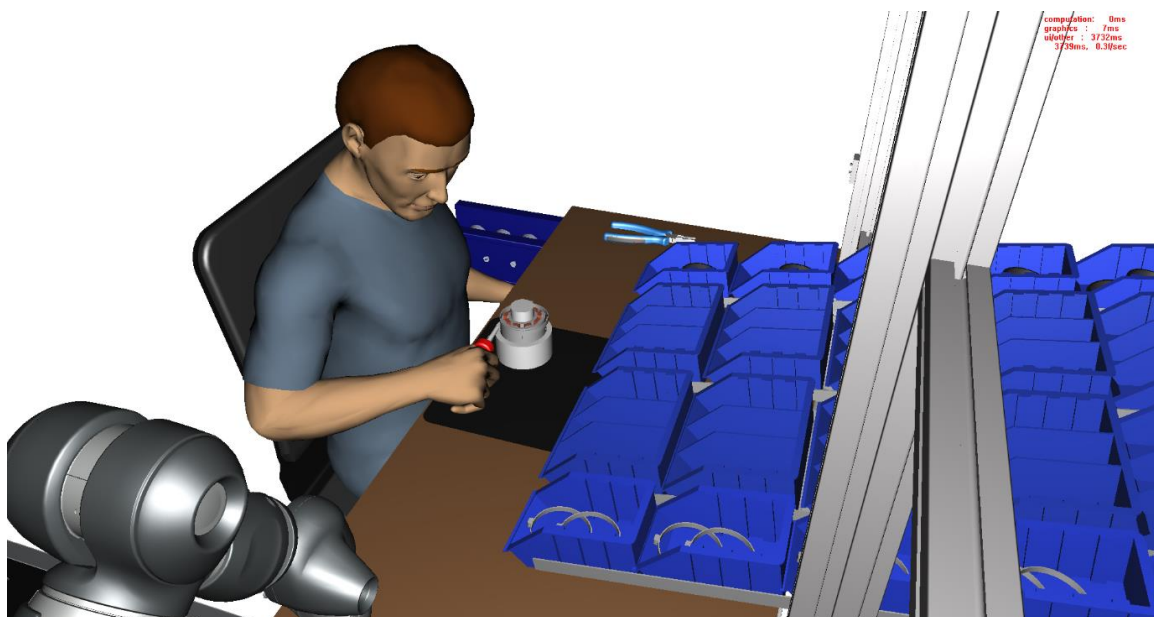
Obr. 63: Operace 240: Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru

Tyto kroky pracovník zopakuje celkově třikrát, jelikož se stator skládá ze tří těchto kusů segmentů. Poté co má pracovník všechny kusy segmentů umístěné v přípravku na oporu tvaru, může umístit okolo segmentů stahovací sponu.



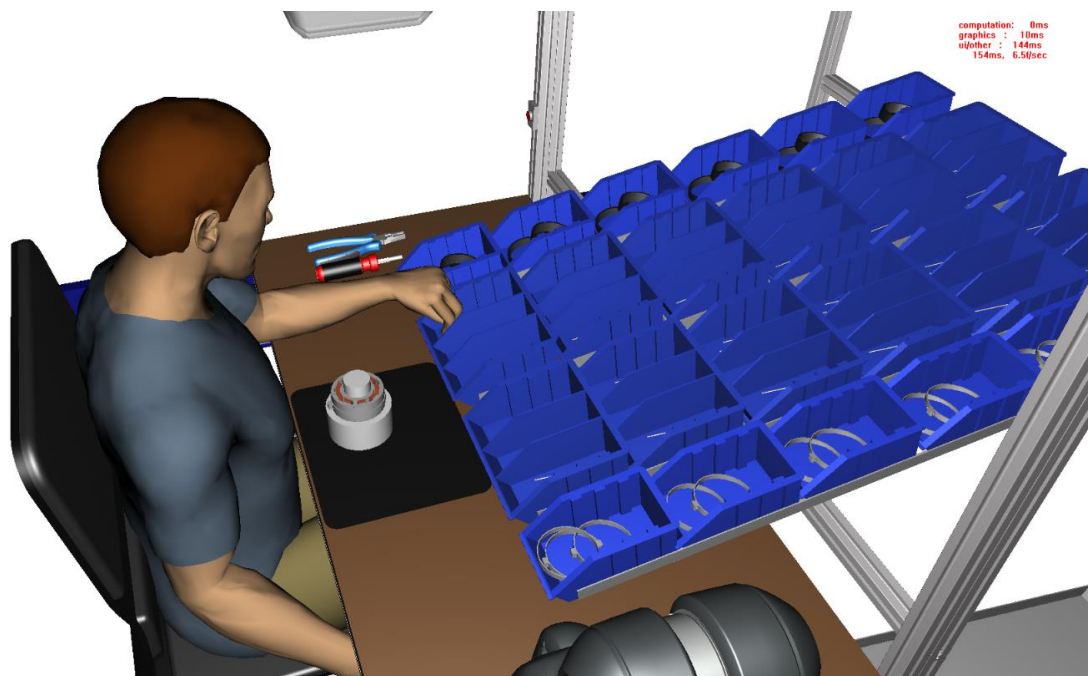
Obr. 64: Operace 310: Nasazení stahovací spony

Poté co nasadí stahovací sponu, sponu utáhne pomocí šroubováku. Spona se neutahuje nadoraz, jelikož je nutné ještě vyjmout přípravek pro oporu tvaru.



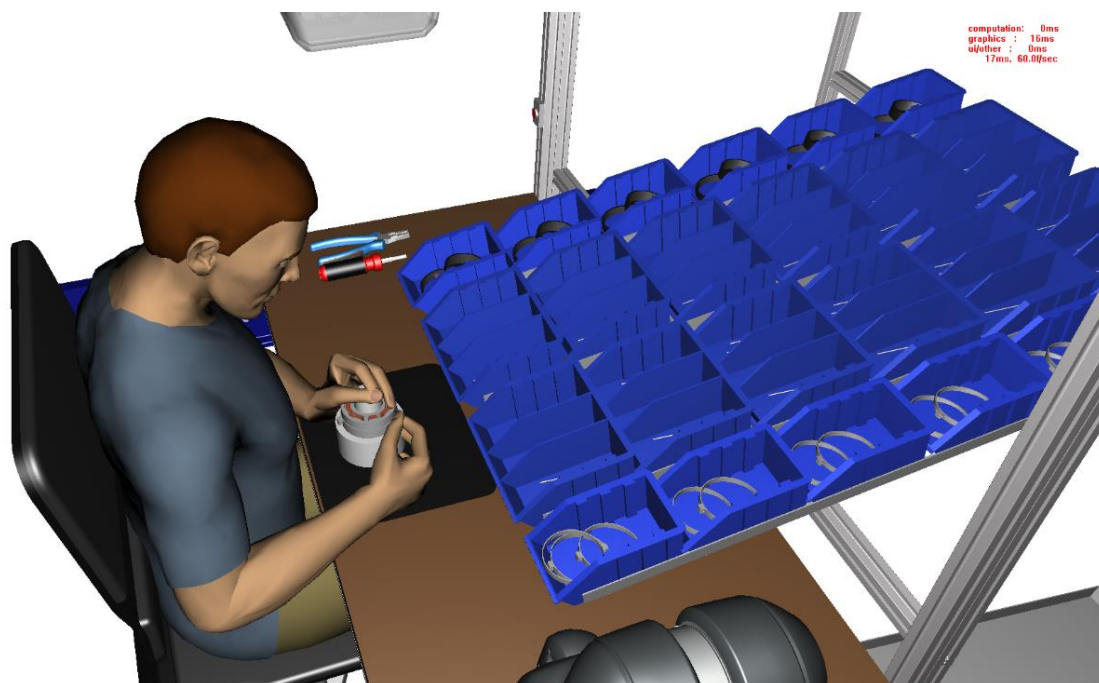
Obr. 65: Operace 320: Utažení stahovací spony

Po utažení spony může pracovník přejít k navlékání bužírek na jednotlivé měděné dráty, které vyčnívají nad segmentovým statorem. Celkově pracovník navléká šest bužírek různých délek v předem daném pořadí. Model drátů a následné navlékání bužírek se v modelu nenachází.



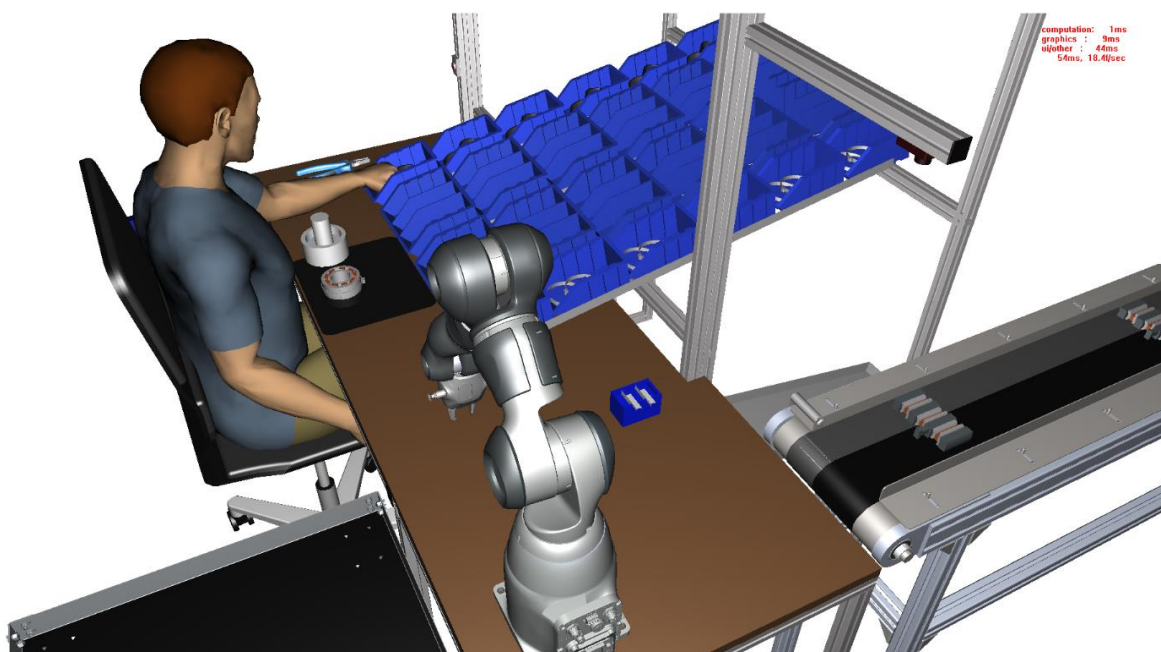
Obr. 66: Operace 330: Nasazení bužírky

Po navlečení všech bužírek na jednotlivé dráty pracovník vyjme stator z přípravku pro oporu tvaru. Po vyjmutí následně dotáhne stahovací sponu nadoraz.



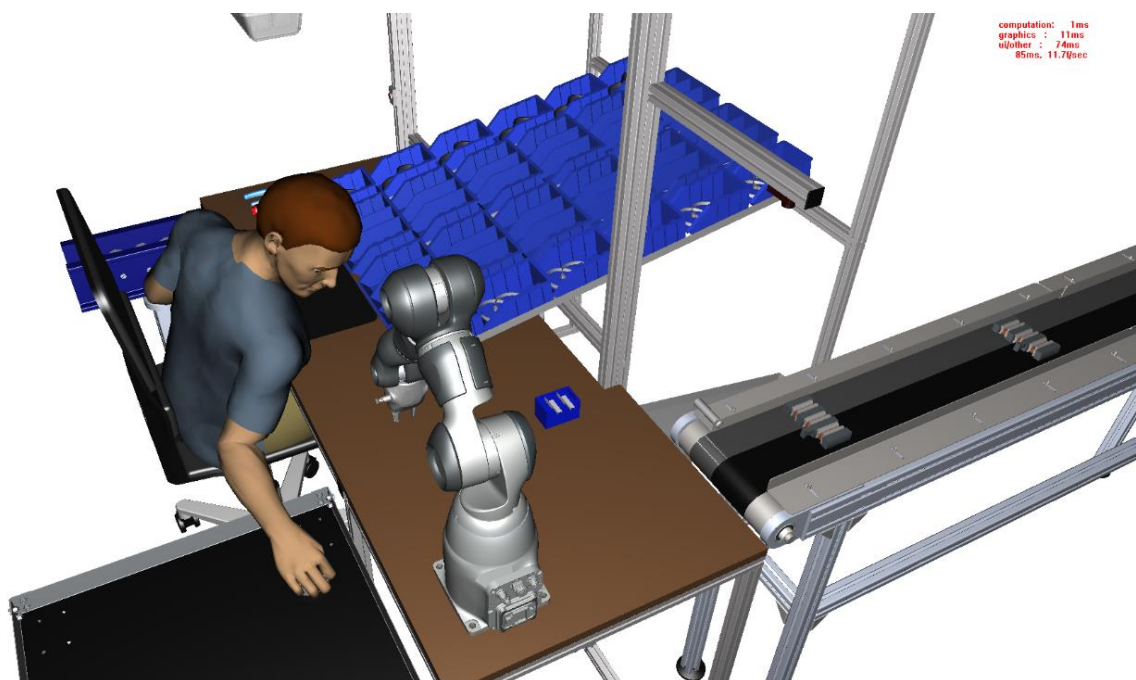
Obr. 67: Operace 390: Vyjmutí statoru z přípravku

Posledním krokem ve skládání je nasazení plastové krytky na spodní část statoru.



Obr. 68: Operace 410: Nasazení plastové krytky

Na závěr musí pracovník umístit již složený segmentový stator na policový vozík, který se od něj nachází na pravé straně.

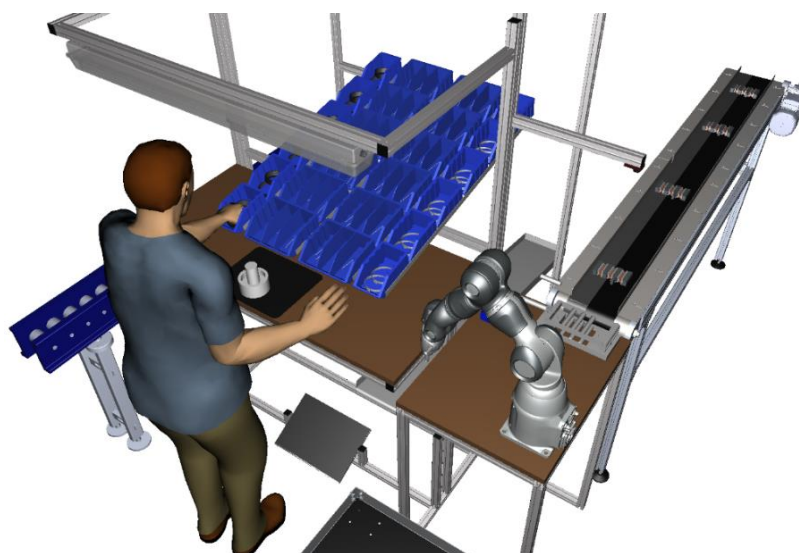


Obr. 69: Operace 420: Umístění složeného statoru na policový vozík

6.5.6 Ověření dosahu na pracovišti

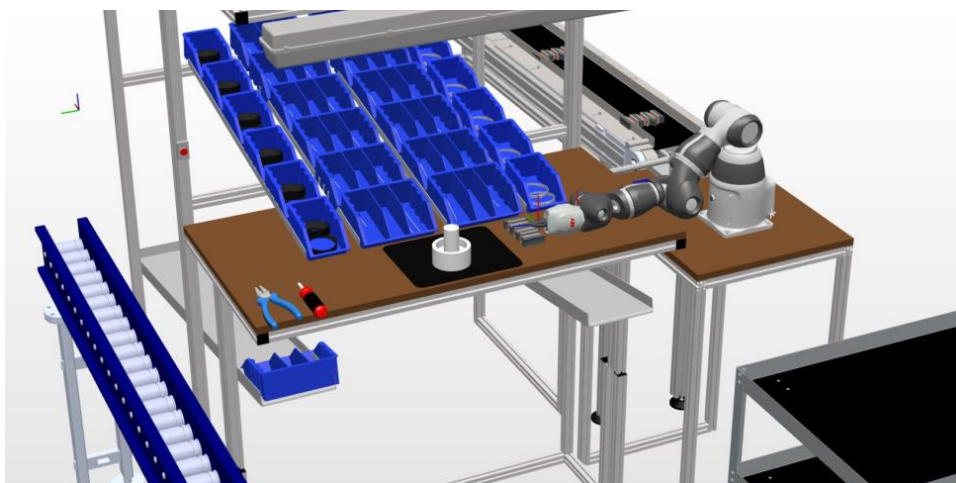
Jak již bylo v předchozích kapitolách řečeno, stůl a židle jsou výškově nastavitelné. Je to jednak z důvodu odlišných rozměrů mezi pracovníky, ale také pro možnost změny pracovní pozice do pozice vstoje.

Nejprve byl ověřen dosah robotu i pracovníka pro nejvyšší pozici stolu. Při této nejvyšší pozici pracovník pracuje v poloze vstoje (Obr. 70), metodou OWAS byla tato poloha zařazena do první kategorie.



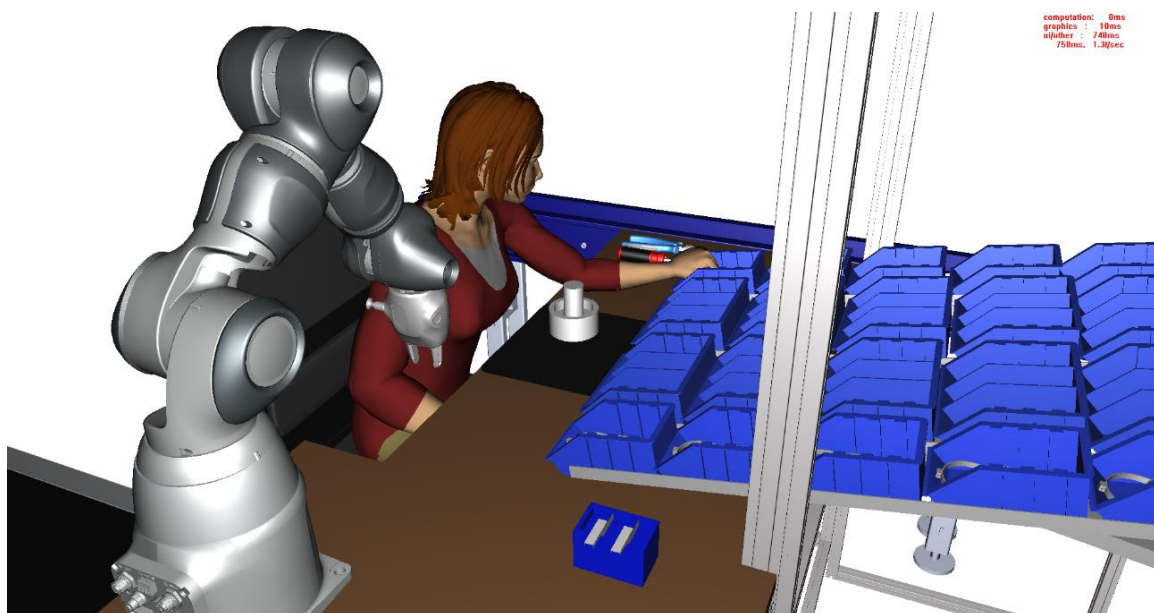
Obr. 70: Vybraná varianta: Pracovní poloha vstoje

Na Obr. 71 se lze přesvědčit, že i při nejvyšší pozici stolu je robot stále schopný podat segmenty pracovníkovi v dobré vzdálenosti.



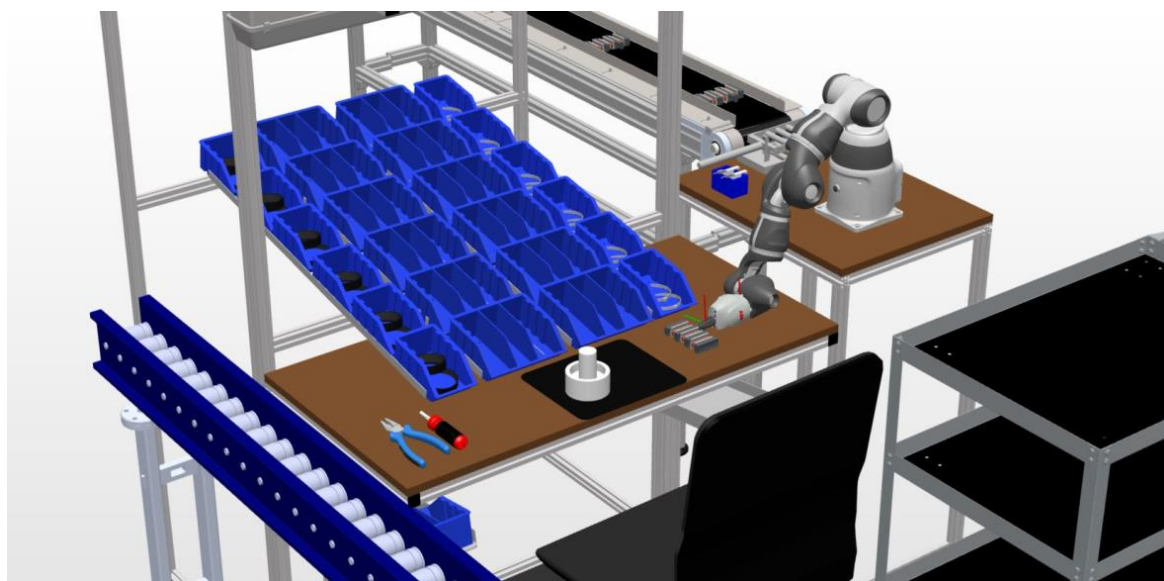
Obr. 71: Vybraná varianta: Nejvyšší pozice stolu

Obdobným způsobem byla ověřena dosažitelnost u pracovníka a robotu v nejnižší pozici stolu. Pracovní polohy pracovníka ženského pohlaví na Obr. 72 byly opět zařazeny OWAS metodou do první kategorie.



Obr. 72: Vybraná varianta: Nejnižší pozice stolu

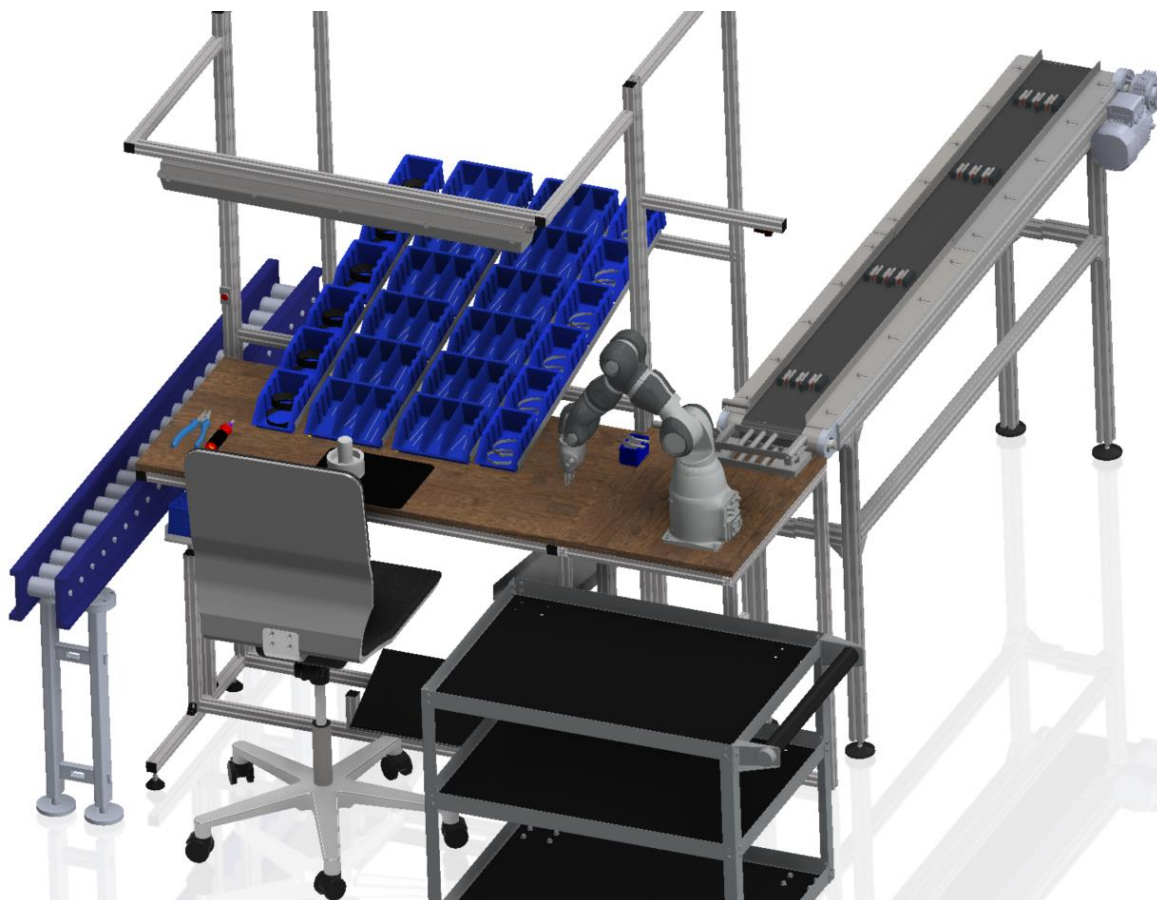
Stejně jako v případě nejvyšší pozice stolu, tak i při nejnižší poloze stolu je robot stále schopný dodat segment k pracovníkovi.



Obr. 73: Vybraná varianta: Nejnižší pozice stolu

6.6 Zhodnocení vybrané varianty

Na následujících stránkách dojde k zhodnocení vybrané varianty (Obr. 74) z ergonomického, technického a ekonomického hlediska.



Obr. 74: Vybraná varianta

6.6.1 Ergonomické zhodnocení

Z hlediska ergonomie je tato varianta vyhovující. Pracovník je zde vystaven dynamické zátěži, která je méně zatěžující, jelikož při ní dochází ke střídání napětí a uvolňování svalstva.

Jednotlivé díly v krabičkách jsou rozmístěny v takovém pořadí, aby při montáži docházelo k rovnoměrnému zatížení obou horních končetin a předešlo se díky tomu nadměrnému zatížení jedné svalové skupiny. Samotné krabičky se nachází v oblasti B dosahu horních končetin, kde dochází k pohybu obou předloktí, ale není zde nutná změna základní pracovní polohy. Při vyjímání dílů z krabiček může docházet k mírnému



předklonu, nicméně samotná montáž statorového segmentu probíhá v oblasti dosahu A, která je pro vykonávání častých a přesných pohybů, které se při této montáži objevují, vhodná. V této oblasti pracovník využívá pouze pohyb první poloviny rukou a jedná se o oblast s nejsnadnějším dosahem.

Analýzou provedené simulace byly všechny pohyby zařazeny metodou OWAS do první kategorie. Do této kategorie jsou zařazeny normální a přirozené pohyby a pozice, které nejsou zdrojem extrémní fyzické zátěže a není tedy zde nutná úprava činnosti. Pohyb, který by mohl být potenciálně problematický, je pohyb, který pracovník vykonává při odkládání složeného statoru na policový vozík. Policový vozík by mohl být v tomto případě nahrazen stejným válečkovým dopravníkem, který se již ve variantě nachází pro dopravu navíjecího přípravku.

Pracoviště je dále vybaveno podložkou pro dolní končetiny, která zajišťuje, že končetiny budou svírat tupé úhly, pěnovou podložkou pro zmírnění tvrdého povrchu stolu a osvětlením přímo nad pracovištěm. Díky výškově nastavitelnému stolu a židli je možné pracoviště přizpůsobit široké škále pracovníků a je také umožněno změnit pracovní polohu na polohu vstoje.

6.6.2 Technické zhodnocení

Pracoviště je vybaveno spádovými dráhami pro krabíčky s díly i pro prázdné krabíčky a spolu s kombinací pásového a válečkového dopravníku tak zajišťují plynulost celého montážního procesu, jelikož odpadá pracovníkovi povinnost doplňovat jednotlivé díly.

Samotné pracoviště je řízeno pomocí externího řídicího systému robotu. Pracoviště není vybaveno doplňkovými ochrannými bezpečnostními prvky, jako jsou například ochranné zóny nebo fyzické a optické závory, jelikož samotný robot je konstruován pro bezpečnou kolaboraci mezi člověkem a robotem bez využití těchto prvků.

Použitím kolaborativního robotu IRB 14050 se podařilo nahradit činnost pracovníka při monotónní a na přesnost náročné práci.



6.6.3 Ekonomické zhodnocení

V rámci ekonomického zhodnocení bude vypočtena doba návratnosti investice na zřízení vybrané varianty.

Celkový seznam vybavení včetně cen vybraných zástupců se nachází v Tab. 12. V tomto výpočtu nákladů je zanedbán fakt, že některým vybavením již současné pracoviště disponuje a že některé položky by bylo možné použít pro vícero pracovišť.

Tab. 12: Celkové náklady pro pořízení vybrané varianty

Č. p.	Počet	Položka	Cena
1.	1	Robot IRB 14050 včetně příslušenství	700 000 Kč
2.	1	Výškově stavitelný stůl	32 274 Kč
3.	1	Výškově stavitelná židle	5 275 Kč
4.	1	Stůl pod robot	2 500 Kč
5.	1	Podložka na stůl	500 Kč
6.	1	Kleště	250 Kč
7.	1	Šroubovák	200 Kč
8.	1	Aku šroubovák	1 300 Kč
9.	12	Krabička	420 Kč
10.	12	Krabička na bužírky	792 Kč
11.	1	Policový vozík	7 083 Kč
12.	1	Pásový dopravník	100 000 Kč
13.	1	Válečkový dopravník	25 000 Kč
14.	1	Konstrukce spádových drah	6 000 Kč
15.	1	Kamera	100 000 Kč
16.	1	Tlačítko nouzového zastavení	1 480 Kč
17.	1	Optický senzor	1 572 Kč
21.	1	Dodatečné vybavení (kabely atd.)	10 000 Kč
Cena celkem			994 646 Kč

Celková cena pro pořízení vybrané varianty činí 994 646 Kč, nyní je nutné spočítat návratnost této investice. Pro spočítání návratnosti je potřeba zjistit čas montáže a s tím související počet smontovaných statorů za směnu.



Výpočet času montáže

Dobu složení jednoho segmentového statoru nelze určit pouze součtem časů robotu a pracovníka, tento součet časů platí pouze pro první skládaný kus za směnu. Při skládání prvního kusu nemá pracovník k dispozici jednotlivé segmenty a musí tedy čekat, než je robot dodá. Po smontování prvního kusu se již jednotlivé operace robotu a pracovníka překrývají a jak vyplývá z Tab. 13 a z Tab. 14, tak pracovník bude mít práci hotovou dříve a bude na robot čekat. Časové trvání uvedené v následujících tabulkách, stejně jako v Tab. 2, je zkráceno z důvodu uvádění citlivých dat společnosti.

Tab. 13: Časové trvání operací prováděných robotem

Robot		
Č. operace	Popis operace	Časové trvání
10	Odebrání segmentu z pásového dopravníku	4 s
20	Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku	3 s
30	Uzavření rozvolňovacího přípravku	6 s
40	Odebrání prokladů z podavače	26 s
50	Nasunutí prokladů na segment	32 s
60	Otevření rozvolňovacího přípravku	6 s
70	Umístění segmentu k pracovníkovi	4 s
80	Odebrání segmentu z pásového dopravníku	4 s
90	Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku	3 s
100	Uzavření rozvolňovacího přípravku	6 s
110	Odebrání prokladů z podavače	26 s
120	Nasunutí prokladů na segment	32 s
130	Otevření rozvolňovacího přípravku	6 s
140	Umístění segmentu k pracovníkovi	4 s
150	Odebrání segmentu z pásového dopravníku	4 s
160	Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku	3 s
170	Uzavření rozvolňovacího přípravku	6 s
180	Odebrání prokladů z podavače	26 s
190	Nasunutí prokladů na segment	32 s
200	Otevření rozvolňovacího přípravku	6 s
210	Umístění segmentu k pracovníkovi	4 s
Celkem		243 s

Tab. 14: Časové trvání operací prováděných pracovníkem

Pracovník		
Č. operace	Popis operace	Časové trvání
220	Oddělení segmentu od navíjecího přípravku	13 s
230	Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník	7 s
240	Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru	9 s
250	Oddělení segmentu od navíjecího přípravku	13 s
260	Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník	7 s
270	Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru	9 s
280	Oddělení segmentu od navíjecího přípravku	13 s
290	Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník	7 s
300	Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru	9 s
310	Nasazení stahovací spony	12 s
320	Utažení stahovací spony	17 s
330	Nasazení bužírky 110 mm	16 s
340	Nasazení bužírky 74 mm	16 s
350	Nasazení bužírky 35 mm	16 s
360	Nasazení bužírky 125 mm	16 s
370	Nasazení bužírky 70 mm	16 s
380	Nasazení bužírky 30 mm	17 s
390	Vyjmutí statoru z přípravku	2 s
400	Dotažení stahovací spony	17 s
410	Nasazení plastové krytky	3 s
420	Umístění složeného statoru na policový vozík	2 s
Celkem		237 s

Doba složení prvního kusu segmentového statoru je tedy 480 s, zbytek statorů se již za směnu složí za 243 s (tedy za čas práce robotu).

Budu předpokládat, že práce probíhá ve třisměnném provozu, kdy jedna směna trvá osm hodin. Z těchto osmi hodin je však nutné odečíst čas přestávky (30 minut) a čas ztrátový, který se skládá z času osobní ztráty, času technicko-organizační ztráty a ztráty času vyšší moci (40 min). Čistý čas práce za jednu směnu vypočítám tedy jako:

$$\text{Čistý čas práce za směnu} = 480 - 30 - 40 = 410 \text{ min} = 24\,600 \text{ s} \quad (2)$$

Abych získala počet kusů, které se za jednu směnu smontují, musela jsem nejprve v (3) odečíst od čistého času jedné směny čas potřebný na smontování prvního kusu statoru, který je téměř dvojnásobně vyšší, než čas potřebný na smontování následujících kusů.



$$\text{Čas směny na následující kusy statorů} = 24\,600 - 480 = 24\,120 \text{ s} \quad (3)$$

Nyní jsem již mohla výsledek z (3) vydělit časem potřebným na smontování následujících statorů:

$$\text{Počet smontovaných následujících kusů za směnu} = \frac{24\,120}{243} = 99 \text{ ks} \quad (4)$$

A následně jsem již sečtením prvního kusu smontovaného statoru a počtu následujících kusů statorů získaných z (4) určila počet kusů, které se za jednu směnu složí:

$$\text{Celkový počet smontovaných kusů za směnu} = 1 + 99 = 100 \text{ Ks} \quad (5)$$

Za rok se tak při třisměnném provozu a počtu 250 pracovních dní složí 75 000 kusů segmentových statorů:

$$\text{Počet kusů smontovaných za rok} = 100 \cdot 3 \cdot 250 = 75\,000 \text{ Ks.} \quad (6)$$

Výpočet návratnosti investice

Výpočet návratnosti investice lze spočítat několika způsoby, například vydělením čistého zisku náklady na investici. Já jsem se však rozhodla vypočítat návratnost za pomocí vypočtení ušetřeného času oproti původnímu pracovišti.

Pracovníkovi trvalo smontovat jeden kus statoru na původním pracovišti 426 s (Tab. 2), nyní díky nasazení kolaborativního robotu trvá smontování jednoho kusu statoru 243 s. Následujícím výpočtem jsem tedy získala čas, který jsem nasazením robotu ušetřila na jednom smontovaném kusu:

$$\text{Ušetřený čas na jeden kus} = 426 - 243 = 183 \text{ s} = 3,05 \text{ min} \quad (7)$$

Hodnotu hodinové mzdy jsem si určila na 180 Kč, to vychází tedy na 3 Kč za minutu. Pokud tuto hodnotu vynásobím hodnotou času ušetřeného na jednom kusu statoru z (7), získám finanční částku ušetřenou na jednom kusu:

$$\text{Ušetřená částka na jednom kusu} = 3 \cdot 3,05 = 9,15 \text{ Kč} \quad (8)$$

Celkovou roční finanční úsporu zavedením této varianty jsem spočítala vynásobením částky z (8) počtem složených kusů za rok:

$$\text{Roční úspora pracovištěm} = 9,15 \cdot 75\,000 = 686\,250 \text{ Kč} \quad (9)$$



Nyní jsem již jednoduchým vydělením celkových nákladů na pracoviště z Tab. 12 a částky z (9) získala dobu návratnosti v rocích:

$$\text{Návratnost investice} = \frac{\text{Náklady na zřízení pracoviště}}{\text{Roční úspora pracoviště}} = \frac{994\,646}{686\,250} = 1,45 \text{ roku} \quad (10)$$

Investice do vybrané varianty se společnosti vrátí za zhruba 1 rok a 6 měsíců provozu, takováto doba návratnosti je sama o sobě výhodná. Je také nutné podotknout, že se v současné době trh práce potýká s nedostatkem pracovních sil, a právě tato varianta pracoviště umožňuje i přes tento fakt zvýšit produktivitu.

Dalším pozitivním faktorem při zavedení této varianty je ulehčení práce pracovníkovi. Konkrétně již pracovník nemusí vkládat proklady na jednotlivé segmenty, což je činnost, která je náročná na přesnost.

Dobu návratnosti investice by bylo dále možné snížit například celkovým snížením nákladů. Náklady by bylo možné snížit v této variantě například nahrazením válečkového dopravníku policovým vozíkem, toto snížení by bylo však na úkor plynulosti montáže. Dále by bylo možné snížit dobu návratnosti urychlením doby montáže jednoho kusu statoru. Toho by bylo možné dosáhnout například úpravou rozvolňovacího přípravku tak, aby do něj bylo možné vložit více segmentů najednou. Díky tomu by robot ušetřil čas při zavírání a otevírání samotného přípravku a tím pádem by se snížila celková doba potřebná pro složení jednoho kusu segmentu.

Dobu návratnosti by bylo možné zkrátit také například zavedením většího počtu pracovišť, kdy by jednotlivá pracoviště byla vůči sobě rozmístěna tak, aby sdílela dopravníky a případně i řízení pracoviště. Tímto by se jednotlivé náklady na jedno pracoviště snížily, ale zároveň by zůstala zachována zvýšená produktivita.



7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit návrh montážního pracoviště s využitím kolaborativního robotu. Na začátku je práce zaměřena na teorii automatizace výrobních procesů a problematiku montáže. Dále se práce zabývá teorií ergonomie a problematikou průmyslových robotů, ve které se podstatná část věnuje robotům kolaborativním. Všechny tyto okruhy byly klíčové pro pozdější vytvoření vhodného návrhu montážního pracoviště.

Následně byl v práci představen předmět a postup montáže. Došlo také k analýze současného stavu montážního pracoviště ve společnosti SOPO s.r.o., která odhalila v souvislosti s rozmístěním jednotlivých dílů pohyby a pozice pracovníka, které by bylo z hlediska ergonomie možné upravit. Proto je v práci představena i varianta bez použití kolaborativního robotu, která tyto pozice upravuje a zároveň zachovává současný koncept pracoviště.

Poté byly v práci představeny tři varianty kolaborativního pracoviště, z nichž byla každá varianta na konci kapitoly zhodnocena z pohledu technického provedení, ergonomie a ceny. Metodou váženého pořadí byla následně vybrána vhodná varianta.

V rámci podrobného zpracování vybrané varianty byly představeny použité přípravy využívané jak robotem, tak i pracovníkem. Dále bylo představeno bezpečnostní a senzorové řešení pracoviště a jeho řízení a byla představena úprava prstů robotu pro jednoduchou manipulaci s předmětem montáže.

Následně již byl představen podrobný postup montáže. Pro přiblížení postupu montáže vykonávanou robotem byl použit program RobotStudio od společnosti ABB, kde došlo k ověření dosahu robotu. Pro část montážního procesu vykonávanou pracovníkem byl použit program Tecnomatix Jack od společnosti Siemens. Analýzou provedené simulace montáže bylo potvrzeno, že jednotlivé pohyby a pozice pracovníka jsou vyhovující a tedy, že při nich nedochází k nadměrnému zatížení muskuloskeletálního systému pracovníka. Na závěr práce došlo k zhodnocení vybrané varianty z ergonomického, technického a ekonomického hlediska.



8 Reference

1. *Automatizační a robotická technika*. Košice : Vitralab Leonardo da Vinci Programme , Zář 2011.
2. HAVLÍČEK, D. Základní pojmy z automatizace: 32 termínů, které musíte znát. *Factory Automation*. [Online] 25. Leden 2015. <https://factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-z-automatizace-32-terminu-ktere-musite-znat/>.
3. ŠVARC, I. *Základy automatizace*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2002.
4. TALÁCKO, J. a MATIČKA, R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. 1.vyd.* Praha : České vysoké učení technické, 1995. ISBN 8001012913;9788001012918;..
5. ZELENKA, A. a České vysoké učení v Praze. Strojní fakulta. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 8001039129;9788001039120.
6. ADAMEC, J. *Technologie automatizovaných výrob. 1. vyd.* Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN 8024808714;9788024808710.
7. RUMÍŠEK, P. *Mechanizace a atomatizace*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství., 2002.
8. PETRŮ, J. a ČEP, R. *Základy montáže*. Ostrava : Fakulta strojní VŠB - TUO, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
9. RUMÍŠEK, P. *Automatizace: roboty a manipulátory*. Brno : VUT, 2003.
10. *Safety matters*. Singapore : Singapore Institution of Safety Officers, 2017. Permit No.R151033467.
11. VYSOCKÝ, A. *Roboty přímo spolupracující s člověkem*. Ostrava : Technická univerzita Ostrava. Fakulta Strojní, 2019. Disertační práce.
12. Definition and guidelines for collaborative workspaces. *European Commision*. [Online] 2017. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b6bdb039&appId=PPGMS>.
13. COLGATE, J. Edward, W., WANNASUPHOPRASIT a PESHKIN, M. A. *Cobots: Robots for collaboration with human operators*. International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Atlanta : Department of Mechanical Engineering. Northwestern University, 1996.



14. PITTMAN K. A History of Collaborative Robots: From Intelligent Lift Assists to Cobots. *engineering.com*. [Online] engineering.com/story/a-history-of-collaborative-robots-from-intelligent-lift-assists-to-cobots.
15. An introduction to common collaborative robot application. *Universal robots*. [Online] <https://info.universal-robots.com/hubfs/Enablers/White%20papers/Common%20Cobot%20Applications.pdf?submissionGuid=9212c11c-4333-4ed1-83db-b812b1bca0d8>.
16. Universal Robots. *TRELLEBORG SEALING SOLUTIONS*. [Online] <https://www.universal-robots.com/case-stories/trelleborg-sealing-solutions/>.
17. ČSN EN ISO 12100 (833001) A Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
18. ČSN EN ISO 13857 (833212) A Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných zón horními a dolními končetinami. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
19. ČSN EN ISO 13850 (833311) A Bezpečnost strojních zařízení - Funkce nouzového zastavení - Zásady pro konstrukci. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
20. ČSN EN ISO 10218-1 (186502) A Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. Část 1. *Roboty = Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots. Part 1, Robots*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
21. ČSN EN ISO 10218-2 (186502) A Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. Část 2. *Systémy robotů a integrace = Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots. Part 2, Robot systems and integration*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
22. ISO/TS 15066:2016. *Robots and robotic devices - Collaborative robots*. 2016.
23. VOJÁČEK, A. Problematika bezpečnosti kolaborativních robotů - ISO/TS 15066. *automatizace.hw.com*. [Online] 17. Říjen 2019. <https://automatizace.hw.cz/problematika-bezpecnosti-kolaborativnich-robotu-isots-15066.html>.
24. Automa. *Bezpečnost kolaborativních robotů*. [Online] 2017. https://automa.cz/cz/casopis-clanky/bezpecnost-kolaborativnich-robotu-2017_08_0_11040/.



25. *TECHNOR*. [Online] <http://www.technicke-normy-csn.cz/>.
26. *Interactive Collaborative Robotics: Third International Conference, ICR 2018*, RONZHIN A., RIGOLL G. a MESHCHERYAKOV R. Leipzig, Germany : Cham: Springer International Publishing AG, September 18-22, 2018,. ISBN 9783319995816;3319995812;.
27. *Nové přístupy k bezpečnosti robotů*. 22-23., Děčín : RETHINK ROBOTICS, INC., 2016. ISSN 1210-9592.
28. IRB 14050 Single-arm YuMi®. ABB. [Online] <https://new.abb.com/products/robotics/cs/kolaborativni-roboty/single-arm-yumi>.
29. Kolaborativní Robot YuMi s jedním ramenem. ABB. [Online] <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107680A1088&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>.
30. CHUNDELA, L. *Ergonomie*. Praha : ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02301-X.
31. MAREK, P. a SKŘEHOT, J. *Základy aplikované ergonomie*. Praha : VÚBP, v.v.i., 2009. ISBN 978-80-86973-58-6..
32. KYNCL, J. Studijní podklady. *Automatizace montážních procesů*. [Online] <https://moodle-vyuka.cvut.cz/>.
33. Jsme specialisté na vinutí - vyrábíme srdce elektromotorů. *SOPO*. [Online] <https://www.sopo.cz/>.
34. GÓMEZ-GALÁN M., PÉREZ-ALONSO J., CALLEJÓN-FERRE ÁJ, LÓPEZ-MARTÍNEZ J. *Musculoskeletal disorders: OWAS review*. místo neznámé : Industrial Health: National Institute of Occupational Safety and Health, 2017. PMID: 28484144, PMCID: PMC5546841.
35. VACEK, J. *Manažerské rozhodování*. [Online] 2009. <https://slideplayer.cz/slide/2371152/>.
36. ABB. *Integrated Vision*. [Online] <https://new.abb.com/products/robotics/cs/aplikacni-zarizeni-a-prislusenstvi/kamerove-systemy/integrated-vision>.
37. ABB. *Kontroléry OmniCore*. [Online] Prosinec 2019. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107680A4546&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>.



38. ABB. *IRB 14050*. [Online] 31. Květen 2021.
<https://library.e.abb.com/public/c0b6c0de18ae4feb967284d13d2428ba/3HAC064627%20PS%20IRB%2014050-en.pdf>.



Seznam obrázků

Obr. 1: Dělení montáže dle způsobu a organizace [5].....	13
Obr. 2: Schéma soustředěné montáže [8]	14
Obr. 3: Schéma rozčleněné montáže [8]	14
Obr. 4: Schéma předmětné montáže [8]	15
Obr. 5: Schéma linkové montáže [8].....	15
Obr. 6: Schéma proudové montáže [8]	15
Obr. 7: Dělení montáže dle stupně automatizace [8].....	16
Obr. 8: Členění manipulačních zařízení [9]	17
Obr. 9: Dělení průmyslových robotů [9]	18
Obr. 10: Oblasti umístění bezpečnostních prvků [10]	20
Obr. 11: Typy pracovišť [12]	21
Obr. 12: Pracovník spolupracující s kolaborativním robotem YuMi IRB 14000 [13]	23
Obr. 13: Ukázka obsluhy strojů [16]	24
Obr. 14: Základní funkce pro zajištění bezpečnosti [26]	29
Obr. 15: Bezpečnostní prvky kolaborativního robotu [12].....	29
Obr. 16: Příklad interního senzoru robotu od společnosti KUKA [12].....	30
Obr. 17: IRB 14050 Jednoruký YuMi [28].....	31
Obr. 18: Boční pohled [28].....	31
Obr. 19: Systém člověk – technika – prostředí [30].....	32
Obr. 20: Faktory charakterizující pracovní místo [31]	33
Obr. 21: Oblast dosahu horních končetin, rozměry na osách jsou v cm [32].....	36
Obr. 22: Logo společnosti SOPO [33].....	39
Obr. 23: Segmentový stator [33]	40
Obr. 24: Přípravek na oporu tvaru statoru	43
Obr. 25: Původní stav pracoviště	44
Obr. 26: Původní pracoviště: problém č.1	47
Obr. 27: Původní pracoviště: problém č.2	48
Obr. 28: Původní pracoviště: problém č.3	48
Obr. 29: Úprava původního pracoviště.....	49
Obr. 30: Upravené původní pracoviště: Vybírání segmentu z vozíku	50
Obr. 31: Vyhodnocení zbytku montážního procesu metodou OWAS	51
Obr. 32: Upravené původní pracoviště: Přijatelný dosah pracovníka ke krabičkám	51
Obr. 33: První varianta.....	54
Obr. 34: První varianta: Podávání segmentu robotu.....	56
Obr. 35: Návrh druhé varianty.....	57
Obr. 36: Druhá varianta: Odkládání hotového statoru.....	59
Obr. 37: Druhá varianta: Odkládání navíjecího přípravku	59
Obr. 38: Původní podoba třetí varianty	60
Obr. 39: Třetí varianta pracoviště.....	61
Obr. 40: Třetí varianta: Položení hotového statoru na vozík	62
Obr. 41: Rozmístění přípravků	65
Obr. 42: Přípravek pro pracovníka.....	66



Obr. 43: Rozvolňovací přípravek.....	66
Obr. 44: Podavač prokladů	67
Obr. 45: Bezpečnostní a senzorové řešení pracoviště.....	68
Obr. 46: Kamera Integrated Vision [36].....	69
Obr. 47: První možnost schéma řízení	70
Obr. 48: Řídící systémy řady OmniCore [37].....	70
Obr. 49: Nový ovladač FlexPendant od společnosti ABB [37]	71
Obr. 50: Rozměry pro připojení prstů [38]	72
Obr. 51: Prst efektoru	73
Obr. 52: Detail na úchyt segmentu v navíjecím přípravku	73
Obr. 53: Zjednodušený popis průběhu montáže	74
Obr. 54: Operace 10: Odebrání segmentu z pásového dopravníku	76
Obr. 55: Operace 20: Umístění segmentu do rozvolňovacího přípravku	76
Obr. 56: Operace 30: Uzavření rozvolňovacího přípravku	77
Obr. 57: Operace 40: Odebírání prokladů z podavače	77
Obr. 58: Operace 50: Nasunutí prokladů.....	78
Obr. 59: Operace 60: Otevření rozvolňovacího přípravku	78
Obr. 60: Operace 70: Umístění segmentu k pracovníkovi.....	79
Obr. 61: Operace 220: Oddělení segmentu od navíjecího přípravku	79
Obr. 62: Operace 230: Umístění navíjecího přípravku na válečkový dopravník	80
Obr. 63: Operace 240: Umístění segmentu do přípravku na oporu tvaru statoru.....	80
Obr. 64: Operace 310: Nasazení stahovací spony	81
Obr. 65: Operace 320: Utažení stahovací spony	81
Obr. 66: Operace 330: Nasazení bužírky	82
Obr. 67: Operace 390: Vyjmutí statoru z přípravku	82
Obr. 68: Operace 410: Nasazení plastové krytky.....	83
Obr. 69: Operace 420: Umístění složeného statoru na policový vozík.....	83
Obr. 70: Vybraná varianta: Pracovní poloha vstoje.....	84
Obr. 71: Vybraná varianta: Nejvyšší pozice stolu	84
Obr. 72: Vybraná varianta: Nejnižší pozice stolu	85
Obr. 73: Vybraná varianta: Nejnižší pozice stolu	85
Obr. 74: Vybraná varianta.....	86



Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled jednotlivých dílů	40
Tab. 2: Zkreslené časové trvání sestavení segmentového statoru.....	45
Tab. 3: Kalkulace cen vybraných zástupců vybavení obsažených ve všech variantách..	53
Tab. 4: Cena první varianty	55
Tab. 5: Cena druhé varianty.....	58
Tab. 6: Cena třetí varianty	63
Tab. 7: Pořadí jednotlivých variant	63
Tab. 8: Přiřazené hodnoty variant	64
Tab. 9: Určení pořadí variant	64
Tab. 10: Přehled variant [38]	72
Tab. 11: Popis operací.....	75
Tab. 12: Celkové náklady pro pořízení vybrané varianty.....	88
Tab. 13: Časové trvání operací prováděných robotem	89
Tab. 14: Časové trvání operací prováděných pracovníkem.....	90

Seznam rovnic

h_i^j (1).....	64
Čistý čas práce za směnu (2)	90
Čas směny na následující kusy statorů (3)	91
Počet smontovaných následujících kusů za směnu (4).....	91
Celkový počet smontovaných kusů za směnu (5).....	91
Počet kusů smontovaných za rok (6).....	91
Ušetřený čas na jeden kus (7).....	91
Ušetřená částka na jednom kusu (8).....	91
Roční úspora pracovištěm (9).....	91
Návratnost investice (10).....	92