

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Diplomová práce

Návrh kolaborativního pracoviště

2019

Bc. František Horák

Zadání diplomové práce

pro: Bc. Františka Horáka

obor: Průmysl 4.0

Název: Návrh kolaborativního pracoviště

Název anglicky: Collaborative Workplace Design

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky kolaborativních pracovišť
2. Rozbor vstupních podmínek
3. Návrh dispozičního řešení pracoviště
4. Experimentální ověření návrhu
5. Zhodnocení návrhu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kellnera a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze 19. 7. 2019

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této práce Ing. Tomáši Kellnerovi za odborné vedení a cenné rady.

Dále chci poděkovat Ing. Martinu Nečasovi, MSc., Ph.D. za pomoc při práci s otočným stolem.

Mé díky patří také Kláře Chvalové za rady při tvorbě ergonomické simulace.

Anotace

Úkolem této práce je navržení montážního pracoviště s využitím kolaborativního robota za cílem zlepšení ergonmičnosti a produktivity montážního procesu.

Kolaborativní roboty jsou jedním z prosazujících se trendů v moderním průmyslu. Jedná se o roboty, jež umožňují lidskou interakci v jejich těsné blízkosti. Tato interakce probíhá v zabezpečeném prostoru označeném jako kolaborativní pracovní prostor, kde mohou pracovat současně robot a člověk.

Aby mohlo k rozšíření kolaborativních robotů dojít, je nutné hledat vhodné aplikace pro jejich nasazování. V současné době dochází k maření investic do kolaborativních robotů z důvodu jejich nevhodného použití. Typické aplikace jsou podobné jako pro klasické roboty, ale k využití potenciálu kolaborace dojde až tehdy pokud je docíleno zlepšení pracovních podmínek zaměstnanců a zároveň je zvýšena produktivita.

Klíčová slova: Kolaborativní robot, ergonomie, montáž, RobotStudio, Process Simulate Human

Annotation

The goal of this thesis is to explore opportunities of collaborative robotics to improve ergonomics of assembly process.

Collaborative robots are currently spreading across the industry. These robots enable human interaction in its close proximity. This interaction takes place in safeguarded area labeled as collaborative workspace, where robot and man can work simultaneously.

In order for the wider spread of collaborative robots to happen, it is necessary to find suitable applications. Nowadays, investments in collaborative robots are being wasted due to their inappropriate use. Typical collaborative applications are similar as for classic robots, but full potential of collaboration is utilized when improvement of work conditions for men and productivity rises.

Keywords: Collaborative robot, ergonomics, assembly, RobotStudio, Process Simulate Human

Obsah

Prohlášení.....	2
Poděkování.....	4
Anotace	5
1 Úvod.....	8
2 Montáž.....	10
2.1 Vymezení základních pojmů	10
2.2 Členění montáže	11
2.3 Normování montážních prací	18
3 Ergonomie.....	26
3.1 Systém člověk – technika – prostředí.....	26
3.2 Antropocentrismus.....	27
3.3 Technika.....	28
3.4 Prostředí	32
4 Kolaborativní robotika	35
4.1 Aplikace kolaborativních robotů	35
4.2 Bezpečnost nasazení kolaborativních robotů	36
4.3 ABB IRB 14000 – YuMi	46
5 Koncepční návrh pracoviště.....	48
5.1 Volba předmětu montáže.....	48
5.2 Analýza předmětu montáže	51
5.3 Návrhy variant pracoviště.....	52
5.4 Výběr varianty.....	65
6 Návrh pracoviště dle vybrané varianty.....	67
6.1 Postup montážního procesu.....	67

6.2	Návrh přípravků	78
6.3	Návrh prstů gripperu	81
6.4	Ověření možnosti využití stavitelného stolu	84
6.5	Analýza rizik pracoviště	87
7	Vytvoření programu	93
7.1	Propojení robota s otočným stolem	93
7.2	Struktura programu	103
7.3	Simulace v RobotStudios	108
8	Zhodnocení práce	114
9	Závěr	121
	Použitá literatura	123
	Seznam obrázků	126
	Seznam tabulek	129
	Seznam použitého	131
	Seznam příloh	131

1 Úvod

V současné době tvoří kolaborativní roboty malý podíl celkového objemu prodaných robotů, avšak předpovídá se, že toto číslo bude růst. Přesnou míru růstu je v tuto chvíli obtížné předpovědět, protože se teprve hledá jejich uplatnění ve výrobních procesech. Dochází k tomu, že kolaborativní roboty bývají nasazovány na aplikace, kde nevyužijí své přednosti a poté nevykazují očekávanou návratnost, toto je aktuálně jednou z největších překážek v rozšíření těchto robotů.

Cílem této diplomové práce je navrhnout kolaborativní montážní pracoviště s robotem ABB IRB 14000 „YuMi“. Takový robot umožňuje blízkou spolupráci člověka a stroje, jelikož je v každém kloubu vybaven senzorem a porovnává aktuální moment s očekávaným. Nasazení tohoto druhu robota na pracoviště může přinést zvýšení produktivity, zlepšení ergonomičnosti procesů a zlepšení přesnosti montážních operací. Na druhou stranu jsou kolaborativní roboty, oproti klasickým dražší, v kolaborativním režimu jsou pomalejší a pro zvýšení produktivity musí být vhodně vybráno jejich zařazení. Navržení tohoto pracoviště má demonstrovat tyto výhody a pomoci s nalezením vhodných oblastí k nasazení kolaborativních robotů.

V první části práce bude zmapována problematika montáže, ergonomie a kolaborativní robotiky. Z hlediska montáže se věnuje tomu, jaké druhy montážních procesů existují a jak je možné montáž plánovat a organizovat. Záměrem ergonomické části je především představit, čím vším se ergonomie zabývá a jaké faktory ovlivňují pracovníky při práci. Na závěr bude první část popisovat specifika kolaborativní robotiky a zabývat aplikacemi, bezpečností a představením modelu od společnosti ABB.

Druhá část bude zaměřena na koncepční návrh pracoviště. Před samotným návrhem pracoviště bude zvolen vhodný předmět montáže a řádně popsán. Poté bude možné vytvořit koncepcí toho, jak může modelové kolaborativní pracoviště vypadat. Všechny koncepce budou zahrnovat využití otočného stolu a výškově stavitelného stolu, jež budou společně tvořit celek pracoviště. Podle zvolených kritérií, kterými jsou využití kolaborace, ergonomičnost, cena a náročnost realizace, bude vícekritériální analýzou zvolena vhodná koncepce pracoviště.

Po zvolení konceptu pracoviště bude možné ve třetí části přejít k rozpracování této koncepce. Rozpracování zahrnuje návrh použitých přípravků, které usnadňují montážní operace, návrh prstů na efektor robota, aby mohl být materiál spolehlivě odebírán. Dále bude navržena sekvence montážních úkonů pro robota i pracovníka. Po tomto návrhu následuje ověření dosahu robota na zvýšení stavitelný stůl. Nakonec budou analyzovány rizika pracoviště dle příslušné normy.

Poslední část se věnuje zprovoznění pracoviště. Nejprve bude popsána komunikace s připojeným zařízením a následně popsáno vytvoření robotického programu a ověření pomocí simulace. Na závěr budou zhodnoceny výsledky práce. Zhodnoceny budou přínosy přítomnosti kolaborativního robota na pracovišti, tedy jakým způsobem usnadňuje činnost pracovníkovi, popřípadě zvyšuje produktivitu. Bude zjištěn a vyhodnocen takt montážního pracoviště a také budou vyhodnoceny hodnoty zatížení, kterým je pracovník vystaven a doporučení na jejich snížení či úplnou eliminaci.

2 Montáž

Protože se v této práci budu zabývat návrhem pracoviště kolaborativní montáže, kde se bude uskutečňovat montážní proces, je nutné věnovat se v teoretické části rozboru samotné montáže, jak se dá členit a organizovat.

Díky vysoké přesnosti robotů je vhodné jejich použití při montážních operacích. Roboty umožňují rychlou a přesnou manipulaci s materiálem, který může být těžší, než s jakým zvládne manipulovat člověk. Obecně při nasazení průmyslových robotů vzniká požadavek na větší plochu pro robota a tím zásah do výrobního prostoru. Nasazení kolaborativního robota na montážní operaci umožňuje zachování stávajícího rozmístění.

Obecná definice montáže zní: „*Montáž je soubor činností, které vykonají lidé a stroje, v předepsaném pořadí za účelem spojit dvě a více součástí do jednoho celku.*“ Montáž je realizována na konci výrobního procesu. Téměř každý výrobek se skládá z jednotlivých součástí, a proto je možné se s montážními operacemi setkat ve skoro každém výrobním procesu. Vzhledem k tomu, že obecně se montáž velice těžko automatizuje, její pracnost představuje 30–50 % pracnosti celého výrobního procesu a až 50 % výrobních nákladů. Tato čísla se mohou lišit především podle sériovosti. Pro kusovou výrobu je vyšší a pro velkosériovou nižší.

2.1 Vymezení základních pojmů

V montážní terminologii se objevují podobné pojmy jako ve výrobní teorii. [1]

Montážní proces – podsystém výrobního systému, ve kterém je realizována montáž

Technologický postup montáže – předepsaný sled operací souvisejících se spojováním součástí, podsestav ve výrobek pomocí přípravků, zařízení a náradí, které odpovídá požadavkům příslušné dokumentace

Montážní operace – část montážního procesu realizovaná na jednom pracovišti zpravidla bez přestavení montážního zařízení

Montážní úkon – ucelená jednoduchá pracovní činnost dělníka v montážním procesu nebo přípravě výrobku k montáži

Montážní pohyb – nejmenší jednotka pracovní činnosti v montážním procesu

Montážní základna – definovaný soubor ploch nebo prvků součásti, ke kterým je vztažena poloha součásti k jiným součástem

Montážní pracovní poloha – poloha přípravku a montážního celku, při které je prováděna část montážní operace

2.2 Členění montáže

Vzhledem k tomu, že montáž je objevuje téměř v každém výrobním procesu, tak existuje mnoho jejích podob. Dělí se podle:

- místa, kde je montáž prováděna
- pohybu montážního celku a pracovníků
- stupně mechanizace a automatizace
- způsobu dosahování požadované přesnosti

2.2.1 Dělení podle místa vykonávání

Interní montáž

Interní montáž je realizována přímo v podniku, kde dochází k výrobě výrobku. Může jít buď o kompletní sestavení celého výrobku, nebo u rozměrnějších výrobků sestavení jen určitých podsestav. U smontovaných výrobků se ověří jejich funkčnost a následně jsou expedovány k zákazníkovi. Využívá se například pro dopravní prostředky či spotřební zboží.

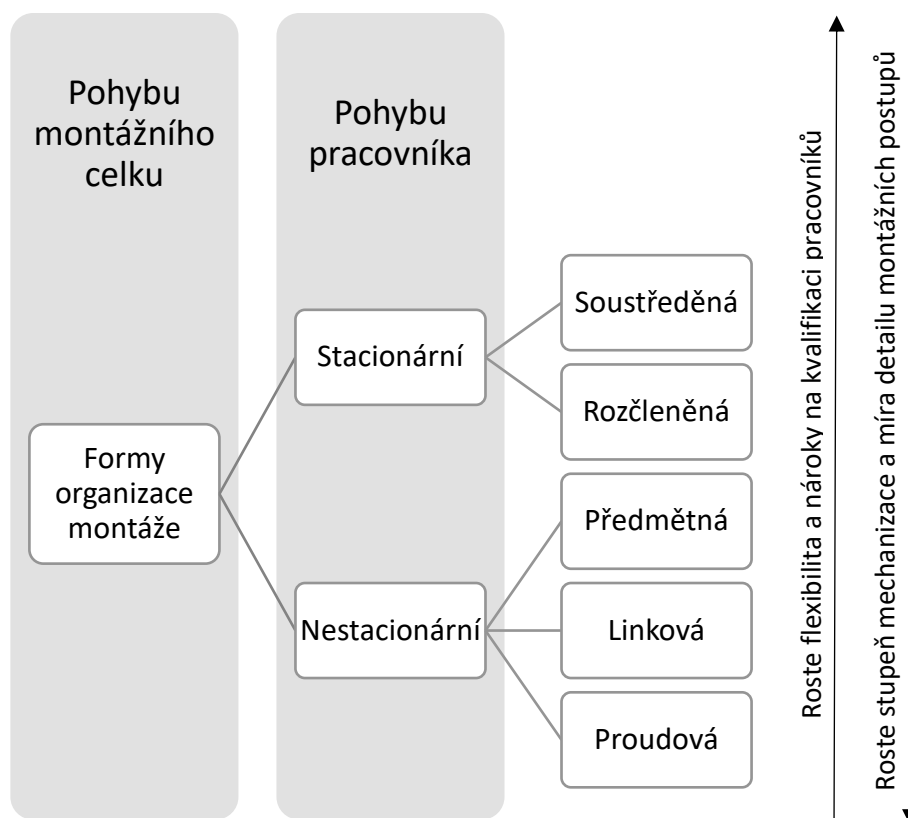
Pro interní montáž platí, že je snazší kontrolovat kvalitu a na montážní pracovníky jsou kladeny nižší nároky na samostatnost a rozhodování.

Externí montáž

V případě externí montáže jsou montážní procesy realizovány vně podniku, většinou u zákazníka. Pokud je to možné, tak i při externí montáži je snaha co nejvíce podsestav smontovat interně. Externí montáže se využívá při montáži výrobků, které se rozměrově nevejdou do výrobní haly podniku nebo jsou vázány na své prostředí (např. mosty, potrubí).

2.2.2 Dělení podle pohybu montážního celku a pracovníka

Toto rozdělení závisí na způsobu organizace montážního systému, který je odvozen od složitosti výrobku a z velké části také podle sériovosti montáže. [2] Přehled různých druhů montáže je zobrazen na Obr. 1.



Obr. 1 - Schéma dělení montáže podle pohybu montážního celku a pracovníka [2]

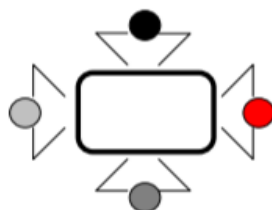
Stacionární montáž

Jinými slovy také fázová nebo nepohyblivá. Při tomto druhu montáže se montážní celek nepohybuje a jeden nebo více pracovníků jej montuje. Lze rozlišovat dva způsoby stacionární montáže.

Soustředěná stacionární montáž

Montovaný výrobek celou dobu nemění svou polohu, práci zpravidla vykonává více pracovníků současně podle pouze hrubých pracovních postupů, ve kterých nebývá definovaná časová norma na operace. Tento druh montáže je uplatňován při kusové výrobě zařízení, jako jsou

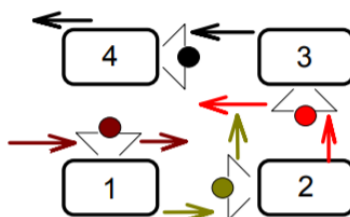
letadla, lodě, válcovací tratě nebo velké obráběcí stroje. Schéma rozmístění pracovníků a výrobku je možné vidět na Obr. 2.



Obr. 2 - Schéma soustředěné stacionární montáže [2]

Rozčleněná stacionární montáž

Zde se montované výrobky vyskytují na několika definovaných pozicích, mezi kterými pracovníci nebo skupiny pracovníků přechází a u každého vykonají stejné montážní operace, viz Obr. 3. Pracovníci čerpají informace z montážních schémat a časových norem pro celé montážní pracoviště. Tento druh montáže je vhodný především na malosériovou výrobu lokomotiv, obráběcích strojů nebo menších lodí.



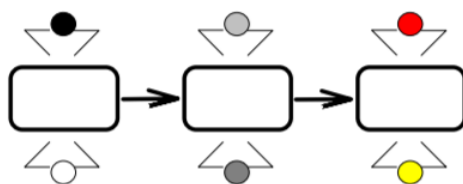
Obr. 3 - Schéma rozčleněné stacionární montáže [2]

Nestacionární montáž

V tomto případě se výrobek přesunuje mezi jednotlivými montážními pracovišti. Je charakterizována detailnějšími časovými normami a jednoduššími operacemi na jednotlivých pracovištích. Kromě již zmíněného rozdělení, lze rozlišovat také různé varianty nestacionární montáže podle tvaru montážní linky.

Předmětná nestacionární montáž

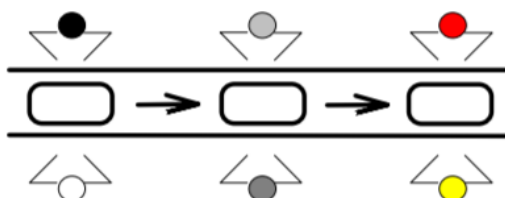
Montovaný výrobek je přesouván, ve volném taktu, mezi stacionárními montážními pracovišti. Tok materiálu je patrný na Obr. 4. Montáž probíhá podle montážního schématu nebo postupu. Aplikuje se ve výrobě na pomezí malosériové a velkosériové výroby.



Obr. 4 - Schéma předmětné nestacionární montáže [2]

Linková nestacionární montáž

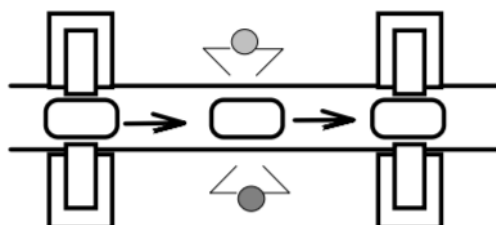
Zde se montážní celek také pohybuje mezi stacionárními pracovišti (Obr. 5), ale s pevným taktům a montážní práce jsou rozděleny až na jednotlivé operace. Pevný takt je nesynchronizovaný a jsou tedy zapotřebí určité zásobníky k vyvážení taktu. Automobily jsou nejtypičtějším představitelem výrobku, který je montován linkově, jde tedy typicky o velkosériovou výrobu.



Obr. 5 - Schéma linkové nestacionární montáže [2]

Proudová nestacionární montáž

Proudová montáž je velice podobná montáži linkové, avšak zde je pevný takt montáže synchronizovaný. Schéma tohoto druhu montáže je zobrazeno na Obr. 6. Na jednotlivých pracovištích jsou montážní práce rozděleny až na úroveň úkonů, tím pádem je tento druh montáže nejvhodnější k automatizaci. Aplikuje se pro hromadné série výrobků, jako jsou ložiska nebo drobné elektronické zařízení.



Obr. 6 - Schéma linkové nestacionární montáže [2]

Otevřená struktura montážní linky

Existuje přímková a „U“ struktura. Jejich výhodou je variabilita počtu pracovišť, kdy stačí pouze přidat další stanoviště na konec nebo začátek řetězce. Dále jsou také výhodné z hlediska přístupnosti pro zásobování a odebírání výrobků. Na druhou stranu jsou prostorově náročnější a částečně zhoršují přehlednost montážních operací. [3]

Uzavřená struktura montážní linky

Rozlišuje se obdélníková, kruhová a šestiúhelníková struktura, poslední jmenovaná je jakýmsi přechodem mezi obdélníkovou a kruhovou strukturou. Výhodami těchto struktur je návrat palet na počátek montážního procesu a potenciální využití vratných větví dopravníků. Mezi nevýhody patří obtížnější zařazení dalších pracovišť, omezený přístup k pracovišti a obtížnější přístupnost pro zásobování. [3]

2.2.3 Dělení montáže podle stupně automatizace

Toto dělení je odvozeno od techniky, kterou je podnik vybaven k usnadnění práce montážními dělníky. Volba techniky je závislá především na sériovosti výroby, nutnosti flexibility variant produkce a na náročnosti montáže z pohledu přesnosti a složitosti výrobků. Důležitým faktorem je také to, jak velkou investici do výrobních zařízení si může podnik dovolit. [1] [2]

Ruční montáž

Při ruční montáži je pracovník vybaven pouze mechanickými nástroji k usnadnění práce, ale veškeré vyvození pracovní síly a výkonu stále leží na svalech pracovníka. Z toho plyne, že tato varianta montáže je velmi nenákladná, flexibilní, ale málo produktivní a přináší s sebou ergonomické problémy. Lidský faktor je také zodpovědný na veškerou kontrolu kvality a řízení procesu.

Mechanizovaná montáž

U mechanizované montáže již používaná zařízení na sebe přenáší fyzicky náročnou práci. Tím je výrazně zvýšena produktivita práce a odstraněna ergonomická rizika. Pracovník je ovšem stále zodpovědný za kvalitu práce, protože je to on, kdo stroje ovládá.

Automatizovaná montáž

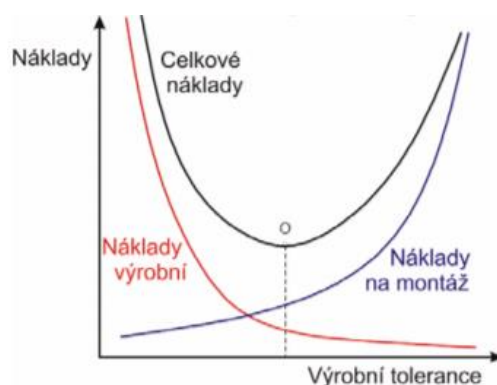
Automatizovaná montáž je výhodná pro velké série výrobků, protože je nejproduktivnější a nejnákladnější metodou. Využívá stroje řízené počítačem, které je náročné na výrobu připravit, ale samotná produkce a kontrola kvality již probíhá automaticky, bez přičinění člověka. Z toho plyne, že je zatížena velmi vysokými náklady a poměrně nízkou flexibilitou, protože využívá jednoúčelové stroje.

Automatizovaná montáž umožňuje i jiné, na první pohled nesouvisející, výhody:

- Odstranění meziskladů a plynulejší průběh montáže
- Zkrácení průběžné doby montáže
- Nižší rozpracovanost montáže
- Zvýšení přehledu o pohybech montážních celků [1]

2.2.4 Dělení montáže podle způsobu dosahování požadované přesnosti

Existuje několik cest k dosažení požadované přesnosti výrobku. Zvolená cesta by měla být vždy tou nejekonomičtější. Obecně platí, že čím vyšší nároky, a tedy i náklady, jsou kladeny na přesnost výroby, tak snadnější je montáž. Toto platí i opačně. Cílem je tedy nalézt optimální kompromis, který minimalizuje celkové náklady tzv. hospodárné tolerance. [1] Způsob nalezení tohoto kompromisu ilustruje Obr. 7.



Obr. 7 - Znárodnění závislosti přesnosti výroby na náročnosti montáže [1]

Metoda úplné vyměnitelnosti

Aplikace této metody umožňuje libovolně zaměňovat všechny členy rozměrového řetězce, které byly vyrobeny podle předepsaných tolerancí. Z toho plyne, že dané tolerance musí být poměrně úzké a jsou tedy vysoké výrobní náklady. Metoda je vhodná pro automatizaci velkosériové výroby a přináší jednoduchost přípravy a hospodárnost montáže. [1]

Metoda částečné vyměnitelnosti

Částečná vyměnitelnost předpokládá, že většina dílů je vyrobena uprostřed tolerančního pole, a to je tedy možné určitým způsobem rozšířit. Také s rostoucím počtem členů v rozměrovém řetězci klesá pravděpodobnost, že by na sebe narazily extrémní komplikující montáž. Výhodou je tedy snížení výrobních nákladů, ale na druhou stranu je nutné se připravit na občasnou nutnost dolícování určitých dílů. [1] [2]

Výběrová metoda

K výběru dochází, pokud je požadovaná vůle či přesah tak nízká, že by z technologického hlediska bylo neúměrně náročné je dodržet. Přistupuje se tedy k rozšíření tolerančních polí a zavedení přesného měření vyrobených dílů. Podle výsledků měření se spárují vyhovující vnitřní a vnější součásti a postoupí se k montáži. Nevýhodou metody je navýšení rozpracovanosti montáže. Typickým reprezentantem pro tuto metodu jsou valivá ložiska či kroužky a píсты s válci motorů. [1] [2]

Kompenzační metoda

Tato metoda využívá vloženého dílu (pevného členu) k dosažení tolerance závěrného členu rozměrového obvodu. Výhoda metody spočívá především v odstranění dodatečného upravování ostatních členů. Nevýhodou naopak je navýšení počtu součástí vstupujících do

montážního celku. Metoda se aplikuje, pokud by alternativní přizpůsobovací práce byly příliš nákladné. [1] [2]

Regulační metoda

Alternativou ke kompenzační metodě je metoda regulační. Rozdílem je podoba vloženého závěrného členu. Zde se jedná o tzv. pohyblivý konstrukční kompenzátor. Pohyblivou kompenzační součástí může být např. stavěcí lišta, klín ve vodicích saních soustruhu, mechanismus regulace polohy vnějšího kroužku válečkového ložiska apod. Klady a zápory této metody jsou podobné jako u kompenzační metody.[1] [2]

Metoda lícování

Jak je již z názvu patrné, při této metodě se dosahuje požadovaného uložení odebíráním materiálu vybrané součásti na samotném montážním pracovišti. Může jít o broušení, smirkování, pilování apod. Metoda se využívá v případech, kde by bylo příliš nákladné dosahovat pouze výrobou takových přesností, které jsou nutné k zajištění funkčních požadavků na mechanismus. [1] [2]

2.3 Normování montážních prací

Normování montážních prací je nedílnou součástí plánování jak z pohledu ergonomického řešení pracovního místa, tak z manažerského pohledu, protože je základem pro plánování výroby (kapacitní propočty), odměňování zaměstnanců a zvyšování produktivity. Při správném normování a analyzování práce může podnik odstranit plýtvání časem, optimalizovat využití kapacit a lépe standardizovat výrobu.

Pracovní norma zastupuje soubor všech předpisů, určujících, jakým způsobem se má určitá práce hospodárně vykonávat, jaká kvalifikace je k jejímu provedení zapotřebí a kolik pracovního času je za určitých podmínek třeba k jejímu vykonání. Hlavní druhy pracovních norem jsou normy pracovního postupu, pracovní kvalifikace a spotřeby práce. Pro tuto rešerši je významná především norma spotřeby práce. [5]

2.3.1 Norma spotřeby práce

Tato norma předepisuje spotřebu živé práce vynakládané na určitý pracovní výkon. Jejím měřítkem je čas spotřebovaný na práci a složitost práce za předpokladu určité intenzity.

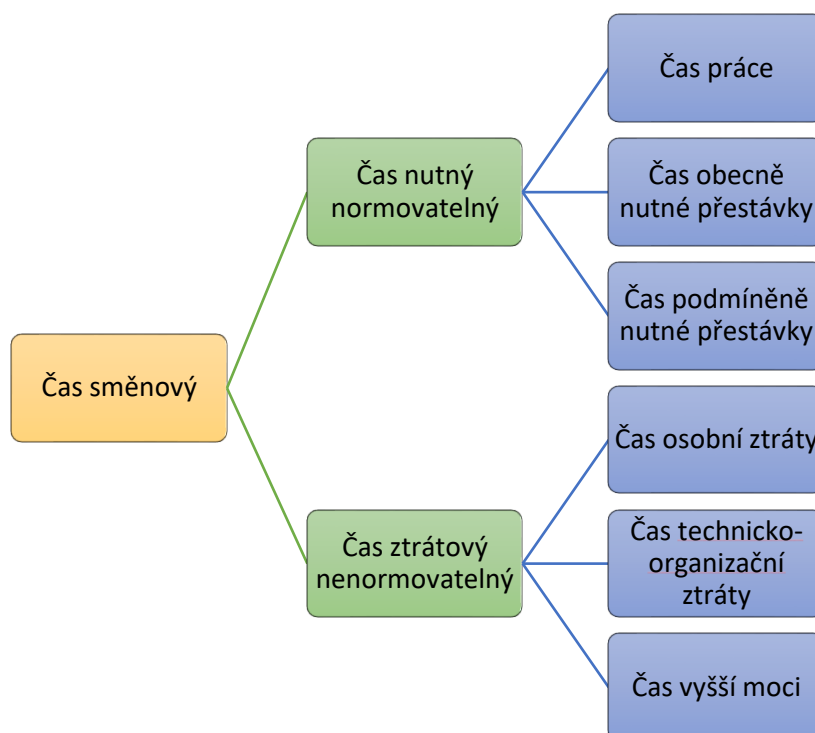
Samotná **norma času** udává, jak dlouho by mělo trvat pracovníkovi splnění určitého pracovního úkolu za daných podmínek. [6]

Při normování lidské práce se pracovní činnost rozdělí na dílčí prvky, pro které se samostatně určí spotřeba času. Míra detailu, do které se zachází, je závislá na detailnosti pracovního postupu. Například pro soustředěnou montáž nebývají normy tak detailní jako pro montáž linkovou. Je to způsobeno zejména sériovostí, pro velké množství kusů roste význam každé ušetřené sekundy. Výrobní postup lze tedy dělit na:

- Operace** - časově souvislá část pracovního postupu, bývá přidělována jako samostatný úkol pracovníkovi či pracovní četě, např. montovat, soustružit
- Úseky** - část operace, ze které by bylo možné vytvořit samostatnou operaci, pokud by to bylo možné, např. smontovat šrouby, soustružit na čisto
- Úkoly** - souhrn pohybů k provedení dílčí pracovní činnosti, např. šroubovat, upnout
- Pohyby** - základní element operace, který samostatně nemá pracovní účinek, např. sednout, přemístit, zvednout
- Mikropohyby** - nejmenší pozorovatelná složka pracovní činnosti, např. otočení části těla, pohyb ruky

Členění časů pracovníka

Klasifikace spotřeby času vyžaduje, aby byly jednotlivé časy popsány a rozděleny. Jedině poté je možné najít prostor pro úsporu času a zefektivnit jeho využití. Spotřebu času zaměstnance je možné rozdělit podle schématu na Obr. 8. [7]



Obr. 8 - Schéma rozdělení časů pracovníka [7]

- Čas normovatelný t_n** - souhrn časů nezbytných pro splnění pracovního zadání
- Čas nenormovatelný t_z** - souhrn časů nepotřebných pro splnění pracovního zadání
- Čas práce t_1** - doba, kdy pracovník vykonává pracovní úkoly
- Čas obecně nutné přestávky t_2** - časy činností vyplývající z fyziologických potřeb pracovníka a zákonných přestávek
- Čas podmíněně nutné přestávky t_3** - čas nevyhnutelné nečinnosti pracovníka vzniklá z dané úrovně techniky a organizace práce
- Čas osobní ztráty t_D** - časové ztráty vzniklé porušením pracovní disciplíny pracovníka (např. pozdní příchod, oprava vlastních chyb z nepozornosti)

Čas technicko – organizační ztráty t_E - časové ztráty vzniklé nedostatečným technicko – organizačním uspořádáním pracoviště (např. nedostatek materiálu, poruchy stroje)

Čas vyšší moci t_F - časové ztráty vznikající nepředvídatelně a bez možnosti předejití, zejména vlivem živlů

Normovatelné časy se také rozdělují podle toho, kterým pracovním činnostem se pracovník věnuje, na časy jednotkové, dávkové a směnové. [7]

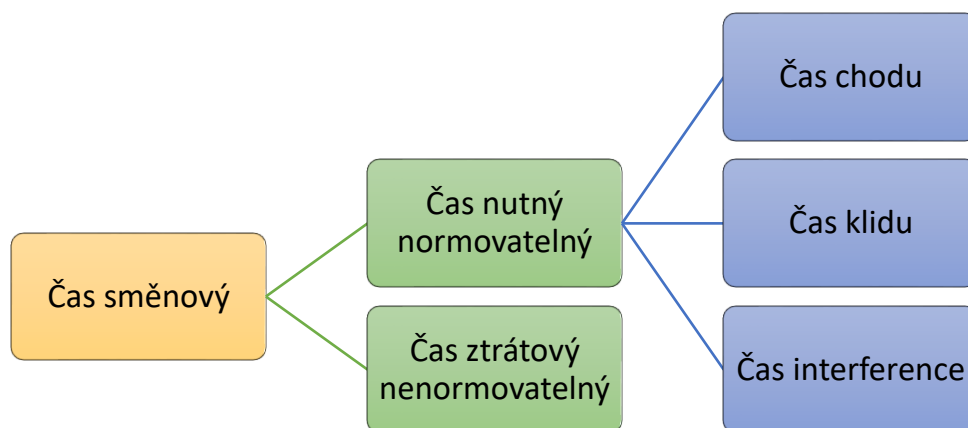
Čas jednotkový t_a - čas nutný k produkci jednoho kusu

Čas dávkový t_b - čas nutný k přípravě jedné dávky

Čas směnový t_c - čas nutný k přípravě jedné směny

Členění časů výrobních zařízení

Podobně jako u pracovníka se časy dělí i u výrobních zařízení (Obr.14). Hlavním cílem zde je, aby stroj co nejvíce pracoval a tím na sebe vydělal. Stroje sice, na rozdíl od pracovníka, nepotřebují přestávky a nechodí pozdě, ale mají jiná omezení. [5] [7]



Obr. 9 - Schéma rozdělení časů výrobního zařízení [6]

Čas chodu t_4 - doba činnosti daného výrobního zařízení

Čas klidu t_5 - doba nečinnosti výrobního zařízení, během níž pracovník uskutečňuje úkony nutné k obsluze daného zařízení a vykonatelné jen za klidu zařízení

Čas interference t_6 - je časem při obsluze několika strojů jedním pracovníkem (vícestrojová obsluha)

2.3.2 Metody měření spotřeby času

Měření spotřeby času slouží především k identifikaci míst, kde dochází k časovým ztrátám, protože pokud nejsou ztráty nalezeny, není možné je eliminovat. Metodou k nalezení ztrát je tzv. snímkování práce, kterým se získá pracovní snímek. Pracovní snímek v sobě nese informace o rozložení a velikosti časů během zkoumaného časového úseku. Snímek se získá pozorováním zkoumaného pracoviště a zápisem vykonávaných činností. [6]

Zde jsou uvedeny a popsány základní metody získávání pracovních snímků:

Snímek pracovního dne

Touto metodou, která patří mezi metody nepřetržitého bezprostředního studia spotřeby času, je možné získávat snímky pracovního dne jak pracovníka, tak výrobního zařízení. Tato metoda je poměrně univerzální a lze ji využít ke snímkování jak dělníka, tak administrativního pracovníka. Vytvoření snímku probíhá ve třech etapách.

Nejprve je nutné se adekvátně k pozorování připravit, to zahrnuje selekci pracovníka nebo pracoviště, které bude snímáno, vymezení zkoumaného časového úseku a výběr pracovníka, jehož úkolem bude pozorování provést a seznámit s ním objekt pozorování.

Ve druhé etapě probíhá samotné pozorování. Pozorovatel je přítomen v průběhu celého zkoumaného úseku a zaznamenává počátek a konec stejných druhů činností do předem připraveného pozorovacího archu.

Na závěr je nutné měření určitým způsobem vyhodnotit. Ze zaznamenaných hodnot se vypočtou podíly jednotlivých časů a každý z nich se vyhodnotí z hlediska obsahu činnosti. Dále se sečtou jednotlivé činnosti do skutečné časové bilance spotřeby času, ze které je možné vyčíst, kolik procent celkového času připadá na jednotlivé časové kategorie. [5] [6]

Snímek operace

Tato metoda se principem podobá metodě snímku pracovního dne, avšak zde se pozorování zaměřuje na konkrétní operaci, nikoliv na časový úsek. Snímek operace je většinou aplikován na operace často se opakující, kde je kladen velký důraz na eliminaci plýtvání a možnost lepší plánování výroby.

Vytvoření snímku operace je analogické ke snímkování pracovního dne. [6]

Momentové pozorování

Na rozdíl od předchozích metod je tato založena na statistice. Jejím specifikem je také to, že se jedná o měření časů bez použití časoměrných přístrojů. Momentové pozorování je založeno na náhodném pozorování sledovaných pracovišť a zaznamenávání typu činnosti, která je vykonávána v okamžiku měření. Při zajištění dostatečného počtu měření a dodržení nahodilosti měření se poté vyhodnotí, kolikrát bylo na pracovišti vykonávána daná činnost a tyto údaje se převedou do procentních hodnot. Jedná se o metodu velmi produktivní, protože je možné současně snímat několik pracovišť. [5]

2.3.3 Metody stanovení časových norem

Výběr metody stanovení norem je podřízen charakteru výroby a práce. Existují dva základní směry pro stanovení norem.

2.3.3.1 Rozborové metody

Prvním a významnějším typem jsou rozborové metody. Jak je z názvu patrné, jejich podstatou je rozbor normované pracovní činnosti na jednotlivé pracovní složky, ty se zhodnotí z hlediska efektivity, ergonomie a ekonomiky, provedou se případné úpravy v pořadí či druhu, stanoví se časy jednotlivých složek a z těchto časů se vypočítá norma času na produkci jednotky výrobku.

Metoda rozborově výpočtová

Podstata této metody tkví v časových normativech pro jednotlivé pracovní složky. Normativ je hodnota předpokládané nutné spotřeby času pracovníka na určitou složku práce, která byla zjištěna na základě systematického dlouhodobého pozorování a vynesena do tabulek.

Pracovní činnost se rozloží na jednotlivé složky, a podle normativů je jim přidělena spotřeba času, součtem jednotlivých složek a jim přiřazených normativů se získá výsledná časová norma.

Nejznámějším zástupcem této metody je **MTM** neboli metoda předem stanovených časů. Existuje pět variant, podle stupně seskupení pohybů, od nejvyužívanější MTM 1 po MTM 5. Stupeň MTM 1 normuje práci až na úroveň jednotlivých mikropohybů (pohyby paží, trupu, dolních končetin a očí), kterým s přihlédnutím k pracovním podmínkám a délkám pohybů, přiřadí z tabulek dobu trvání v jednotkách TMU (time measurement unit). 1 TMU odpovídá 0,0036 sekundy. Metoda MTM se vyznačuje vysokou kvalitou plánování. [5]

Metoda rozborově chronometrážní

Při aplikaci této metody se operace detailně rozebere a pro jednotlivé úkony se použije přímé měření času (chronometráž). Výhodou je, že tato metoda je aplikovatelná na úkony pro, které nemusejí existovat normativy, a umožňuje důkladné měření libovolné části operace. Nevýhodou je, že měření se musí provádět opakovaně, aby proběhla fáze zácviky pracovníka a zamezilo se náhodným vlivům. Naměřené výsledky se statisticky zpracují a výsledkem je norma času pro měřenou operaci nebo její složky. [6]

Metoda rozborově porovnávací

Rozborově porovnávací metoda je aplikovatelná pro konstrukčně podobné a technologicky shodné výrobky. Normy stanovené u předchozích zástupců je převedou do norem na podobný výrobek pomocí výpočtu poměrů ploch, hmotnosti, rozměrů apod. Metoda je tedy vhodná pro podniky vyrábějící typové řady výrobků.

2.3.3.2 Sumární metody

Druhým směrem jsou **sumární metody**, kde je časová norma stanovena přímo svou celkovou hodnotou, bez rozboru operace. Výsledné hodnoty jsou tedy méně přesné a normy nejsou technicky zdůvodněné. Používají se tedy zejména v podnicích s přechodnou nebo neustálenou výrobou, nebo pro stanovení prozatímních norem. Souhrnné metody nelze využít pro detailní plánování výroby. [5] [8]

Metoda sumárních empirických vzorců

Tato metoda, popsaná rovnicí (1), spočívá v přepočítání normy jednotkového času na hlavním činiteli trvání empirických vzorcem. Metoda je vhodná pro operace kusové nebo malosériové výroby. [8]

$$t_A = a * x^n \quad (1)$$

t_A - Norma jednotkového času

a - Součinitel platný pro určitý tvar, složitost, přesnost výrobku

x - Hlavní činitel ovlivňující spotřebu času (velikost, hmotnost, charakteristický rozměr výrobku apod.)

n - Mocnitel, jehož velikost je volena (pro jednoduchost je při praktických výpočtech $n = 2$).

Metoda sumárně porovnávací

Při této metodě je norma určena porovnáním obsahu a činitelů trvání práce s obdobnými výrobky, kde již norma byla určena dříve a kde je výrobek konstrukčně a technologicky příbuzný. Výchozí norma by se od určované normy neměla lišit o více než 25 % rozsahu. [8]

Metoda statistická

Stanovování norem statisticky vychází z evidence dosahované spotřeby času při výrobě z minulosti. Metodu je možné aplikovat pouze u konstrukčně a technologicky podobných výrobků. [6]

Metoda sumárního odhadu

Tato metoda spoléhá na zkušenosti a znalosti normovače v podniku. Je zatížena velkou mírou rizika a chybou, protože vychází pouze z toho, jak se operace prováděly v minulosti, a nikoliv z toho, jak by se měly provádět optimálně. Pro náročnější účely bývá označována jako nepřípustná. [6] [8]

3 Ergonomie

S příchodem nových strojů, technologií či metod práce může vznikat nepoměr mezi nároky a možnostmi pracovníků, kteří je mají obsluhovat. Toto může vést k přetížení člověka, které se projevuje pracovními úrazy nebo nemocemi z povolání. Je to právě cílem ergonomie, aby se mechanocentrický přístup nahradil přístupem antropocentrickým. Jinými slovy, aby se při vývoji techniky přihlíželo k možnostem a omezením lidského pracovníka. Úrazem se rozumí takové porušení zdraví, ke kterému došlo krátkodobým působením vnějších vlivů při plnění pracovních úkolů. Nemoc z povolání je onemocnění způsobené dlouhodobým vlivem nevhodných pracovních podmínek, a které je uvedeno v seznamu profesionálních nemocí. Oficiální definice ergonomie zní: „*Ergonomie je vědecká disciplína, optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii poznatky, principy, data a metody k optimalizaci pohody člověka a výkonnosti systému.*“ [5]

Jedním ze způsobů, jak odstranit náročné a neergonomické úkony pracovníka je zařazení kolaborativního robota, který tyto úkony vykonává místo lidského pracovníka.

3.1 Systém člověk – technika – prostředí

V ergonomii je systémový přístup k řešení problémů klíčový. Vstupem do systému je obecně nějaký úkol či potřeba a výstupem je užitná hodnota, vytvořená člověkem a technikou. Specifickým prvkem tohoto systému je člověk, jež usiluje o dosažení rovnovážného stavu mezi svým vnitřním a vnějším prostředím. Člověk je také chápán jako rozhodující limitující složka tohoto systému. Na ergonomickém systému lze řešit 4 základní typy úloh:

- Ergonomická racionalizace
- Ergonomické modelování
- Ergonomická analýza
- Projekční ergonomie

Základní kritéria, která můžeme u systému ČTP hodnotit jsou produktivita, spolehlivost, ekonomičnost, fyzická a psychická namáhavost funkce systému nebo nebezpečnost. [5]

3.2 Antropocentrismus

Vztah mezi strojem a člověkem se vyvíjí od doby, kdy nástrojem bylo ruka člověka, přes ruční a strojní nářadí, až po stroje ovládané programy, kde je člověk již pouze operátorem a nevykonává energeticky náročné činnosti. Toto ovšem neznamená, že úloha ergonomie se snižuje. Výrazně totiž stoupá vliv prostředí působící na člověka. Toto charakterizuje antropocentrický přístup, ten je založen na přizpůsobení pracovního systému člověku, jeho schopnostem, znalostem a dovednostem. V tomto systému je člověk limitujícím faktorem. [9]

Vzhledem k tomu, že díky ergonomii se nyní antropocentrický přístup k návrhu techniky a pracovišť uplatňuje, je nutné zabývat se základy fyziologie člověka.

Fyzické parametry člověka

Aby se při antropocentrickém návrhu vhodně zhodnotily parametry techniky, či pracoviště je třeba znát fyzické parametry člověka. [5]

Velikost

Při uvažování velikosti nelze pracovat pouze s průměrnou výškou nebo váhou, a proto se pracuje s percentily. Dále je třeba brát v potaz místo nasazení pracoviště, protože velikost lidí je ve světě proměnná. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v normě ISO 7250-1:2017. Pro řešení, kdy je člověk v botách nebo rukavicích se tabulkové rozměry zvyšují o příslušný přídavek.

Pohybové parametry

Jen těžko si lze představit vykonávání práce, při které se člověk nepohybuje. Je proto nutné respektovat pohyblivost jednotlivých částí lidského těla. Důležitým údajem je také výška těžiště těla od podlahy, která je cca ve výšce 58 % těla. Tento údaj slouží především k výpočtu fyzické zátěže.

Somatické parametry

K somatickým parametrům se řadí hmotnost, konstituce, dechový objem (množství vzduchu, které vdechneme jedním nádechem), vitální kapacita (maximální množství vzduchu, které po největším nadechnutí dokážeme vydechnout), povrch těla a tělesná teplota.

3.3 Technika

Technikou v tomto smyslu je myšleno vše, co člověk využívá v procesu vytváření hodnoty. V této kapitole budou popsány základní ergonomické zásady, které by měla splňovat, aby vyhovovala antropocentrickému přístupu.

3.3.1 Rozměrové řešení

Základem pro správné rozměrové řešení je znalost toho, „kdo“ a „jak“ bude se zařízením pracovat. Pro otázku „kdo“ je důležitá velikost, která byla již probrána výše. [5]

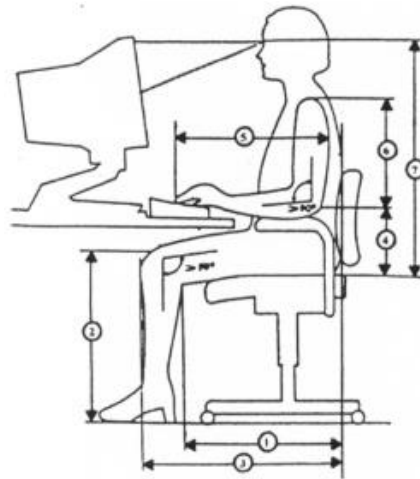
Pracovní poloha

Pro odpověď na „jak“ je třeba znát pracovní polohu, která se chápe jako poloha těla, v níž je práce vykonávána. V každé pracovní poloze musí být dosaženo stability celého těla a zabráněno přetěžování muskuloskeletálního systému. Je tedy nutné volit takové polohy, které jsou ze zdravotního hlediska vyhovující. Nejobvyklejší pracovní polohy jsou vsedě, vestoje a vkleče, zřídka je možné se setkat také s polohou vleže. Porovnání poloh vsedě a vestoje obsahuje Tab. 1.

Tab. 1 - Srovnání pracovních pozic vsedě a vestoje [1]

Výhody sedu	Výhody stoje
Menší namáhavost	Větší dosah
Přesnější pohyby	Větší síly
Odlehčení nohou	Větší bdělost
Větší soustředění	Možnost rychlého úniku
Odpočinek při mikropauzách	Snadnější střídání pracovišť

Poloha vsedě je obvyklá zejména při kancelářské práci s PC nebo při řízení automobilu. Ideální polohy vsedě (Obr. 10) je dosaženo, pokud pracovník sedí na sedadle vzpřímeně, využívá opěrky zad, šíje, hlavy a loktů tak, aby jednotlivé končetiny svíraly tupé úhly. Správné držení těla při sedu zajišťuje symetrickou orientaci trupu, krku a hlavy k rovině souměrnosti těla.



Obr. 10 - Ideální poloha vsedě [10]

Pokud charakter vykonávané práce vyžaduje trvalý sed nebo stoj, označuje se za práci v nucené poloze. Tyto polohy jsou definovány jako fyziologicky nepříznivé, protože znemožňují žádoucí změny poloh a tím způsobují nadměrnou zátěž vlivem statického namáhání svalů, která může vést k natékání chodidel nebo vzniku křečových žil. Tomuto jevu je možné předejít preventivními opatřeními, může jít o zařazení pracovních přestávek, které pracovníkovi umožní změnu polohy, nebo navržením takových pracovních postupů, které statické namáhání omezují. [10]

Pohybový prostor

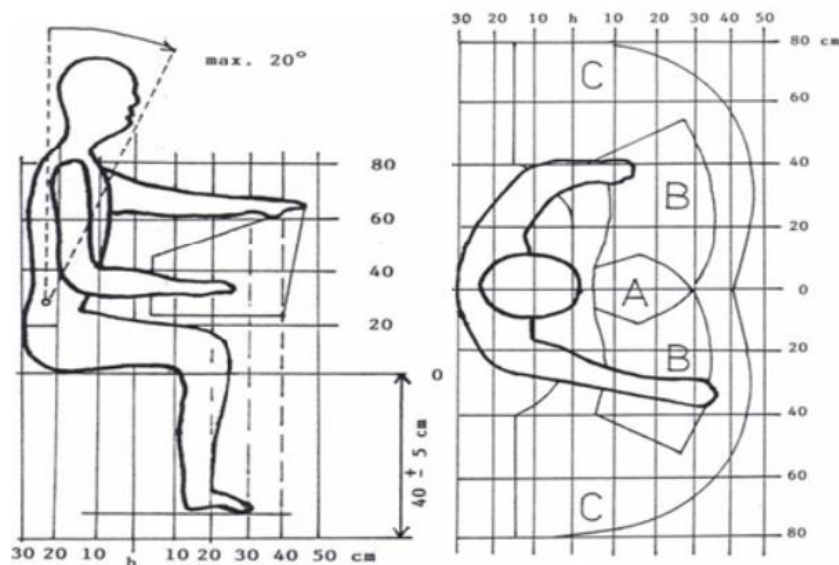
Tímto termínem se myslí prostor, ve kterém se provádí pracovní pohyby. Ty je třeba vykonávat takovým způsobem, aby nedocházelo k přetěžování svalů. Při práci oběma rukama je vhodné zajistit rovnoměrné zatížení obou končetin.

Oblasti, do kterých pracovník horními končetinami zasahuje lze rozdělit podle toho, jak často je možné využívat, aniž by došlo k přetížení (Obr. 11):

Oblast **A** – časté a přesné pohyby, zde by měla probíhat hlavní náplň práce

Oblast **B** – pohyby obou předloktí a při manipulaci s předměty a nástroji bez nutnosti natočení trupu

Oblast **C** – maximální dosah, méně časté a pomalejší pohyby s nutností natočení trupu



Obr. 11 - Znárodnění zón pohybového prostoru [10]

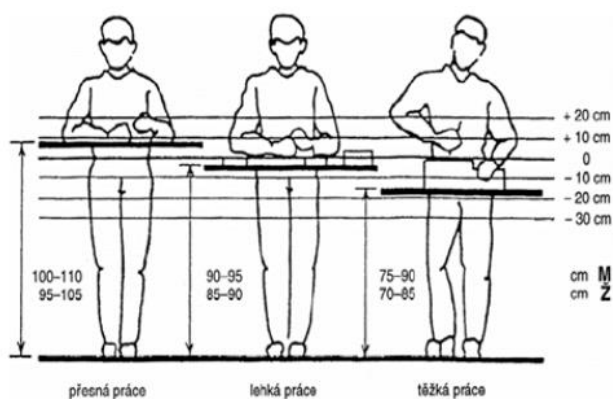
Pohybový prostor pro nohy pracovníka (pedipulchry) je na mnoha pracovištích řešen nedokonale a pracovníci jsou nuceni zaujímat z ergonomického hlediska nevhodné pracovní polohy, které vedou ke statickému namáhání těla a páteře.

Při vykonávání pracovních pohybů se musí minimalizovat riziko naražení do okolních předmětů. Riziko poranění navíc odvádí pozornost pracovníka od samotné práce. Pohyby by měly být rytmické, plynulé a prováděny po přímých trajektoriích. Pokud je na pracovišti nutná součinnost více pracovníků, je třeba pracoviště uzpůsobit tak, aby si navzájem nepřekáželi. Podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. musí být pro jednoho pracovníka v prostoru určeném pro trvalou práci volná podlahová plocha nejméně 2 m². [10]

Pracovní rovina

Jednou ze základních hodnot pohybového prostoru je pracovní rovina. Jedná se o rovinu proloženou místem, v němž jsou nejčastěji vykonávány ruční pohyby. Výška pracovního stolu obecně neodpovídá pracovní rovině. Lze ji považovat za totožnou pouze v případě manipulace s předměty menšími než 5 cm. [5] [10]

Konstrukce pracovní roviny musí především odrážet charakter vykonávané práce, používaných technologií a samotného pracovníka. Po okrajích by neměly být žádné ostré hrany a povrch by neměl odrážet světlo. Výška pracovní plochy je odvislá od výšky pracovníka, obecně by její výška měla být 5 až 10 cm pod úrovní loktů. Podle charakteru práce se optimální výška může lišit, viz Obr. 12.



Obr. 12 - Výška pracovního stolu podle charakteru práce [10]

3.3.2 Vybavení pracoviště

Na pracovišti se kromě samotného stroje obvykle nachází také nářadí a pracovní pomůcky, sedadla a různá pomocná zařízení. [10]

Nářadí a pomůcky

Nejdůležitějším parametrem z hlediska ergonomičnosti je tvar a rozměr nářadí, zejména jejich úchopových částí. Při návrhu držadel je třeba respektovat hmotnost a velikost nářadí, způsob uchopení, směr a velikost vyvíjené síly, polohu těla při práci a druh práce. Nesprávné řešení povede ke snížení produktivity, snížení kvality práce a větší námaze člověka. Správné držadlo také umožňuje správné prokrvování všem svalovým skupinám, dále přehmátnutí a disponuje dostatečně drsným povrchem, aby nástroj v rukou neprokluzoval.

Sedadla

Vzhledem k tomu, že z fyziologického hlediska je sed výhodnější než stoj, je sedadlo velice důležitým prvkem. Pro zvolení optimální sedačky je třeba brát v potaz celkovou situaci u stroje, druh vykonávané práce, pracovní polohu a pohyby, a účinky vnějších sil.

Při konfiguraci optimální sedačky se navrhuje správná pevnost stojanu, aby nedošlo k viklání, dále výška sedadla, orientačně se jedná o přibližně čtvrtinu výšky pracovníka a žádoucí je, aby byla stavitelná. Pokud jde o pojízdný nebo otočný mechanismus sedačky, ten se volí pouze v případech, kde je to vyloženě výhodné, jinak se jedná spíše o nežádoucí jev. Všechny stupně volnosti ergonomického sedadla jsou znázorněny na Obr. 13. Sedák by měl být 40 x 40 cm velký, ve výšce 43 cm, čtvercového nebo lichoběžníkového plochého tvaru s nulových či mírným sklonem. Další částí sedačky je bederní opěrka, která musí být stavitelná jak výškově,

tak v sagitální rovině. Zádová opěrka by měla ve větším úhlu navazovat na bederní opěrku. Při zvýšené poloze sedáku je nutné sedadlo doplnit o podnožku na chodidla. [10]



Obr. 13 - Stupně volnosti ergonomického sedadla [10]

3.4 Prostředí

Posledním subsystémem systému ČTP je prostředí, které chápeme jako soubor všech faktorů působících na pracovníka s technikou. Patří sem nejen fyzikální faktory (zátěž, hluk, osvětlení, ...), ale i faktory sociální, hygienické či bezpečnostní. [10]

3.4.1 Fyzická zátěž

Zátěž je možné definovat jako reakci organismu na působení vnějších podmínek vycházejících ze souboru požadavků kladených na něj. Jestliže zátěž dosáhne hodnoty narušující pohodu pracovníka, jedná se o zátěž nadměrnou. Zátěž může působit jak na fyzickou, tak na psychickou stránku organismu.

Podle míry působení lze rozlišovat čtyři stupně zátěže:

- **Optimální**, zátěž je v ideálních mezích, jde o stav pracovní pohody
- **Mírná zátěž**, člověk pociťuje narušení pohody, avšak na kvalitě práce ani trvalým pocitem únavy se to neprojevuje
- **Velká zátěž**, dochází k výrazným projevům odezvy organismu a snížení výkonu
- **Nepříjemná zátěž**, dochází k nevratnému poškození organismu, pracovní výkon je téměř nemožný

K fyzické zátěži dochází při jakékoliv činnosti, jakmile člověk zvýší svůj metabolismus nad základní hodnotu. Rozlišuje se **dynamická** a **statická** zátěž. Více nevýhodné je statické zatížení, protože nedochází k pohybu svalu čímž se sval rychleji unaví.

Hodnoty přípustné zátěže se liší podle pohlaví a věku pracovníka. Hodnoty není možné stanovit unifikovaně, protože záleží také na časovém rozložení práce, zatěžovaných partiích, pracovní poloze, podílu statické práce a dalších faktorech.

Při snaze o snížení fyzické namáhavosti je efektivním řešením využití vhodné organizace práce, mechanizace, robotizace a automatizace. Pokud k překračování limitů na pracovišti může docházet, je nutné zařadit pracovní přestávky.

Fyzickou zátěž je možné podle podílu zapojeného svalstva rozdělit na dvě skupiny:

Celková fyzická zátěž

K celkové fyzické zátěži dojde, pokud se při dynamickém namáhání při práci vykonávané velkými svalovými skupinami zatěhuje více než 50 % svalové hmoty.

Celková fyzická zátěž se posuzuje podle energetického výdeje zaměstnance a podle hodnot jeho tepové frekvence. Limitem pro celkovou zátěž je tedy hodnota energetického výdeje za určitý časový úsek a tepová frekvence v průměrné směně. Přehled přípustných hodnoty zátěže je možné nalézt v Tab. 2. [11]

Tab. 2 Přípustné hodnoty celkové fyzické zátěže [11]

Energetický výdej	Jednotky	Muži	Ženy
Směnový průměrný	MJ	6,8	4,5
Směnový přípustný	MJ	8	5,4
Roční průměrný	MJ	1600	1060
Minutový přípustný	kJ/min	34,5	23,7

Lokální svalová zátěž

K lokální svalové zátěži dojde, pokud jsou při práci končetinami zatěžovány malé svalové skupiny.

Pro zhodnocení tohoto druhu zátěže se analyzují vynakládané svalové síly, počty pohybu, pracovní polohy končetin v závislosti na podílu statické a dynamické složky při práci v průměrné osmihodinové směně, ze kterých jsou odvozeny také hygienické limity. Pro lokální svalovou zátěž se hygienický limit stanovuje jako průměrný počet pohybů ruky a předloktí v průměrné směně vztažený na průměrnou směnovou časově váženou hodnotu maximální svalové síly F_{max} .

Při převaze dynamické složky práce je limit 600 vynaložených svalových sil v rozmezí 55 až 70 % F_{max} za průměrnou osmihodinovou směnu. Pokud je vynaložení svalové síly pravidelnou součástí výkonu práce, pak je přípustným limitem 70 % F_{max} pro dynamické zatěžování a 45 % F_{max} pro statické zatěžování. Vybrané hodnoty limitů pro lokální svalovou zátěž horních končetin jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 - Vybrané hodnoty limitů pro lokální svalovou zátěž [11]

% F_{max}	Průměrný počet pohybů za průměrnou osmihodinovou směnu	Průměrný minutový počet pohybů za průměrnou osmihodinovou směnu
7	27600	58
10	19800	41
20	10400	22
30	7200	15
40	4800	10
50	2700	7

Pro pohyby drobných svalů ruky a prstů při průměrné směnové hodnotě vynakládaných svalových sil 3 % F_{max} je hygienický limit stanoven na 110 pohybů za minutu. Pokud je hodnota vynakládaných svalových sil 6 % F_{max} přípustný limit se snižuje na 90. [12]

4 Kolaborativní robotika

Velké množství lidí vnímá roboty jako stroje, jež berou lidem práci. Avšak na rozdíl od klasických průmyslových robotů kolaborativní roboty nenahrazují práci člověka, ale doplňují ji. Dnešní představa průmyslového robota je velký silný robustní stroj, který pracuje schovaný za plotem. Takový robot dokáže svůj úkol vykonávat velice produktivně, avšak má i jisté nevýhody. Programování takového robota je časově náročné a kvůli nutnosti plotu zabírá cenný výrobní prostor.

Momentálně brání širšímu rozšíření kolaborativních robotů jejich vyšší cena, která může být i několikanásobná oproti stejně výkonnému klasickému průmyslovému robotu. Stejně tak se firmy potýkají s problémem, že nedokáží najít vhodné uplatnění pro kolaborativního robota a nezdědka se stává, že kolaborativní robot je drahá a ve výsledku zbytečná investice, která nepřinese kýžený užitek.

Definice pojmů

- Kolaborativní robot - robot navržený pro přímou interakci s člověkem v kolaborativním pracovním prostoru
- Kolaborativní pracovní prostor - zabezpečená oblast, kde mohou člověk s robotem společně pracovat během automatické operace
- Kolaborativní operace - operace při které, mohou současně pracovat člověk s robotem v rámci definovaného kolaborativního pracovního prostoru [13]

4.1 Aplikace kolaborativních robotů

Roboty obecně vynikají zejména při úkonech, které jsou charakterizovány jednoduchými a repetitivními úkoly. Na druhé straně člověk je vybaven kognitivními schopnostmi a přizpůsobením se měnícím se podmínkám na pracovišti. Kombinace těchto vlastností, v případě že je práce vhodně sdílena, značně zvyšuje produktivitu a spolehlivost. Kolaborace robota a člověka umožňuje různé úrovně automatizace výrobních procesů, tak aby došlo ke zlepšení ergonomičnosti pracoviště. [13]

Roboty jsou nasazovány na manipulaci s těžšími břemeny v místech, kde je nutné, aby se v okolí robota mohli pohybovat lidští pracovníci. Firmy využívají kolaborativní roboty jako nástroj, jak oprostít lidské pracovníky od monotónní práce, kterou nikdo nechce dělat a tím zvýšit jejich produktivitu i morálku na pracovišti.

Manipulační operace

Manuální manipulační operace jsou jedny z nejvíce repetitivních prací vykonávaných pracovníky v současnosti. Jedná se o všechny operace, kde dochází k uchopení předmětu a přesunutí na jinou pozici. Může se jednat například o balení nebo zakládání do obráběcích strojů. Banální charakter práce může vést k chybám z nepozornosti a repetitivnost procesu zase k nemocem z povolání. Pro svou jednoduchost jsou tyto operace vhodné k nasazení kolaborativních robotů. Člověk se zde může starat o přísun materiálu pro robota, výměnu sortimentu nebo dokončovat proces balení.

Technologické operace

Mezi nejběžnější technologické operace patří především svaření a lepení. Jedná se o operace vyžadující vysokou přesnost a opakovatelnost vykonaných pohybů. Z těchto důvodů existuje snaha o jejich automatizaci. Kolaborativní roboty umožňují agilní naprogramování trajektorií. Pro tyto aplikace je nutné roboty vybavit speciálními svařovacími nebo lepícími efekty.

Kontrola kvality

Tyto procesy zahrnují porovnání vyrobeného dílu s CAD modelem. Aby toho mohlo být docíleno, je potřeba vytvořit digitální obraz reálného dílu. Ten se dá vytvořit pomocí nasazení skenovacího zařízení na robota. Operátor následně vytvoří trajektorie, která je nutné projet k nasazení dílu a v dalších cyklech již robot provádí skenování automaticky. [14]

4.2 Bezpečnost nasazení kolaborativních robotů

Vzhledem k tomu, že kolaborativní roboty pracují v těsné blízkosti lidí, je nutné se podrobně zabývat bezpečnostní stránkou jejich nasazení.

S příchodem technické specifikace ISO/TS 15066 se objevilo mnoho dat, výpočtů a metod pro zaručení bezpečnosti práce kolaborativního robota vedle lidského operátora. Avšak tato technická specifikace nebere v úvahu přesné nasazení robota, a proto stále výrobci robotů stále využívají třetích stran k certifikaci svých robotů. Tato certifikace poté klasifikuje robota

jako bezpečný nástroj, který může být nasazen do běžného provozu. Avšak bezpečný robot ještě nezaručuje, že je celá aplikace (operace) bezpečná. Stejně tak nemusí být ani ergonomická. Pracoviště je bezpečné pouze tehdy, pokud operátorovi nehrozí žádná zranění. Proto je i při nasazení certifikovaných robotů nutné provádět analýzu rizik.

4.2.1 Technická specifikace ISO/TS 15066

Technická specifikace ISO/TS 15066 z roku 2016 stanovuje bezpečnostní požadavky pro kolaborativní robotické systémy. Tato technická specifikace je založena na normách ISO 10218 a ISO 10218-2, které popisují nutná bezpečnostní opatření pro klasické průmyslové roboty. [15]

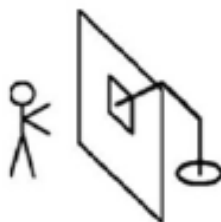
Nejedná se normu, ale pouze o technickou specifikaci. Formát technické specifikace slouží především k zachycení současného stavu problematiky, u které se očekává, že se bude v budoucnu dále vyvíjet a rozvíjet a není tedy možné ji momentálně přesně definovat. [16]

4.2.2 Způsoby kolaborace člověka s robotem

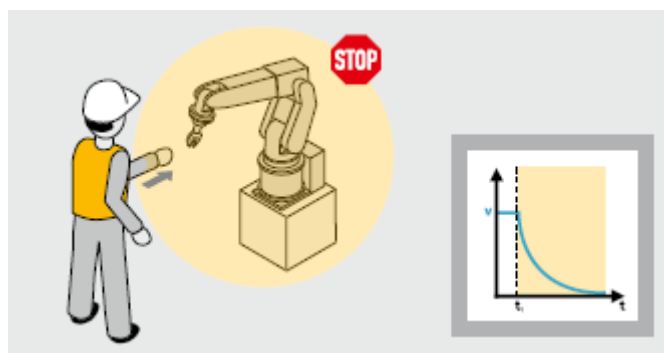
Existují čtyři způsoby, jakými lze provádět společné operace člověka s kolaborativním robotem. U každého způsobu se liší mód, ve kterém robot pracuje.

Monitorované bezpečnostní zastavení

V originále „*Safety-rated monitored stop*“. V tomto módu kolaborace dojde k zastavení robota vždy, když operátor vstoupí do pracovního prostoru a nikdy tedy nedochází k současnému pohybu robota i operátora. Po opuštění pracovního prostoru robot opět započne spoji práci automaticky. Tento způsob se využívá například při využití robota jako nakladače. Grafické znázornění monitorovaného bezpečnostního zastavení je vidět na Obr. 14 a Obr. 15. [17]



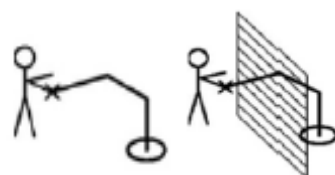
Obr. 14 - Piktogram Safety-rated monitored stop dle ISO/TS 15066 [17]



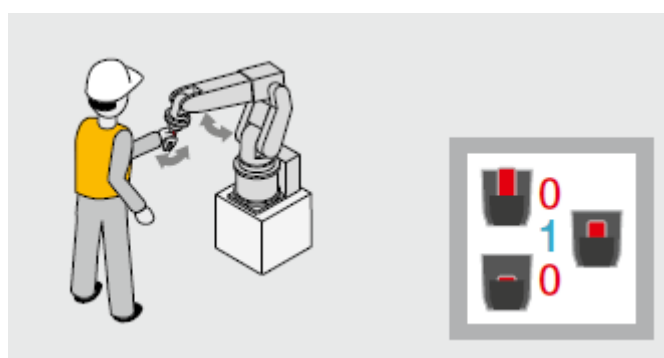
Obr. 15 - Znáznornění módu bezpečnostního zastavení [18]

Ruční navádění

V originále „*Hand guiding*“. Tento název lze zaměnit s módem programování robota, avšak nejedná se o technologii, při které je robot učen, aby poté vykonával práci samostatně. Při tomto způsobu spolupráce je robot ručně (nebo pomocí ovládacího panelu) veden po trajektoriích operátorem a je tedy fakticky využíván jako manipulátor. V dosahu operátora musí být tlačítko pro nouzové zastavení. Graficky je možné znázornit tuto metodu podle Obr. 16 a Obr. 17. [17]



Obr. 16 - Piktogramy pro Hand guiding dle ISO/TS 15066 [17]

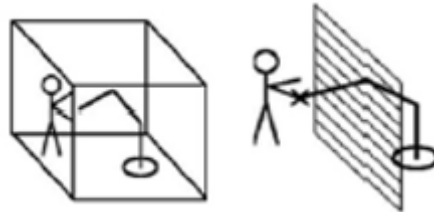


Obr. 17 - Znáznornění módu ručního navádění [18]

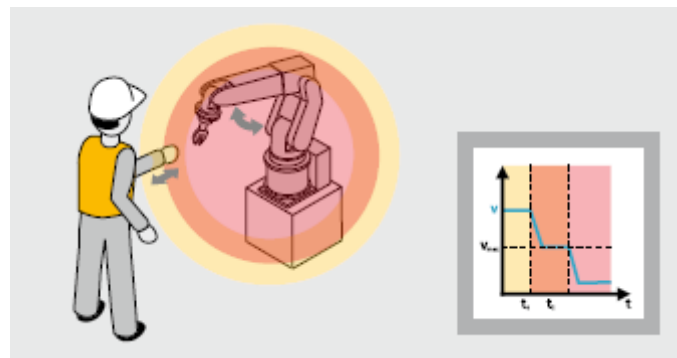
Monitorování rychlosti a vzdálenosti

V originále „*Speed and separation monitoring*“. Pro využití tohoto způsobu kolaborace je nutné pracoviště osadit optickými senzory, které vyhodnocují pozici operátora vůči robotu a definují jednotlivé bezpečnostní zóny. Na základě vyhodnocení toho, ve které zóně se operátor

nachází, se přizpůsobí rychlost robota. V případě minimální vzdálenosti mezi robotem a operátorem dochází k zastavení robota. Obnovení pohybu nebo zvyšování rychlosti probíhá automaticky. Tento mód je využíván pro operace, kde dochází k současné práci robota a operátora ve společném pracovním prostoru. Znázornění této metody je na Obr. 18 a Obr. 19. [17]



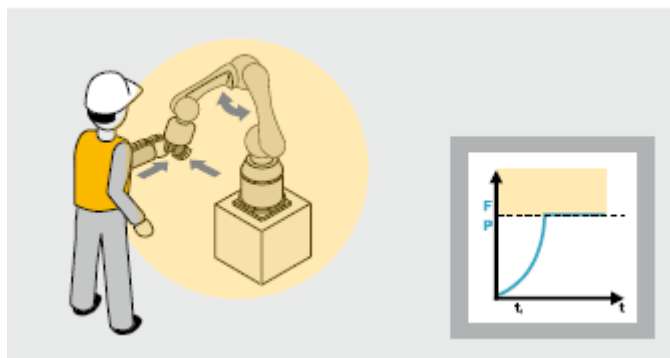
Obr. 18 - Piktogramy pro Speed and Separation Monitoring dle ISO/TS 15066 [17]



Obr. 19 - Znázornění Monitorování rychlosti a vzdálenosti [18]

Omezování výkonu a síly

V originále „Power and force limiting“. Tento mód jako jediný povoluje kolizi člověka s robotickým systémem (tedy včetně břemene). To přináší dodatečné požadavky na robota, stejně tak jako povinné bezpečnostní funkce, kdy výkon, rychlost a síla musí být monitorovány. Tato metoda je vhodná pro aplikace, kde se operátor musí často pohybovat v okolí robota na rozdílných úkolech. Schéma funkce metody se nachází na Obr. 20. [17]

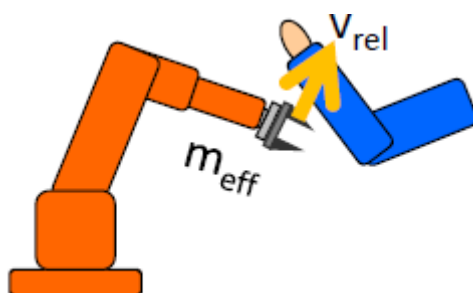


Obr. 20 - Znárodnění modu Omezování výkonu a rychlosti [18]

Existují **dva způsoby**, jakými může nastat **kolize mezi člověkem a robotickým systémem**.

Přechodný kontakt

K přechodnému neboli dynamickému kontaktu (Obr. 21), dojde, když robot udeří člověka, ale člověk má možnost ucuknout. Kontakt je velice krátký (<50 ms) a robot tedy nemá čas na reakci. Nebezpečí vzniká přenosem energie skrze kontaktní plochu. Množství přenesené energie závisí především na relativní rychlosti v_{rel} a užitečné hmotnosti robota m_{eff} . Konstrukční úpravy zmírňující dopady přechodného kontaktu jsou redukce efektivní hmotnosti a zvýšení kontaktních ploch. [17]

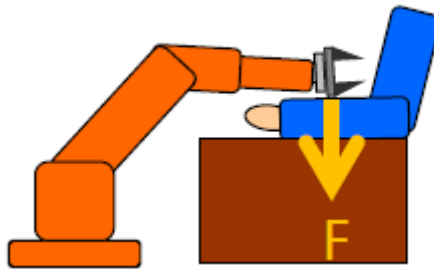


Obr. 21 - Příklad přechodného kontaktu [17]

Kvazi-statický kontakt

Kvazi-statický kontakt (Obr. 22) nastává, když dojde k sevření části těla operátora mezi robota a jiný předmět a člověk nemůže ucuknout. Doba trvání kvazi-statického kontaktu je delší než u přechodného kontaktu a robot tedy má čas na reakci. Reakce robota zahrnuje snížení síly a rychlosti. Míra závažnosti kvazi-statického kontaktu závisí na tlaku, kterému je operátor vystaven a tlak je odvislý od síly robota F a rozloze kontaktní plochy. U tohoto typu kontaktu také stačí menší síla k překročení prahu bolesti. Úprava velikosti možných kontaktních ploch

je také konstrukčním řešením, kterým lze snížit závažnost kontaktu. Řídicím opatřením může být snížení reakční doby robota a maximálního krouticího momentu v kloubech. [17]



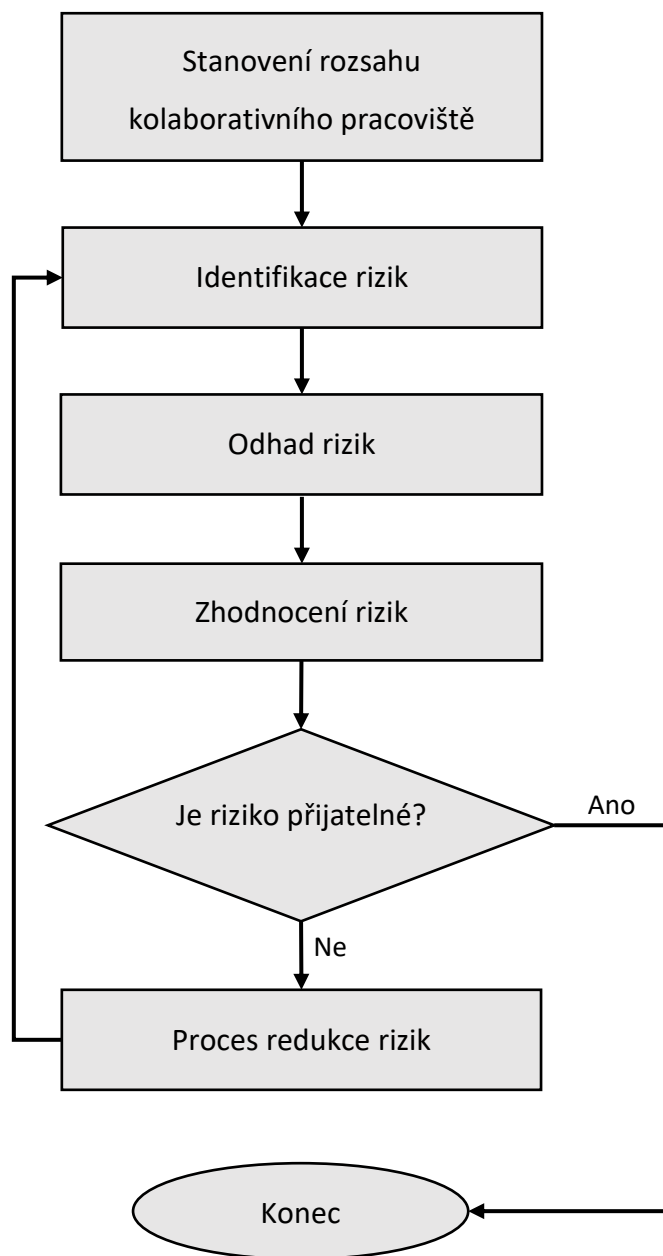
Obr. 22 - Příklad kvazi-statického kontaktu [17]

4.2.3 Analýza rizik

Když se obecně mluví o analýze rizik, má se namysli identifikace, zhodnocení a odhadnutí úrovně rizika zahrnutých v situaci, jejich porovnání s normou a stanovení přijatelné úrovně rizika. U problematiky kolaborativních robotů jde zejména o zhodnocení rizika, které hrozí operátorovi a následnou snahu toto riziko co nejvíce zmírnit, aby mohla být zaručena přijatelná míra rizika pro operátora při robotické operaci. [19]

Aby bylo vyhověno ISO normě, je nutné, aby každý stroj prošel analýzou rizik. V případě, že již došlo k bezpečnostní certifikaci stroje je proces analýzy rizik zjednodušen, protože již není třeba analyzovat některé části stroje. U kolaborativního robota se může jednat například o senzory síly a momentu.

Vzhledem k tomu, že kolaborativní roboty, již bývají certifikovány, se proces analýzy rizik koncového uživatele pro kolaborativní robotické operace týká především zhodnocení konkrétní aplikace. Celý proces provedení analýzy rizik kolaborativního pracoviště je na Obr. 23.



Obr. 23 - Struktura rozhodovacího procesu při analýze rizik kolaborativního pracoviště [19]

Stanovení rozsahu kolaborativního pracoviště

V této části se definuje kontext robotického pracoviště, jaké bude použito nářadí, kde bude robot nasazen nebo s jakými objekty bude manipulováno. Zároveň je pro tuto část nutné znát parametry samotného robota jako například jeho váhu, nosnost nebo maximální rychlost.

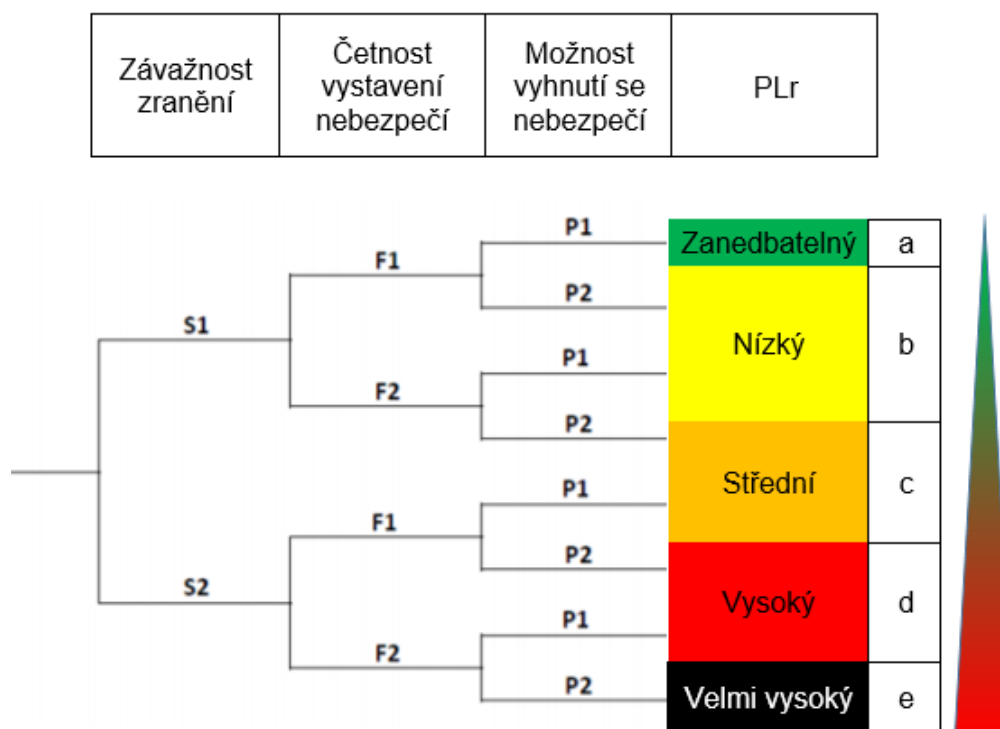
Identifikace rizik

V tomto kroku je nutné vytipovat všechny operace, které mohou být pro člověka nebezpečné, a to od chvíle, kdy je robot přivezen do závodu, až po jeho vyřazení z provozu, protože například i při instalačním procesu může dojít k úrazu. [19]

Odhad míry rizika

Poté co se vytipují všechny operace představující riziko, je třeba je ohodnotit. Existuje více variant hodnocení rizika. Dále bude uveden příklad dle normy ISO 13849-1.

Podle této normy se míra rizika hodnotí třemi parametry: závažnost zranění (*severity – S*), četnost vystavení nebezpečí (*frequency – F*) a možnost vyhnout se nebezpečí (*possibility of avoidance – P*). Na základě vyhodnocení těchto parametrů se určí hodnota PLr (*Performance level required*), která kvantifikuje, nakolik musí být bezpečnostní zařízení schopna snižovat riziko. Proces zjištění PLr se dá ilustrovat na rozhodovacím stromu, kde nahoře je nebezpečí nejnižší a dole nejvyšší. [20]



Obr. 24 - Rozhodovací strom předpokládané míry rizika [19]

Z Obr. 24 je patrné, že každý parametr má 2 možnosti, v tomto případě se jedná o následující:

Závažnost zranění:

- S1 - Drobné zranění
- S2 - Vážné zranění

Četnost vystavení nebezpečí:

- F1 - Zřídka až k méně často a / nebo doba vystavení je krátká
- F2 - Časté až nepřetržité a / nebo doba vystavení je dlouhá

Možnost vyhnout se nebezpečí:

- P1 - Možné za určitých podmínek
- P2 - Stěží možné

Některé rozhodovací stromy připouští i více než 2 varianty vyhodnocení jednotlivých parametrů.

Vyhodnocení rizika

Kromě PLr, existuje ještě hodnota PL (*Performance level*), která udává, jaký je výkon bezpečnostních opatření, která budou dohlížet na rozebíranou aplikaci. Z toho vyplývá, že hodnota PL musí být vždy vyšší nebo rovna PLr. To zajišťuje, že na operaci vždy bude dohlížet zařízení, které je schopno zvládnout přítomnou míru nebezpečí.

Podle hodnoty PL lze také odhadnout pravděpodobnost nebezpečného selhání na hodinu (Tab. 4). [20]

Tab. 4 - Korelace mezi PL a pravděpodobností nebezpečného selhání na hodinu [20]

PL	Pravděpodobnost nebezpečného selhání na hodinu [1/h]
a	0.001 % to 0.01 %
b	0.0003 % to 0.001 %
c	0.0001 % to 0.0003 %
d	0.00001 % to 0.0001 %
e	0.000001 % to 0.00001 %

Rozhodnutí o přijatelnosti rizika

V tomto kroku se rozhoduje o tom, zda je, nebo není, přítomné riziko přijatelné. Pokud byla míra rizika vyhodnocena jako zanedbatelná nebo nízká, nebývá obvykle žádných dalších úprav. Pokud je ovšem míra rizika vyšší, je třeba se zamyslet nad dodatečnými úpravami. Po jakékoliv úpravě je nutné celý proces analýzy rizik opakovat, protože například může snížit riziko při běžném provozu, ale naopak při údržbových operacích se riziko zvýší.

Proces redukce rizika

Jak bylo uvedeno v předchozím bodě, musí být zaručeno, že eliminace, snížení nebo vyhnutí se určitému riziku nezvyšuje míru rizika pro jiné pracovníky nebo operace. Celý tento proces se dá popsat jako iterativní, kdy je potřeba se zamyslet nad veškerými aspekty provozu. [19]

4.3 ABB IRB 14000 – YuMi

Tato kapitola se detailněji věnuje popisu kolaborativního robota ABB IRB 14000 (Obr. 25), protože právě tento model je použit na navrhovaném pracovišti kolaborativní montáže.

YuMi je prvním kolaborativním robotem určeným od začátku vývoje ke kolaboraci. Hlavní motivací společnosti ABB při vývoji bylo nabídnout flexibilní a agilní výrobní nástroj firmám zabývajícím především výrobou drobných elektrotechnických součástek. O tomto faktu svědčí i maximální užitečné zatížení 0,5 kg na každé paži. Další významné parametry robota jsou zobrazeny v Tab. 5. Vzhled robota záměrně připomíná člověka, aby pozitivně působil na spolupracovníky. Obě paže, s kostrou z lehké hořčíkové slitiny, jsou pokryty pružným plastovým pláštěm zabaleným do měkkého polstrování. Při detekci neočekávané kolize nebo přetížení dokáže zastavit pohyb v řádu milisekund. [21]

Kolaborace tohoto robota je zajištěna pomocí senzorů v každém kloubu. Sensory sledují, jestli nedojde k nutnosti vyvolat neočekávanou sílu pro pohyb. V případě, že ano – vyhodnotí to jako kolizi a dojde k okamžitému zastavení pohybu.



Obr. 25 – ABB IRB 14000 YuMi [21]

Tab. 5 - Parametry ABB IRB 14000 YuMi

Počet ovladatelných os	2x7
Nosnost	0,5 kg na rameno
Dosah	500 mm
Opakovatelnost pozice	0,02 mm
Maximální rychlost TCP¹	1 500 mm/s
Váha	38 kg

4.3.1 Programování ABB IRB 14000

Principiálně se YuMi programuje stejně jako ostatní roboty ABB. Rozdíl je však v tom, že YuMi funguje jako dva roboty v jednom, toho je docíleno použitím dvou ramen. Obě ramena sdílí řídicí systém IRC 5 a FlexPendant. Volit mezi ovládáním a programováním jednotlivých ramen je možné právě ve FlexPendantu nebo v RobotStudio, pokud je robot v online režimu.

FlexPendant je ruční terminál vybavený dotykovým displejem a joystickem určený k ovládání robotů ABB. Díky těmto prvkům se vhodný k obsluze robota, přestavování robotických ramen a k úpravě programů. Omezená velikost displeje a absence myši ztěžují orientaci v programech, a proto je vhodnější základ programu napsat na počítači.

Programování YuMiho je možné v offline režimu s využitím proprietárního software firmy ABB RobotStudio. Dalším způsobem je využití ručního terminálu FlexPendant (FP). Nejefektivnější je kombinace obou přístupů, kdy offline se navrhne logika a programová struktura a online se naprogramují trajektorie, odebírací body a naměří grippery a báze robota. Programováním offline se v tomto kontextu rozumí programování bez propojení se skutečnou řídicí jednotkou. Naopak při programování online je potřeba připojení k řídicí jednotce.

¹ TCP – tool center point, bod na přírubě koncové osy, kam je přimontován efektor robota

5 Koncepční návrh pracoviště

Motivací pro tuto montážní aplikaci, bylo demonstrovat možnosti kolaborativní robotiky. Pracoviště kolaborativní montáže může při správné realizace přinést do podniku zvýšení produktivity práce, které bude dosaženo převedením určitých montážních úkonů na robota a zlepšením pracovní pohody zaměstnanců. Dalšími způsoby, jakými může kolaborativní robot zvýšit produktivitu na pracovišti jsou stejné jako u klasických průmyslových robotů. Jedná se tedy o odstranění lidského faktoru chybovosti a odstranění nutnosti přestávek, které vyžaduje lidský pracovník. Specifickým přínosem kolaborativní robotiky oproti klasickým průmyslovým robotům je také úspora zastavěného prostoru na výrobní ploše. Ta plyne z toho, že kolaborativní robot nemusí být oplocen z důvodu bezpečnosti práce.

Častou bariérou hromadnějšího rozšíření kolaborativní roboty v průmyslu je v současné době nenalezení vhodného místa v pracovním prostoru, kam kolaborativního robota nasadit. Dochází poté k tomu, že pracovníky robot spíše zdržuje. Pokud pracovníci nebudou mít pocit, že jim jakékoliv zařízení pomáhá, nikdy jej nebudou vnímat pozitivně a nedojde k přijetí technologie. Pokud se má tedy kolaborativní robotika rozšířit je nutné demonstrovat její aplikace na modelových případech, kde lze vidět její přínos pro pracovní proces.

V této kapitole bude rozebrána volba předmětu montáže, společně s následnou analýzou této součásti. Na základě této analýzy je možné navrhnout varianty toho, jak může být pracoviště uzpůsobeno a jaká další zařízení a přípravky budou využity. Na závěr je potřeba tyto varianty zhodnotit a vybrat tu nevhodnější.

5.1 Volba předmětu montáže

Zásadním faktorem, ovlivňujícím prakticky celý návrh pracoviště je předmět montáže. V této kapitole je uveden proces výběru tohoto předmětu.

Prvním kritériem, které musí předmět splňovat, je relativně nízká hmotnost. Maximální zatížení, se kterým je IRB 14000 schopen manipulovat je 500 g, od těchto 500 gramů je ovšem nutné odečíst zařízení Smart Gripper ovládající prsty gripperu, které váží 215 g, to nechává pouze 285 g pro váhu součásti a prstů gripperu. Předmět montáže má vliv téměř na všechny aspekty práce. Počínaje přípravky, které jsou přímo podřízeny tvaru předmětu a počtu součástí, ze kterých se výrobek skládá. Další aspekt, který je závislý na předmětu montáže jsou gripperu.

Zde je hlavní otázka, jestli bude možné využít stávající prsty, kterými disponuje Smart Gripper dodávaný od ABB nebo bude potřeba navrhnout speciální. Důvody, proč by stávající nemusely vyhovovat, mohou být například nevhodný tvar prstů nebo nutnost uchopovat součásti z vnitřní strany. V neposlední řadě je nutné předmětu montáže podřídit celý montážní proces. Zde je rozhodujícím faktorem počet součástí, ze kterých se předmět montáže bude skládat. Čím více součástí, tím náročnější bude montážní proces realizovat a také čím větší nároky na přesnost montáže, tím těžší bude navrhnout správný montážní proces. Vzhledem k opakovatelnosti robota, která činí $\pm 0,05$ (bez zatížení) není možné vybrat takový předmět, který by vyžadoval tak vysokou přesnost zakládání dílů robotem. Pro demonstraci pracoviště bude potřeba zakoupit 20 kusů předmětu, aby mohl být předveden plynulý chod pracoviště, cena předmětu by tedy neměla být příliš vysoká.

Varianty předmětu montáže

První možností, která by vyhovovala daným omezením, je **rozdvójka do zásuvky** od společnosti ABB (Obr. 26). Tento předmět má hmotnost pouze 100 g, svým konstrukčním provedením nevyžaduje příliš přesné zakládání součástí a skládá se ze sedmi součástí, z nichž 4 jsou šrouby. Cena jedné takové zásuvky činí 60 Kč [22].



Obr. 26 - Zásuvka ABB [22]

Další možností je **konferenční propiska ČVUT**. (Obr. 27) Skládá se z 10 součástí a má taktéž nízkou hmotnost. Propiska je také vhodným předmětem z hlediska aplikace, při prezentaci montáže tohoto dílů je možné okamžitě a jednoduše ověřit správnost montáže na funkci propisky. U některých poddajných součástí může být problém při montáži, kvůli nárokům na přesnost (založení tuhy a nasazení pružinky na tuhu). Cena takové propisky nepřesahuje 10 Kč za kus.



Obr. 27 - Konferenční propiska ČVUT

Variantou pro předmět montáže je také **posuvné měřítko** (Obr. 28). Tato volba je ovšem nevhodná z více důvodů. Prvním je jeho cena, jedno posuvné měřítko stojí 672 Kč [23]. Druhým důvodem, který vyplývá z funkce posuvného měřítka, jako metrologického zařízení, jsou vysoké nároky na přesnost, kterým IRB 14 000 není schopen vyhovět.



Obr. 28 - Posuvné měřítko [23]

Tab. 6 - Porovnání kritérií při volbě předmětu montáže



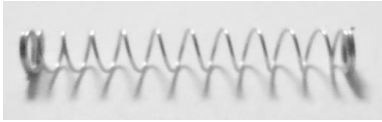

Varianta \ Kritérium	Cena	Počet součástí	Hmotnost	Nároky na přesnost
Zásuvka ABB	60 Kč	7	150 g	Nízké
Konferenční propiska	10 Kč	10	20 g	Střední
Posuvné měřítko	672 Kč	15	200 g	Vysoké






Po zvážení všech kritérií v Tab. 6, kde zelenou barvou jsou znázorněny buňky s vyhovujícím kritériem a červeně s nevyhovujícím kritériem, byla zvolena za **předmět montáže konferenční propiska**. Důležitá je zejména cena a nízká hmotnost. Výhodou je také možnost snadného ověření správné funkce.

5.2 Analýza předmětu montáže

Předmětem montáže pro aplikaci navrhovanou v této práci je konferenční propiska ČVUT. Propiska se skládá z 10 různých dílů (Tab. 7), které jsou všechny zastoupeny po jednom kusu. Způsob, kterým probíhá montáž, není zcela jednoznačný a může být tedy dosaženo stejného výsledku různými způsoby. Lišit se může zejména pořadí smontování dílů se šroubovými spoji. Každopádně musí být do těla propisky postupně vložena správným směrem napřed přítlačná trubice a přítlačné zařízení. Poté se sešroubuje dohromady tělo propisky se šroubením a je na něj nasazen kroužek a úchop. Na náplň se nasadí pružinka a společně se také vsunou do montážního celku. Pružinka se stlačí při našroubování špičky, a tím je umožněna montáž závěrečného dílu, tlačítka.

Tab. 7 - Přehled dílů propisky

Náhled	Název
	Tělo propisky
	Šroubení
	Náplň
	Pružinka
	Tlačítko

	Úchop
	Špička
	Kroužek
	Přítlačná trubice
	Přítlačné zařízení

5.3 Návrhy variant pracoviště

Vzhledem k současnému stavu, kdy kolaborativní roboty nejsou příliš rozšířeny, ještě není úplně zřejmé, který ze směrů jejich využití je optimální. Proto se pokusím o navržení koncepcí, které se budou vzájemně lišit a budou využívat různá technická řešení z pohledu způsobu přísunu materiálu a úkonů, kterou vykonává kolaborativní robot. Pro všechny uvedené varianty také platí, že v případě jejich selekce jako výsledného řešení, je potřeba je dále důkladně rozpracovat.

Všechny varianty uvažují uvedené dostupné vybavení:

- Kolaborativní robot ABB IRB 14000 YuMi
- Otočný stůl
- Výškově stavitelný stůl

Primárním kritériem pro volbu řešení, je způsob, kterým je využit kolaborativní robot. Toto kritérium lze vyjádřit pomocí podílu práce vykonané robotem a pracovníkem. Mnohá současná řešení na pracovištích kolaborativní montáže nevhodným návrhem potlačují jejich smysl a pracovníky spíše obtěžuje, místo aby jim ulehčoval práci. Dalším kritériem je, jako u všeho, cena použitých zařízení. Zde není nutné uvažovat cenu zařízení použitých ve všech variantách, kterými jsou robot, otočný stůl a stoly na kterých je postaven robot a stavitelný stůl. Zahrnuta je tedy cena ostatního vybavení, kterým by bylo pracoviště vybaveno. V neposlední řadě je také potřeba vzít v úvahu ergonomičnost pracoviště, posuzovat ergonomičnost je možné podle počtu úkonů vyžadujících zvýšenou přesnost pohybu, počtu pohybů rukou a jejich vzdálenosti. Ergonomičnost je hodnocena pouze z pohledu pracovníka montáže a nebere ohled na ergonomičnost práce skladníka nebo jiných pracovníků. Kvantifikaci ergonomičnosti umožní analýza RULA (*Rapid Upper Limb Assessment – Rychlé vyhodnocení horních končetin*). Tato analýza hodnotí muskuloskeletální zátěž horních končetin a krku. Celá analýza v podstatě spočívá v zaznamenávání parametrů polohy do formuláře, počítání skóre a výsledného zhodnocení přijatelnosti práce pomocí čtyřech kategorií [24]:

- Kategorie první (skóre 1–2) – přijatelná poloha, pokud však není vykonávaná po delší dobu;
- Kategorie druhá (skóre 3–4) – je nutné provést další hodnocení, požadavky na změny;
- Kategorie třetí (skóre 5–6) – urgentní požadavky na změny;
- Kategorie čtvrtá (skóre 7) – okamžité zastavení práce.

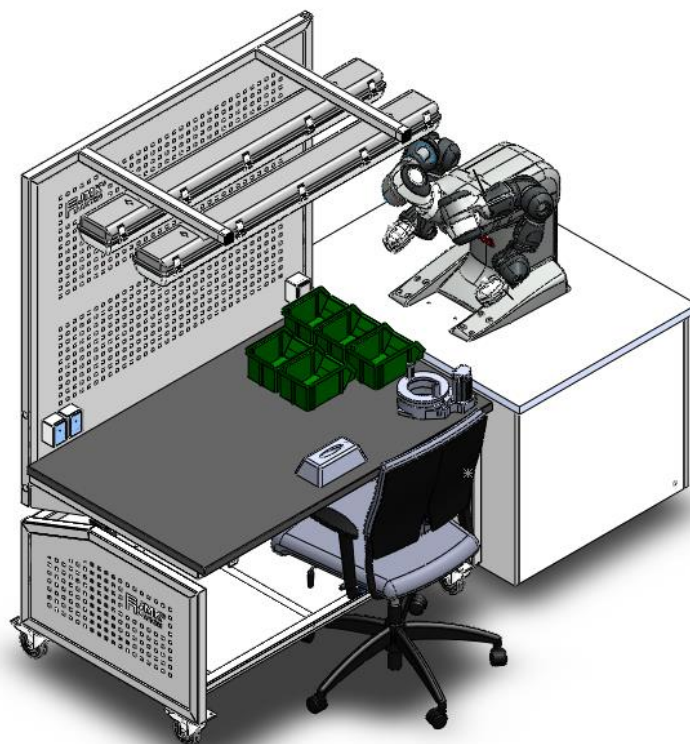
Analýzu RULA vyhodnocuje program Process Simulate Human (PS Human). V tomto programu byla vymodelována každá varianta pracoviště a následně vyhodnocen určitý pohyb, který by mohl z ergonomického hlediska být rizikový. Posledním kritériem je náročnost na realizaci, tu není možné posoudit v této fázi exaktně a budu tedy vycházet z odhadu. Odhad je založen především na složitosti programu, který by aplikaci musel být vytvořen a počtu použitých přípravků.

Shrnutí kritérií:

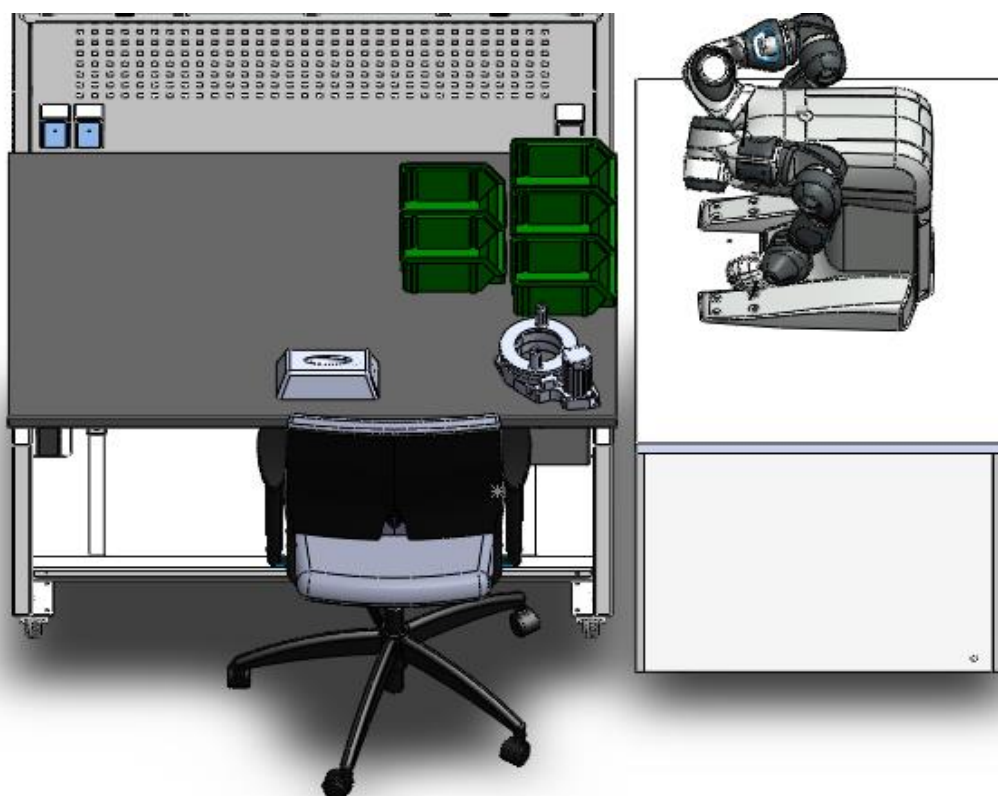
1. Využití kolaborace
2. Cena
3. Ergonomičnost
4. Náročnost realizace

5.3.1 Varianta A

První možností, jak pracoviště uzpůsobit je s využitím technologie binpickingu (Obr. 29 a Obr. 30). Binpicking je technologie, který využívá počítačového zpracování obrazu k určení odběrových bodů pro robota a tím umožňuje vybírání neuspořádaně rozložených součástí z nádoby. YuMi by pomocí zpracování obrazu z kamer nalézal jednotlivé součásti z krabiček a zakládal by je na otočný stůl. Postupů jak získat 3D reprezentaci scény existuje více, může se použít stereovize, kombinaci laserové projekce a kamery nebo skenování strukturovaného světla. Využití kamery integrované do robota by, kvůli jejich nízkému výkonu, nebylo možné. Otočný stůl by součásti následně dopravil blíže pracovníkovi, který by je snadno odebíral a na základě pracovního postupu, a s využitím přípravku, by prováděl montáž propisky.



Obr. 29 - Koncepce pracoviště – Varianta A 1



Obr. 30 - Koncepce pracoviště – Varianta A 2

Výhodou tohoto řešení je snadný přísun materiálu, kdy pracovník skladu pouze vysype součásti do krabiček a nemusí tedy součásti nijak připravovat do definovaných pozic. Nevýhodou je nutnost přerušení práce při výměně prázdných krabiček za plné. Pořizovací náklady na systému, které jsou schopny vytvářet trojrozměrný obraz scény jsou vysoké a vytvoření programu na binpicking, který by navíc musel být vytvořen pro každou jednotlivou součást, je náročné. Další nevýhodou je, že pracovník je zatížen montážními úkony, které jsou náročné na přesnost koordinace oka a ruky.

Zhodnocení kritérií:

1. Využití kolaborace

Robot je zodpovědný za veškeré vybírání materiálu z krabiček a zakládání do přípravku, avšak samotnou montáž provádí celou pracovník.

2. Cena

Z hlediska ceny je toto provedení příliš zatěžující. Jedná se především o pořizovací náklady skenovacího systému. Přesné číslo je těžké uvést, protože existuje více variant a společnosti neuvádí ceny veřejně. Náklady je možné odhadnout na 30 000 Kč. Jako

dodatečné příslušenství vyžaduje plastové krabičky a přípravek pro pracovníka. Plastové krabičky by bylo možné objednat například od firmy Prima regály, cena jednoho kusu činí 52 Kč [25]. Při uvažování dvou různých součástí v každé krabičce by bylo potřeba zakoupit pět krabiček. Cena přípravku vytištěného pomocí aditivní technologie je závislá především na množství a typu použitého materiálu. Pro běžné plastové materiály ABS nebo PLA lze počítat s cenou 1 Kč/g. Vzhledem k tomu, že přípravy by byly tištěny na univerzitní tiskárně, není potřeba uvažovat cenu práce. Váha uvažovaného přípravku se dá odhadnout na 250 gramů.

- Skenovací systém - 30 000 Kč
- 5 ks krabiček - 260 Kč
- Přípravek - 250 Kč
- Celkově - 30 510 Kč

3. Ergonomičnost

Z hlediska ergonomičnosti, je v této variantě výhodou fakt, že pracovník není zatížen vybíráním drobného materiálu ze zásobníku. Na druhou stranu je zodpovědný za celou montáž. Také musí odebírat každou součást z otočného stolu zvlášť. Finální skóre pohybu pro odebrání součásti z otočného stolu (Obr. 31) dle RULA analýzy je 3.



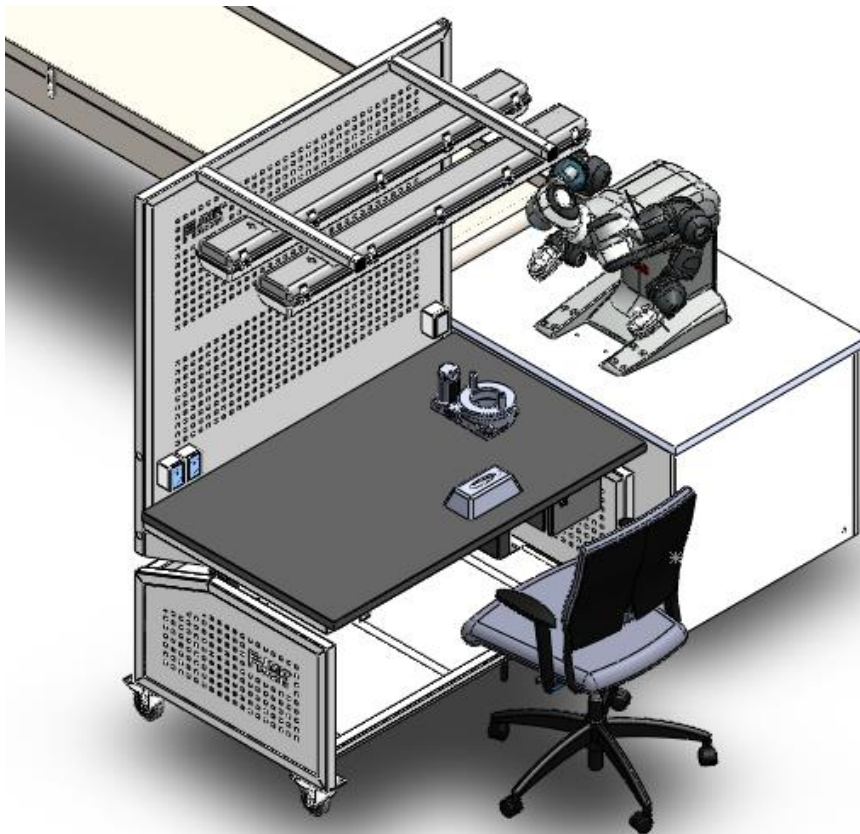
Obr. 31 - Ergonomická studie - Varianta A

4. Náročnost na realizaci

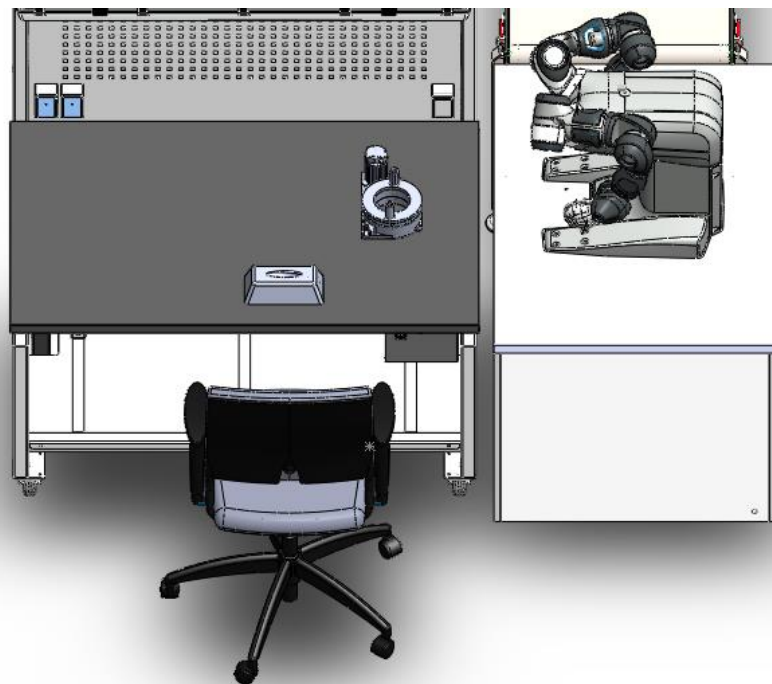
Realizace programu, který by byl schopen vybírat náhodně rozložené součásti v krabici je velice komplikovaná. Zbytek programu by byl již pouze zakládání do otočného stolu, což by nebylo příliš náročné.

5.3.2 Varianta B

Tato varianta uvažuje přísun materiálu po dopravníku (Obr. 32 a Obr. 33). Dopravník by byl vybaven čidlem přítomnosti dílu na konci, aby nedocházelo k přepadávání. Ovládání dopravníku by měl na starosti robot, který by využíval signálu z čidla dopravníku. U této varianty musí být robot vybaven systémem Integrated vision a odebírá jednotlivé součásti z dopravníku na otočný stůl, který je opět zodpovědný za přiblížení materiálu do ergonomičtější pozice pro odebrání pracovníkem. Úkony pracovníka při tomto řešení jsou téměř identické jako u předchozí varianty. Rozdílem je fakt, že někdy bude potřeba vybrat díl ze zásobníku odložených dílů místo otočného stolu.



Obr. 32 - Koncepce pracoviště – varianta B 1



Obr. 33 - Koncepce pracoviště – varianta B 2

Předností této varianty je teoreticky nepřetržitý průběh montáže a absence nutnosti vychystávání dílů do definovaných pozic. Avšak může dojít k případu, kdy dopravník neposílá vhodné součásti, z toho důvodu musí být přítomen určitý zásobník pro odkládání dílů, které nejsou v určitou chvíli zapotřebí ve prospěch toho, aby mohl být posunut dopravník a byly přisunuty potřebné díly. Kamerový program je v této variantě velmi zjednodušen tím, že součásti se nepřekrývají a kamera hledá ležící objekty pouze v definované rovině. Negativem je velký zastavěný prostor dopravníkem a nutnost zajištění kontinuálního přísunu materiálu na dopravník a opět nutnost pracovníka vykonávat úkony náročné na přesnost koordinace oka a ruky.

Zhodnocení kritérií:

1. Využití kolaborace

Podíl práce robota je podobný jako u varianty A. Místo vybírání dílů z krabiček je odebírá z dopravníku, což ovšem pro kolaboraci nic nemění. Kolaboraci avšak negativně ovlivňuje nutnost občasného čekání pro vhodný díl k pokračování montáže.

2. Cena

Hlavním cenovým břemenem této varianty je pásový dopravník. Není zapotřebí nijak rozměrný pásový dopravník, ale přesto cena takového zařízení je v porovnání

s ostatním vybavením vysoká. Pásový dopravník šířka 70 mm, nosnost 10 kg/m, délka 1 m z e-shopu firmy Ebal stojí 24 029 Kč [26]. Dále je potřeba shodný přípravek jako u varianty A a jedna krabička jako zásobník přebytečných dílů.

- Pásový dopravník - 24 029 Kč
- Přípravek - 250 Kč
- 1 ks krabička - 52 Kč
- Celkově - 24 331 Kč

3. Ergonomičnost

Ergonomické hledisko této varianty je shodné s variantou A, s tím rozdílem, že čas od času musí pracovník sáhnout do zásobníku pro součást, což přidává pohyby navíc a činí pracovníkovi práci mírně náročnější. Pro analýzu byl zvolen pohyb, kdy pracovník odebírá montážní celek z otočného stolu (Obr. 34). Varianta B byla v PS Human ohodnocena skórem 4.



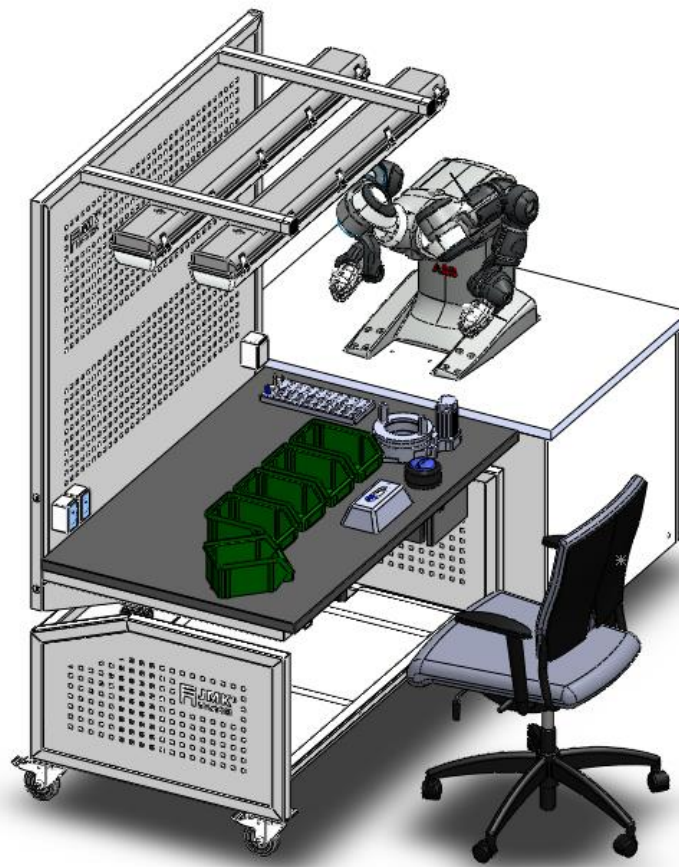
Obr. 34 - Ergonomická studie - Varianta B

4. Náročnost na realizaci

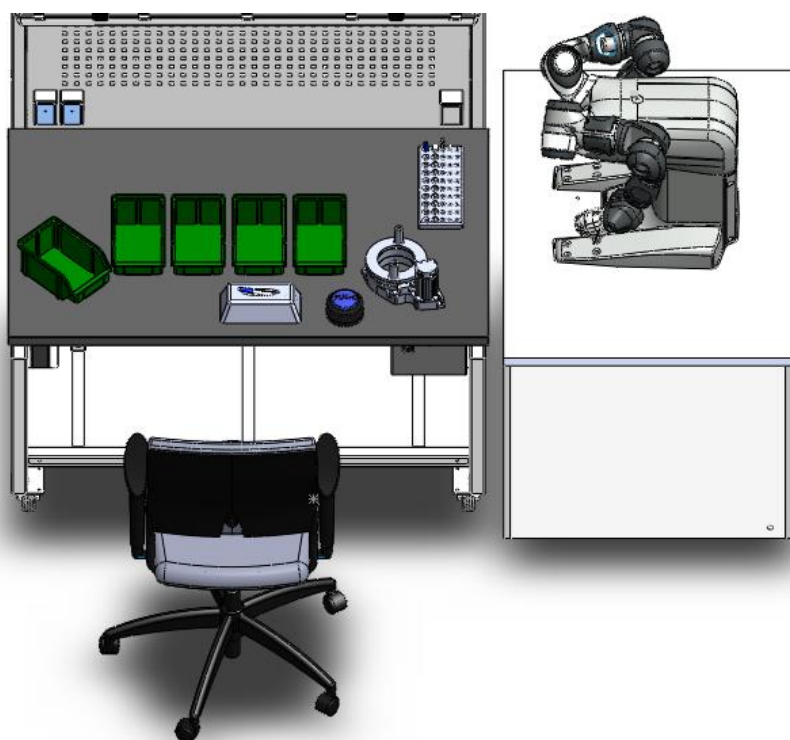
Z pohledu náročnosti: není tak obtížné ve vývojovém prostředí ABB na tvorbu programů pro integrated vision vytvořit algoritmus pro vyhledávání dílů na dopravníku, které jsou rozloženy pouze v jedné rovině.

5.3.3 Varianta C

Tato možnost (Obr. 35 a Obr. 36) zachovává plně manuální přísun materiálu, kdy pracovník skladu pouze vychystá do menších krabiček jednotlivé součásti a montážní pracovník s nimi musí manipulovat sám. Jednoduší montážní úkony nejprve provede pracovník sám a poté nedokončený montážní celek společně s dalšími součástmi založí do otočného stolu. V průběhu otáčení stolu robot provede definované úkony a následně pracovník ze stolu odebere montážní celek, provede finální operace a může jej odložit.



Obr. 35 - Koncepte pracoviště - varianta C 1



Obr. 36 - Koncepce pracoviště - varianta C 2

Zde má pracovník skladu opět velmi ulehčenou práci, avšak operátor musí vybírat jednotlivé součásti, což obzvláště u těch drobnějších může být náročné. Hlavní předností tohoto řešení je odklon úkonů náročných na koncentraci robotovi.

Zhodnocení kritérií:

1. Využití kolaborace

V této variantě se robot a pracovník téměř rovným dílem podílí na montáži propisky. Nejmonotónnější část montáže, vkládání dílů do těla propisky, je odkloněna na robota a pracovník má na starost šroubování a založení poddajných dílů.

2. Cena

Varianta C potřebuje, kromě základního vybavení, navíc přípravky pro robota a pracovníka a 5 krabiček na materiál, jenž do montážního celku vkládá pracovník. Přípravek na materiál, ze kterého jej bude odebírat robot je uvažován větší, aby bylo možné do něj umístit větší množství materiálu.

- Přípravek pro robota - 350 Kč
- Přípravek - 250 Kč
- 5 ks krabiček - 260 Kč

- Celkově - 860 Kč

3. Ergonomičnost

Pracovník při tomto uspořádání pracoviště nemusí vykonávat příliš mnoho pohybů, protože velkou část dílů robot odebírá sám. Nepříjemným úkonem je vyjímání materiálu ze vzdálené krabičky (Obr. 37). Tento pohyb vybrán jako rizikový a analýza mu přidělila skóre 4. Oproti pohybu ve variantě B bude ovšem vykonáván častěji.



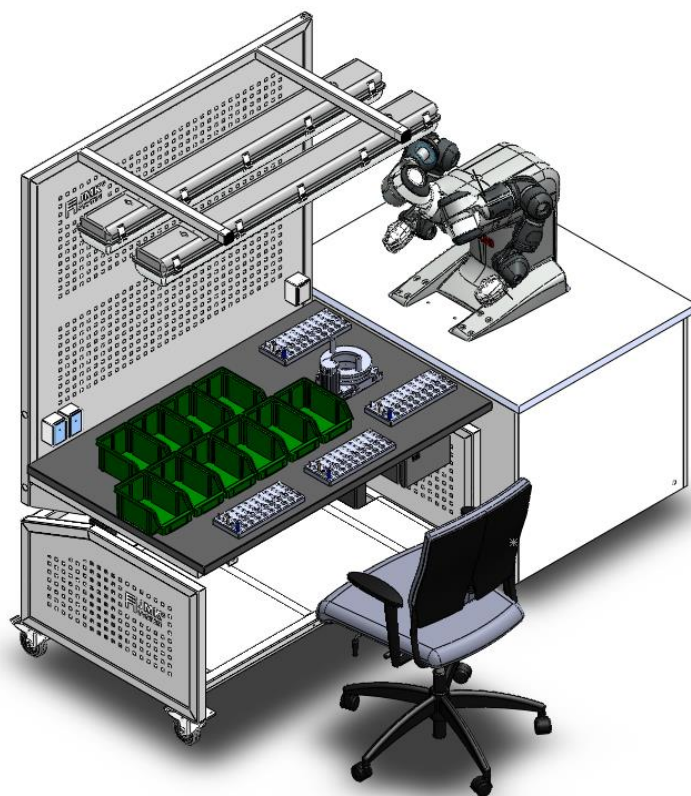
Obr. 37 - Ergonomická studie - Varianta C

4. Náročnost na realizace

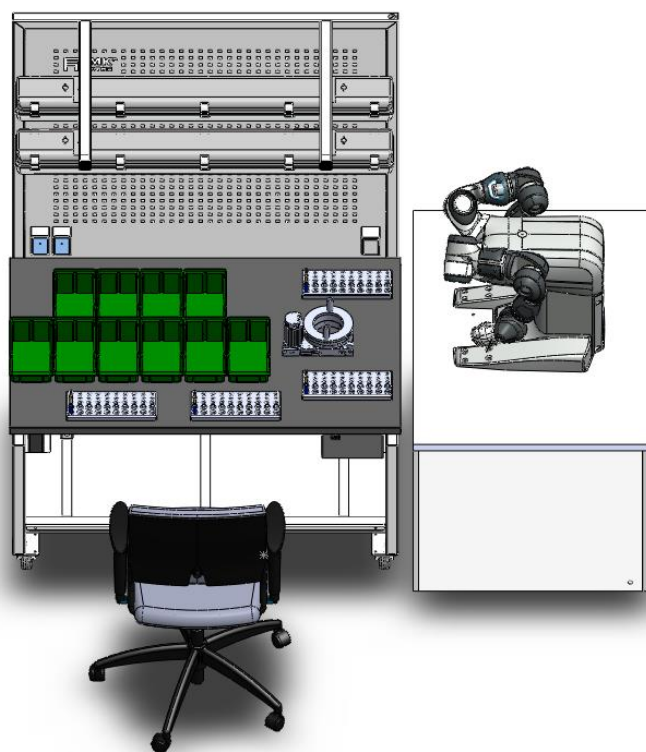
Oproti předchozím návrhům se zde musí navrhnout jeden přípravek navíc a důkladněji rozmyslet sled montážních operací. Z hlediska programování zde není žádná obzvlášť náročná část na realizaci.

5.3.4 Varianta D

Tato varianta (Obr. 38 a Obr. 39) počítá s přesunutím veškerých montážních úkonů na robota. Pracovník by pouze zakládal jednotlivé součásti do přípravků, ze kterých by si je robot odebíral. Pro tuto variantu by bylo vhodné, mít pro každý přípravek také jeho duplikát, aby mohla proběhnout po odebrání všech součástí z přípravku okamžitá výměna na naplněný.



Obr. 38 – Koncepte pracoviště – varianta D 1



Obr. 39 - Koncepte pracoviště – varianta D 2

Toto řešení by mělo, při správné realizaci robotického programu, absolutně eliminovat možnost chybné montáže. Důležitým faktorem je také to, jak zvládne pracovník doplňovat materiál, protože při nevhodném umístění součástí robot nemůže pokračovat v práci.

Zhodnocení kritérií:

1. Využití kolaborace

Tato varianta využívá pracovníka pouze k doplňování materiálu a nijak se nepodílí na montážním procesu, který je celý v režii robota. Toto může být problematické zejména při sešroubovávání dílů k sobě.

2. Cena

Cenové náklady se zde projeví na dvou sadách přípravků, které jsou potřeba, aby mohla probíhat montáž plynule a na nákladech na krabičky. Protože vychystávání dílů a zakládání do přípravku činí veškerou práci zaměstnance, je vhodné, aby na každou součást měl zvláštní krabičku.

- 4x přípravek pro robota - 1 400 Kč
- 10 ks krabiček - 520 Kč
- Celkově - 1 720 Kč

3. Ergonomičnost

Vychystávání a zakládání dílů vyžaduje velké množství pohybů a zároveň klade zvýšené nároky na koncentraci při zakládání, kde je možné vložit díly na špatná místa, čímž by byl narušen proces montáže. Dále je potřeba brát v potaz psychologickou stránku věci, protože se jedná o činnosti velice repetitivně, které mohou negativně ovlivnit pohodu pracovníka. Kritický pohyb této varianty je vybírání dílů ze vzdálenějších krabiček (Obr. 40), nachází se již poměrně daleko, a navíc pracovníkovi překáží první řada krabiček. I z těchto důvodů analýza ohodnotila variantu D skórem 6.



Obr. 40 - Ergonomická studie - Varianta D

4. Náročnost realizace

Opět je potřeba navrhnout dva různé přípravky. V programové části je obtížné správně naprogramovat trajektorie tak, aby správně proběhla i montáž poddajných dílů, jako je pružinka a náplň. Tyto díly nedrží pevně na svém místě a jsou velice náchylné k tomu, aby došlo k chybě montážního procesu.

5.4 Výběr varianty

Pro výběr optimální varianty jsem se rozhodl využít vícekriteriální analýzu. Pro každé kritérium byla každé varianta přidělena hodnota od 1 do 4, kde 4 je nejlepší. Následně jsou hodnoty, dosažené každou variantou sečteny. Na základě tohoto výpočtu vyplyne optimální varianta.

Tab. 8 - Vícekriteriální analýza volby optimální varianty

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D	Σ
Využití kolaborace	2	3	4	1	10
Cena	1	2	4	3	10
Ergonomičnost	4	3	2	1	10
Náročnost realizace	1	2	4	3	10
Σ_k	7	10	14	8	40
Pořadí	4.	2.	1.	3.	

Z výsledku vícekriteriální analýzy (Tab. 8) je patrné, že k dalšímu rozpracování a realizaci je vhodná Varianta C. Oproti ostatním variantám se projevuje především vhodnou kombinací lidské a strojní práce a nejlépe využívá kolaborativní robotiky. Současně nepředstavuje riziko přílišné náročnosti na realizaci. Cenově taktéž není příliš nákladná. Ze všech kritérií zaostává varianta C pouze v ergonomičnosti, bude tedy podstatné správně navrhnout sekvence pohybů pracovníka a rozložení zařízení na pracovní ploše.

6 Návrh pracoviště dle vybrané varianty

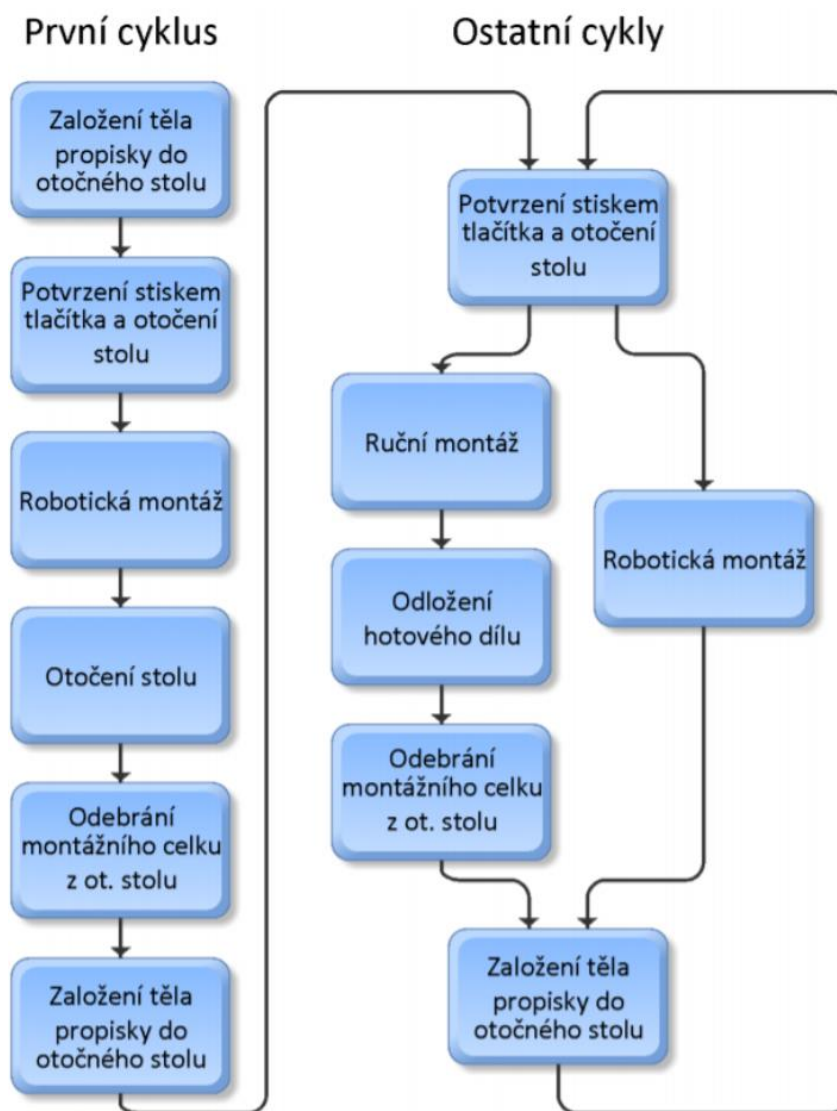
V rámci rozpracování varianty zvolené v předchozí kapitole je nutné navrhnout použité přípravky, určit polohu jednotlivých zařízení na pracovním stole a vytvořit počítavé simulace práce robota i člověka. Dále také navržení prstů gripperu.

6.1 Postup montážního procesu

Charakter tohoto montážního procesu lze popsat jako interní, jelikož probíhá v na výrobní ploše výrobce, stacionární, předmět montáže je po celou dobu montáže na pracovišti s robotem, soustředěnou montáž. Z hlediska použitého zařízení se dá montáž označit za strojně – ruční, protože se jedná o spolupráci člověka, vykonávajícího ruční montáž, a robota, tedy montážního stroje. Celý montážní postup je možné rozdělit na dvě fáze podle toho kdo, respektive co, vykonává montážní úkony. Pro první fázi, které je prováděna pracovníkem, byla vytvořeny simulace v PS Human, ze které pochází snímky procesu. Pro druhou, robotickou, fázi byla simulace vytvořena v ABB RobotStudios. Schéma celého procesu je zobrazeno na Obr. 41.

Průběh první fáze se liší při prvním cyklu a všech ostatních. V prvním cyklu pracovník pouze založí tělo propisky do otočného stolu a stiskne potvrzovací tlačítko. V dalších cyklech pracovník nejprve odebere montážní celek z přípravku na otočném stole. Následně zašroubuje šroubení a odloží montážní celek do přípravku před sebou. Dalším krokem je založení prázdného těla propisky do otočného stolu a stisknutí potvrzovacího tlačítka. Následujícími kroky jsou založení náplně, pružinky a špičky, kterou je potřeba i zašroubovat. Posledním úkonem, před kterým je potřeba propisku vyjmout z přípravku, je spojení montážního celku s tlačítkem a odložení hotové propisky.

Druhou fázi realizuje robot, který vloží do těla propisky, nacházejícího se na otočném stole, postupně přítlačnou trubici, přítlačné zařízení, šroubení, kroužek a úchop. Vzhledem k tomu, že rotace šesté osy u použitého modelu robota není nekonečná, je nutné zašroubování šroubových spojů přesunout na člověka.



Obr. 41 - Schéma montážního procesu

6.1.1 První fáze montáže

V této sekci je popsán průběh první fáze montáže tak, jak probíhá ve všech cyklech kromě prvního. V prvním cyklu je seznam úkonů pouze zkrácen o operace týkající se vyjmutí montážního celku z přípravku na otočném stole a zbytek montáže vyjmutého celku.

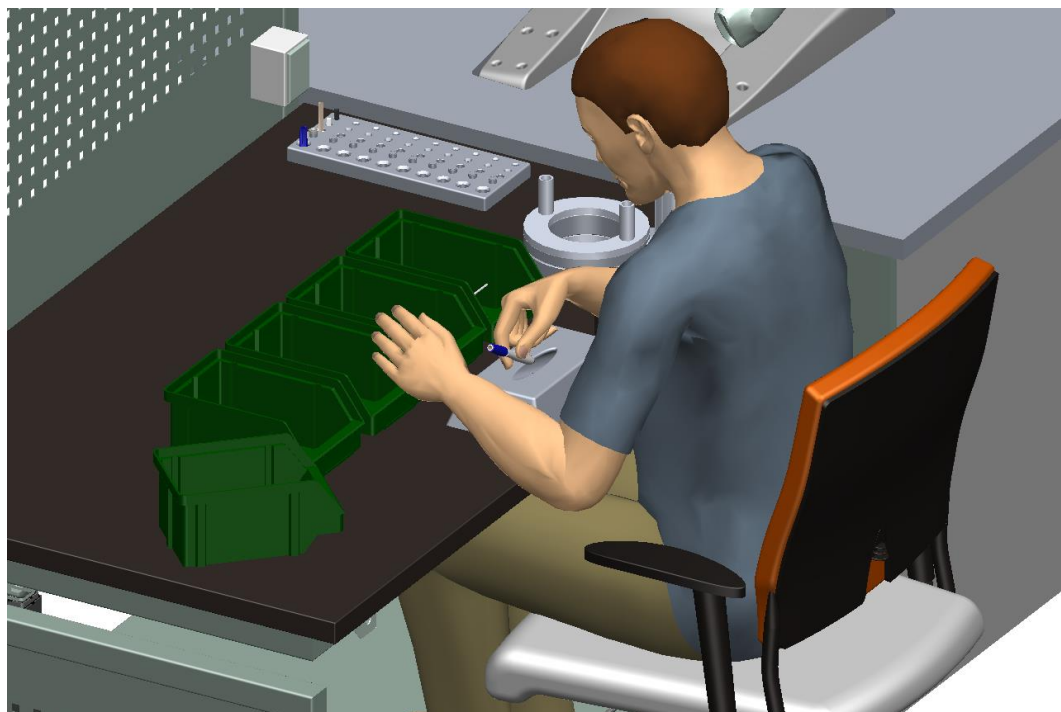
V první fázi provádí montážní úkony pracovník. Tato fáze je započata momentem, ve kterém otočný stůl doručí tělo propisky se založenými, avšak nezašroubovanými díly.

První pracovníkův úkol je sáhnout pro propisku a uchopit ji (Obr. 42).



Obr. 42 - Uchopení těla propisky

Po puštění pracovník ještě sešroubuje šroubení do těla propisky. Následně pracovník přemístí propisku k přípravku, založí do něj rozpracovanou propisku a pustí ji (Obr. 43). Po puštění pracovník ještě sešroubuje šroubení do těla propisky.



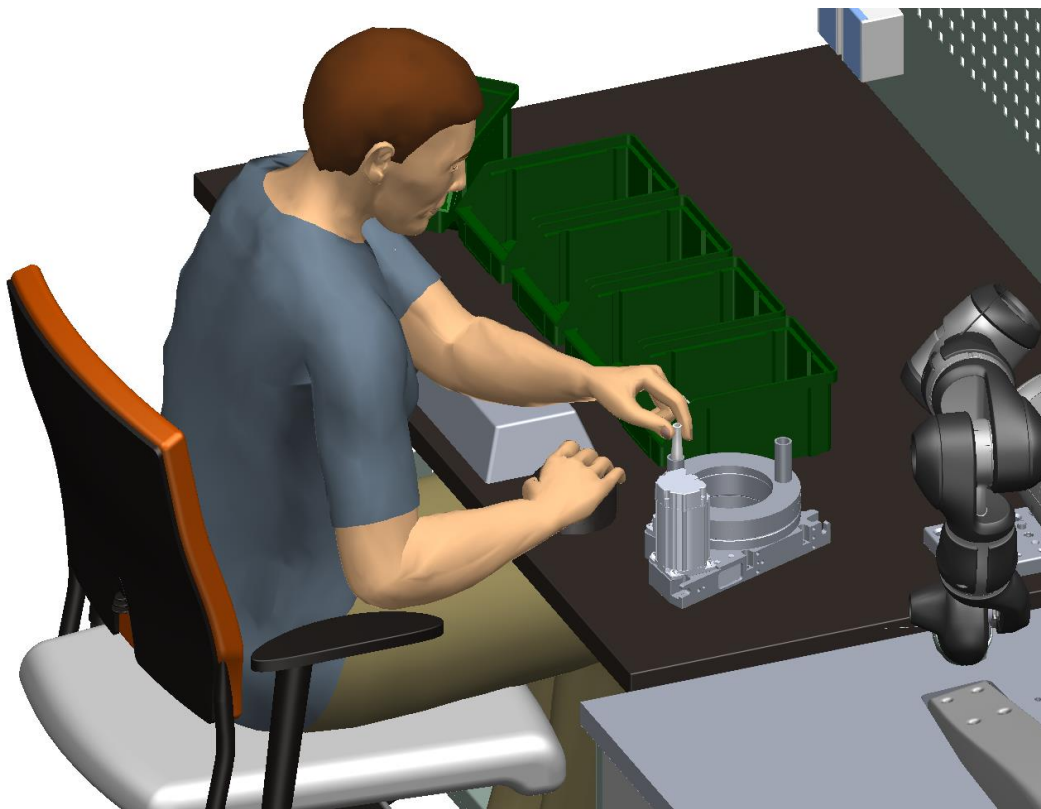
Obr. 43 - Založení propisky do přípravku

Než přistoupí k dokončení propisky, která byla právě vyňata, odebere pracovník nové tělo propisky (Obr. 44) a založí jej do otočného stolu.



Obr. 44 - Odebrání nového těla propisky

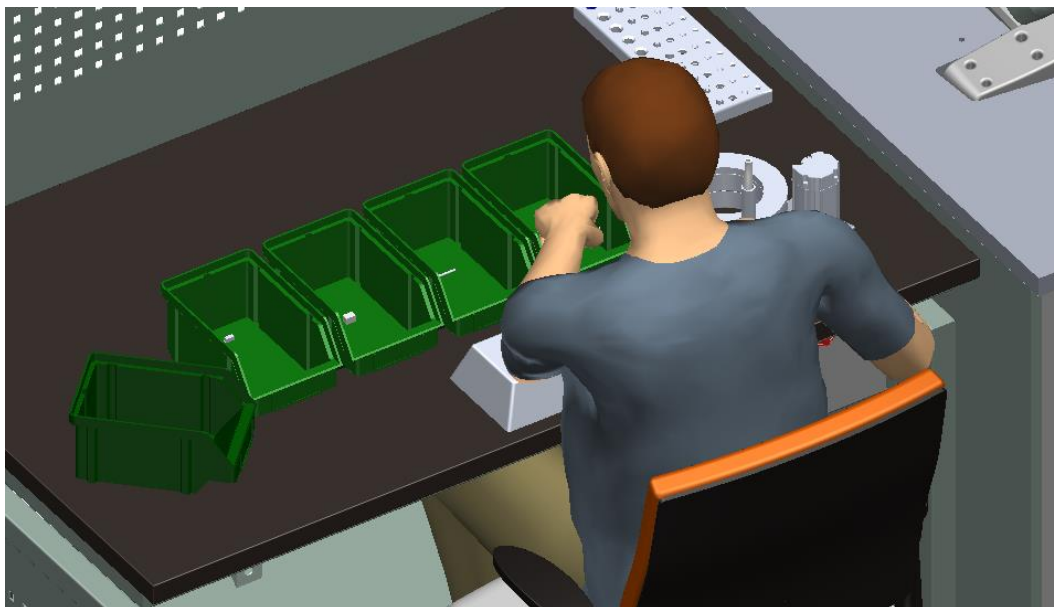
Takto odebrané tělo propisky pracovník založí do přípravku na otočném stole (Obr. 45).



Obr. 45 - Vložení těla propisky do přípravku na otočném stole

Po založení tohoto dílu pracovník tento úkon potvrdí stisknutím potvrzovacího tlačítka, čímž potvrdí systému, že může dojít k rotaci otočného stolu.

Dalším úkolem pracovníka je do montážního celku vložit zbývající díly z krabiček na stole. Jako první přesune ruku nad krabičku s náplněmi, jednu uchopí (Obr. 46), přesune ji k sobě, umístí ji do propisky a pustí (Obr. 47).



Obr. 46 - Uchopení náplně propisky



Obr. 47 - Vložení náplně do propisky

Když je vložena náplň, jsou postupně stejným způsobem vloženy pružinka a špička propisky. Ve chvíli, co jsou všechny tyto díly založeny, je potřeba špičku zašroubovat a tím tyto díly zajistit před vypadnutím z montážního celku.

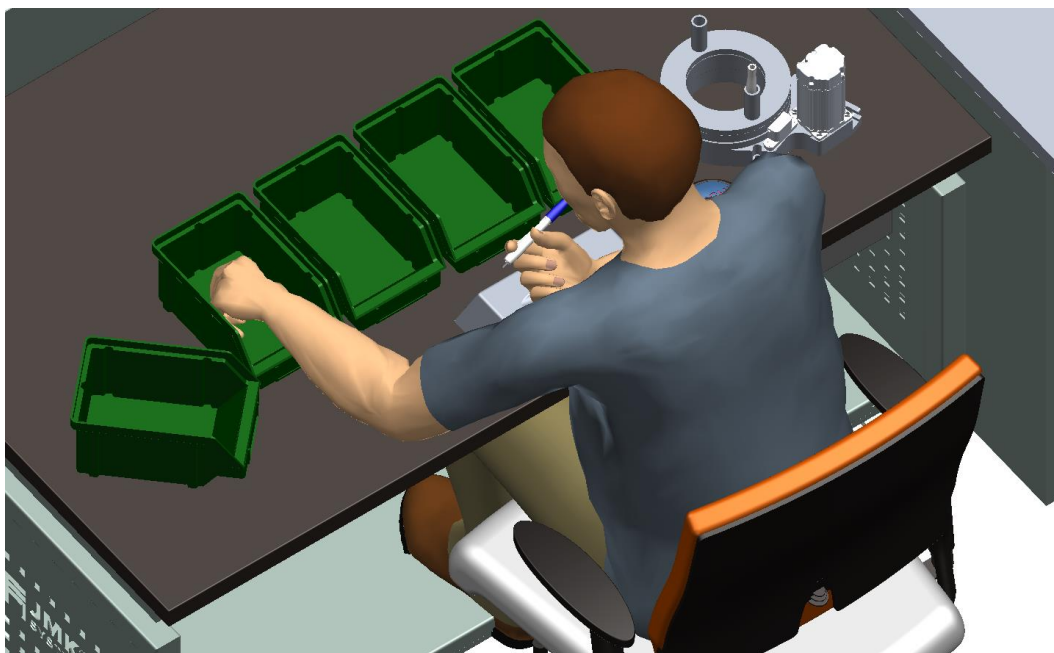
Před zkompletováním propisky tlačítkem je potřeba montážní celek nejprve vyjmout z přípravku. Pracovník jej uchopí a přesune mimo přípravek (Obr. 48).



Obr. 48 - Vyjmutí montážního celku z přípravku

Zatímco pravou rukou stále nedokončenou propisku drží nad stolem, levou rukou odebere tlačítko (Obr. 49) a umístí jej na konec propisky, kde se nachází přítlačná trubice. Po umístění, ji za udržování mírného přitlaku, zašroubuje čímž dokončí montáž propisky.

Po dokončení montáže pracovník odloží hotovou propisku a celý cyklus je možné opakovat od první fáze.

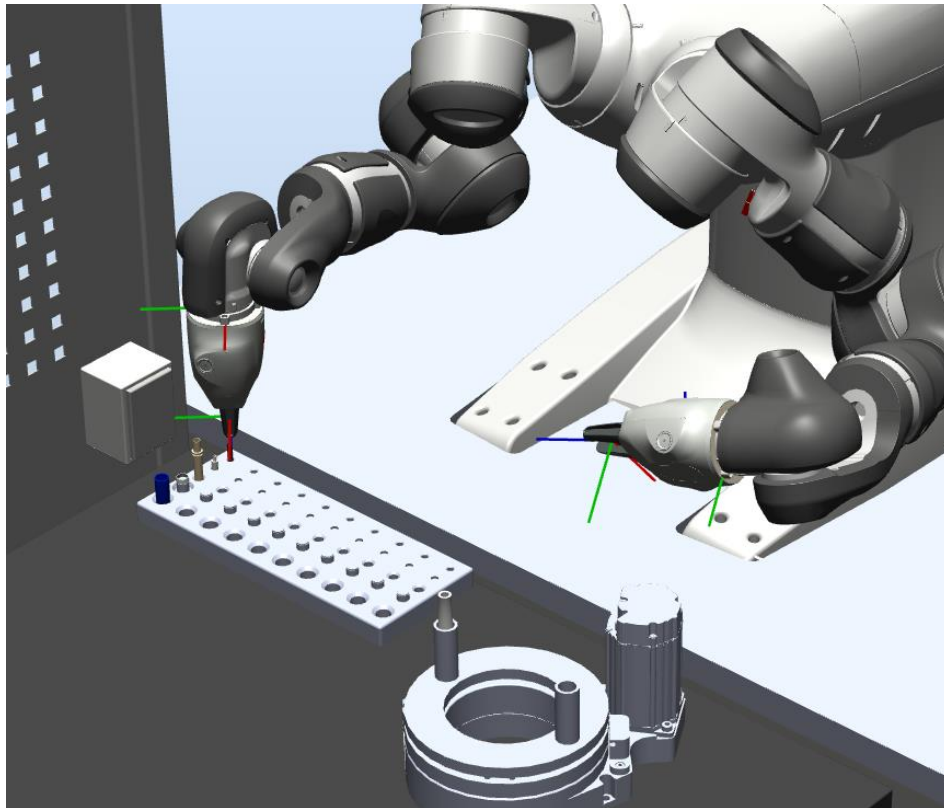


Obr. 49 - Odebrání tlačítka propisky

6.1.2 Druhá fáze montáže

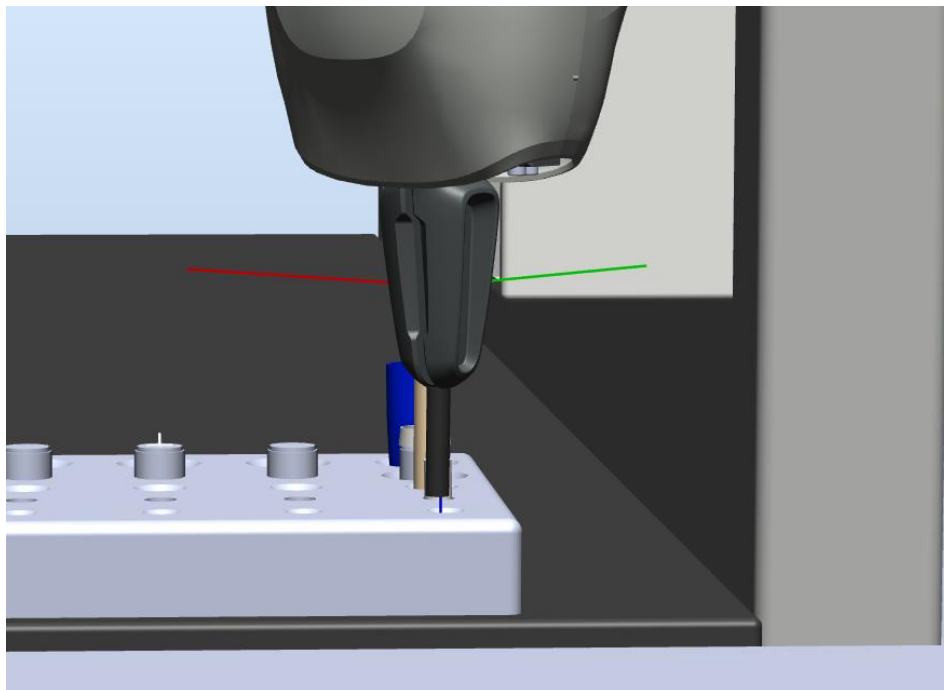
Druhá fáze, kde je za veškeré operace zodpovědný robot, se začne odehrávat ve chvíli, kdy otočný stůl dopraví prázdné tělo propisky na definované místo, kde do něj robot může zakládat jednotlivé součásti. Robot do montážního celku vkládá celkem 5 různých součástí. Postupně se jedná o přítlačnou trubici, přítlačné zařízení, šroubení, kroužek a držák. Proces odebrání dílu z přípravku a založení do propisky je pro všechny součásti, s malou výjimkou u kroužku shodný.

Jako první robot vždy přesune nelineární trajektorii (*příkaz MoveJ*) svůj pravý efektor kolmo nad přípravek s vychystanými díly (Obr. 50). V této pozici je efektor otočen o 45° vůči směru rozložení dílů, aby nedošlo ke kolizi se sousedními díly.



Obr. 50 - Pozice před odebráním dílu

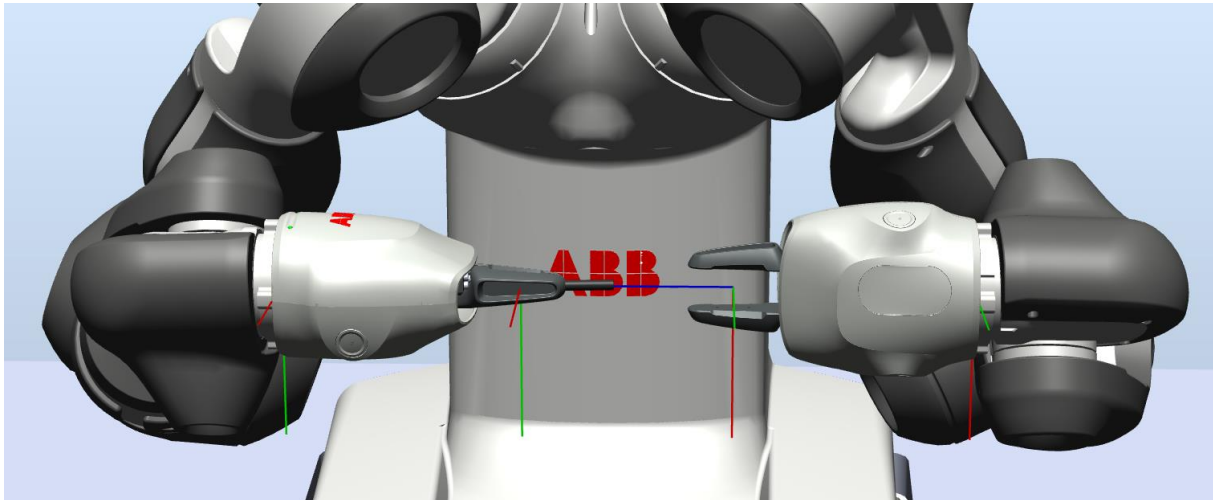
Dále lineárním (příkaz MoveL) pohybem se sníženou rychlostí jej sníží do odebírací pozice a stiskne prsty (Obr. 51).



Obr. 51 - Odebrání dílu

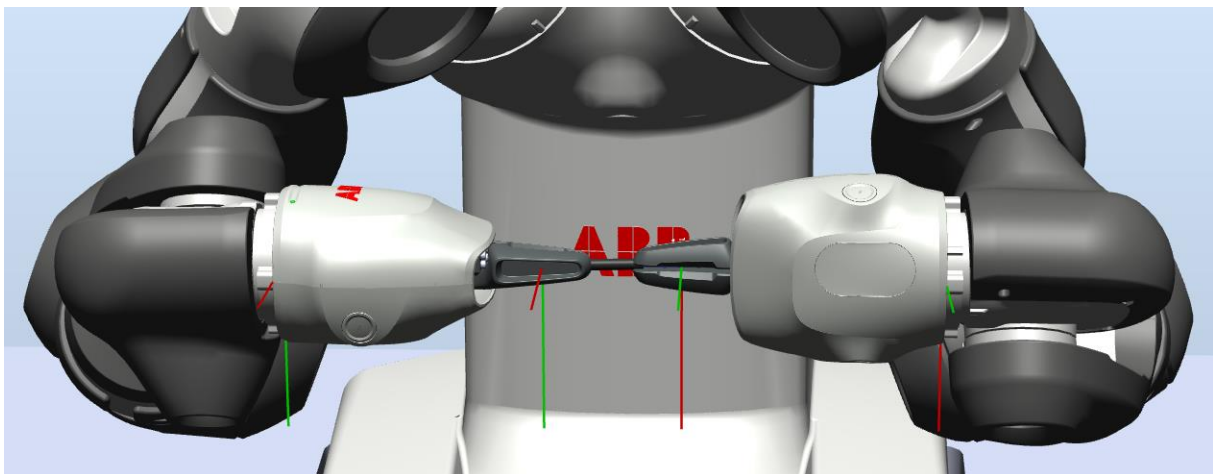
Po tomto uchopení se pravé rameno přesune do předávací pozice, kde předá uchopený díl levému rameni. Předávací pozice je v rovině rovnoběžné s rovinou stolu. V této pozici je třeba synchronizovat pohyby obou ramen. Předání proběhne ve čtyřech krocích:

1. Pravé rameno je v předávací pozici a levé rameno čeká na první potvrzovací příkaz pravého ramene nedaleko předávací pozice s rozevřenými prsty (Obr. 52).

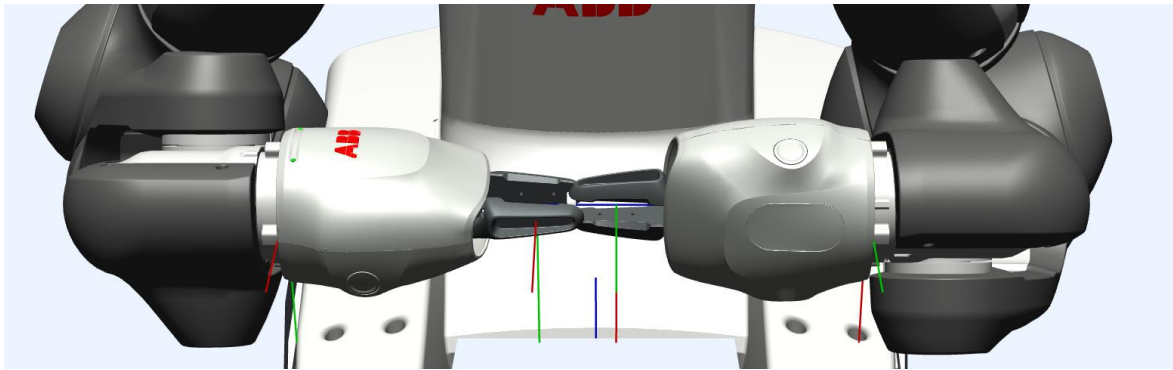


Obr. 52 - Předání dílu 1

2. Po vykonání prvního potvrzovacího příkazu pravého ramene se levé rameno přesune do předávací pozice, uchopí díl a vykoná druhý potvrzovací příkaz (Obr. 53). Pokud se jedná o kroužek, najedou prsty blíže (Obr. 54).

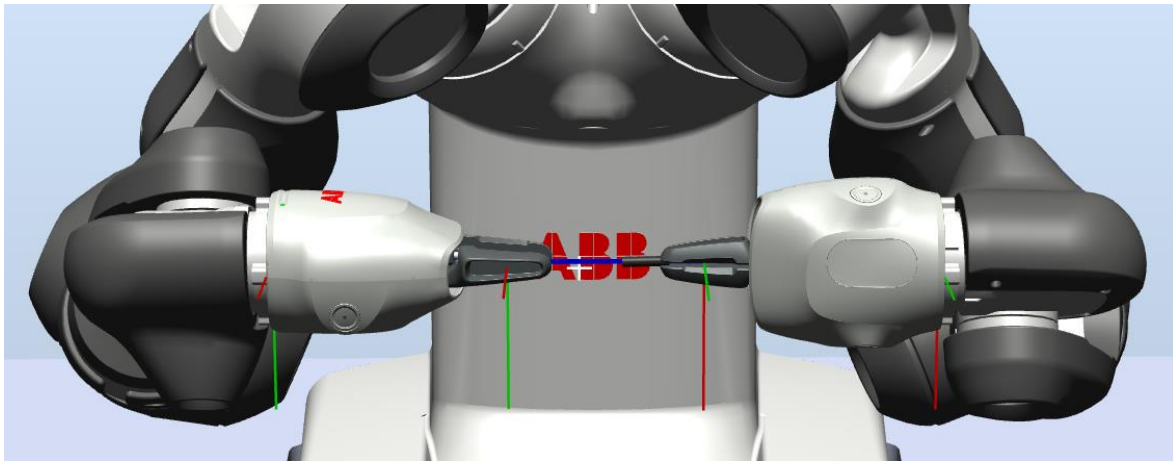


Obr. 53 - Předání dílu 2



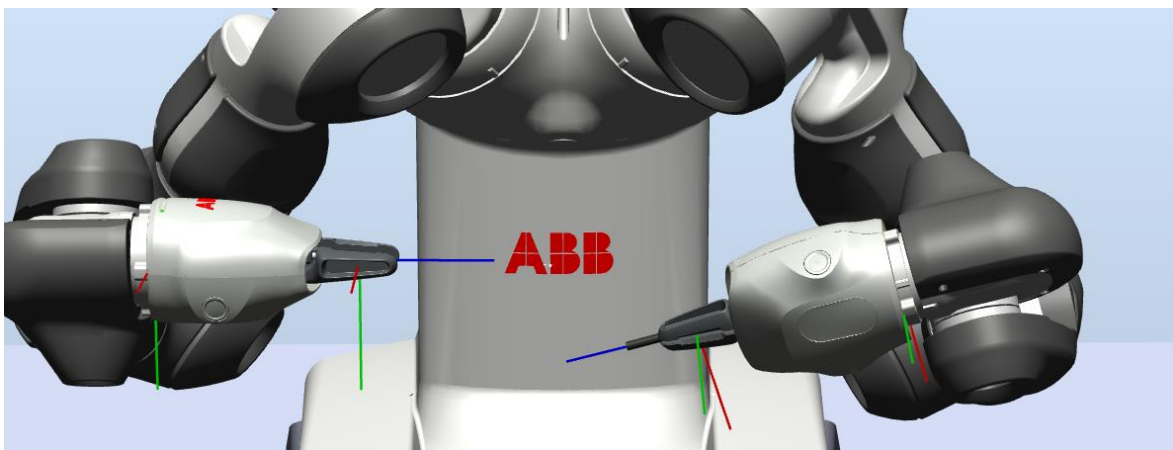
Obr. 54 - Předání kroužku

3. Po vykonání druhého potvrzovacího příkazu pravé rameno pustí díl, vzdálí se od předávací pozice a vyšle třetí potvrzovací příkaz (Obr. 55).



Obr. 55 - Předání dílu 3

4. Po obdržení třetího potvrzovacího příkazu levé rameno může opustit předávací pozici a pokračovat k odložení dílu, zatímco pravé rameno se přesouvá k přípravku s díly a odebírá další díl (Obr. 56).

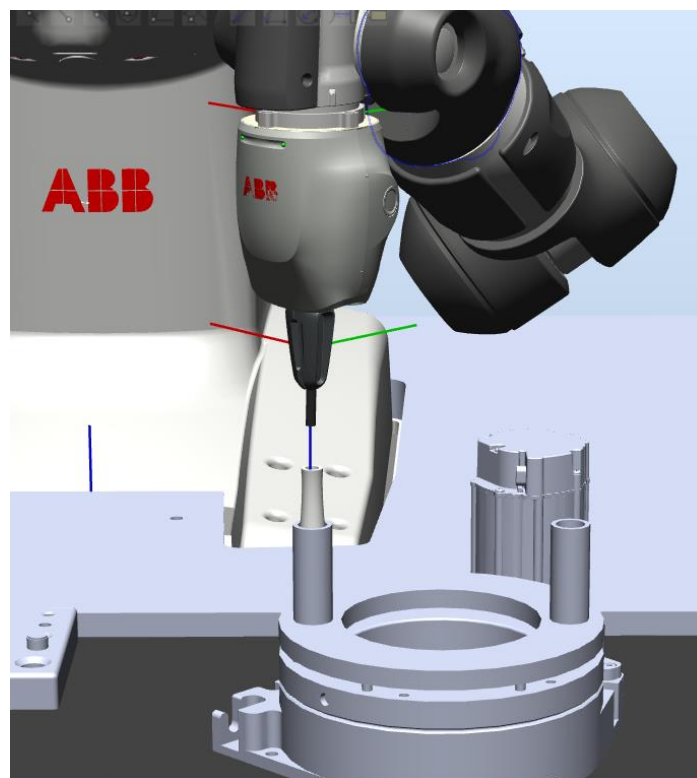


Obr. 56 – Předání dílu 4

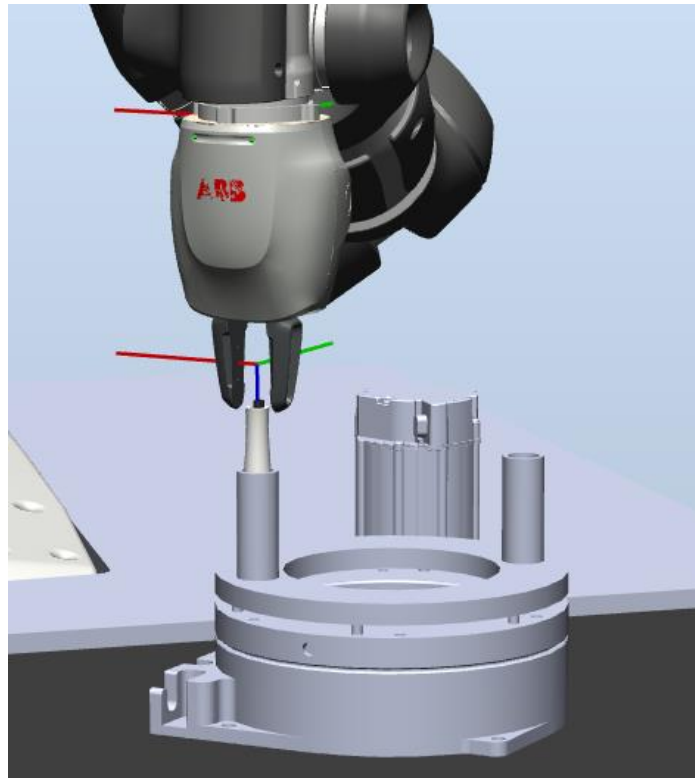
Pro všechny díly, kromě kroužku, platí, že prsty obou ramen jsou od sebe osově vzdáleny. U kroužku, kvůli jeho malé délce, musí být předávací pozice levého ramena blíže rameni pravému a dojde k překrytí prstů obou ramen.

Po opuštění předávací pozice se levé rameno přesouvá do pozice před odkládací pozicí s efektolem kolmo k rovině stolu (Obr. 57).

Poté se při snížené rychlosti lineárně přesune do odkládací pozice a rozevře prsty (Obr. 58). Po rozevření se levé rameno přesouvá do předávací pozice a čeká na první potvrzovací příkaz pravého ramene.



Obr. 57 - Zakládání dílu 1



Obr. 58 - Zakládání dílu 2

6.2 Návrh přípravků

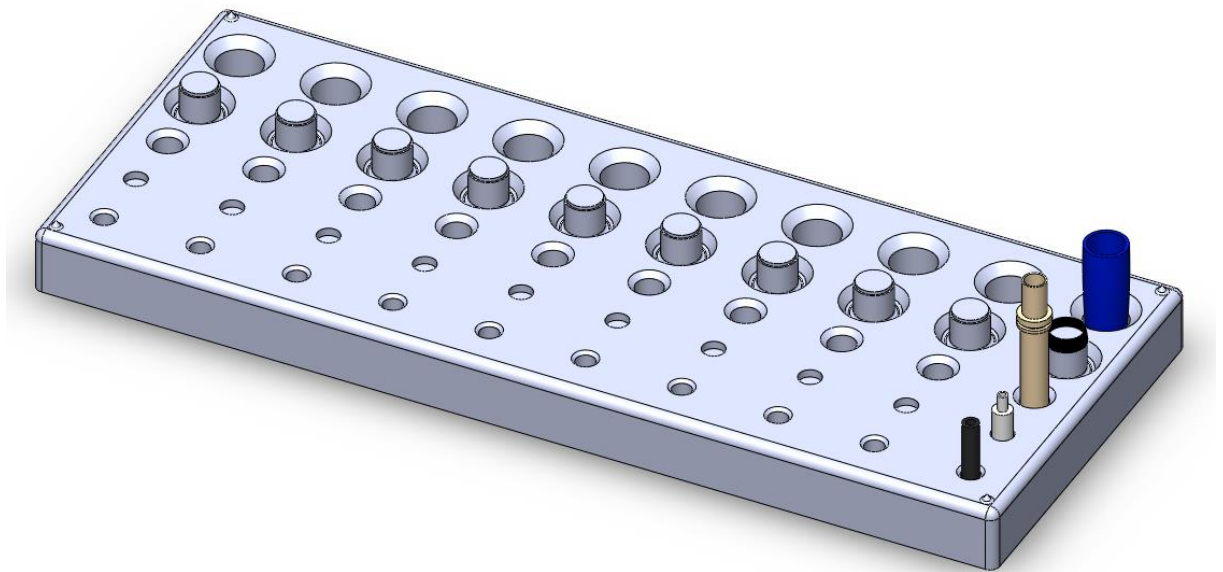
Pro tuto aplikaci budou využity tři přípravky, jejichž funkce je podobná. První přípravek slouží k založení materiálu, který odebírá robot, druhý slouží k uložení polotovaru na otočný stůl a funkce třetího spočívá v odkládání nedokončeného montážního celku před vykonáním úkonů pracovníkem.

6.2.1 Přípravek pro robota

Vzhledem k tomu, že nebude použito kamerové nebo jiné navádění, které využívá zpracování obrazu, je nutné materiál umístit na přesně definované pozice tak, aby byl robot schopen je spolehlivě odebírat. Současně je výhodné, aby šel do přípravku založit materiál na celou dávku a proces montáže mohl probíhat nepřerušovaně.

Přípravek je navržen tak, aby se do něj dalo založit dostatek součástí pro 10 propisek. Jednotlivé díly jsou umístěny v řadách vedle sebe v pořadí, v jakém je robot odebírá k založení do montážního celku. Přípravek je také vybaven kalibračními hroty v rozích. Funkce těchto hrotů spočívá v usnadnění přesného naměření souřadného systému přípravku, který je využit v programu k umožnění odebírání ze všech na přípravu odsazováním tohoto souřadného

systému. Spodní strana přípravku má skořepinový charakter z důvodu úspory materiálu při výrobě. Přípravek je zobrazen na Obr. 59.

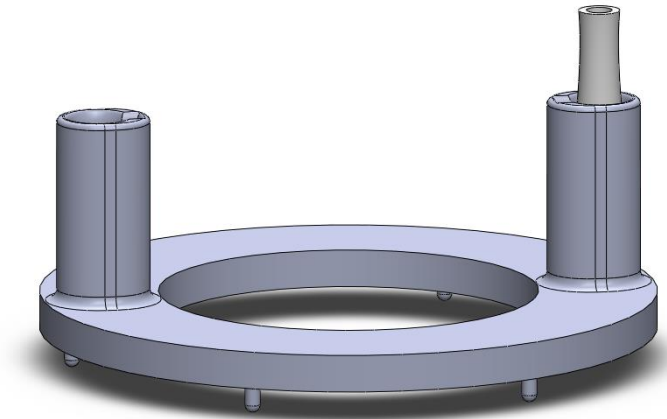


Obr. 59 - Přípravek pro robota se založenými součástmi pro jeden výrobek

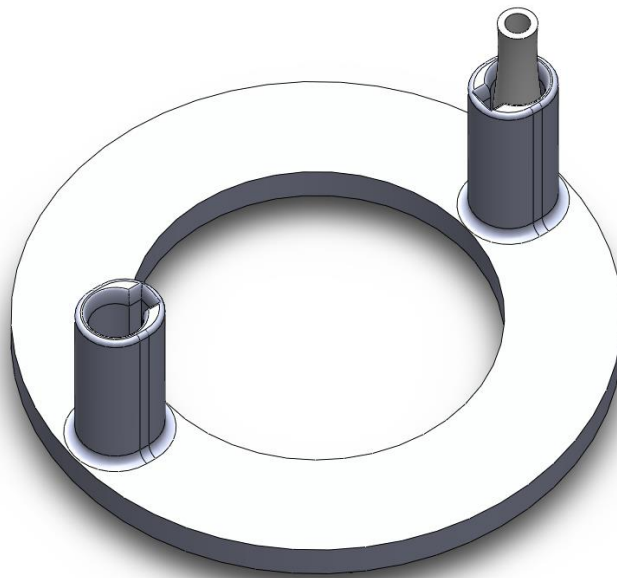
6.2.2 Přípravek na otočný stůl

Funkce otočného stolu spočívá v transportu montážního celku mezi pracovníkem a robotem. Aby mohl pracovník s robotem pracovat současně, je třeba, aby přípravek disponoval alespoň dvěma pozicemi. Na jedné pozici je založena propiska, do které robot zakládá součásti z přípravku pro robota. Současně na druhé pozici může pracovník manipulovat s montážním celkem. Přípravek se založeným dílem je zobrazen na Obr. 60 a Obr. 61.

Rozměry tohoto přípravku jsou odvozeny zejména od rozměrů otočného stolu a propisky. U otočného stolu se jedná především o připojovací rozměry a u propisky o velikost a tvar pozic, na které je umísťována propiska.



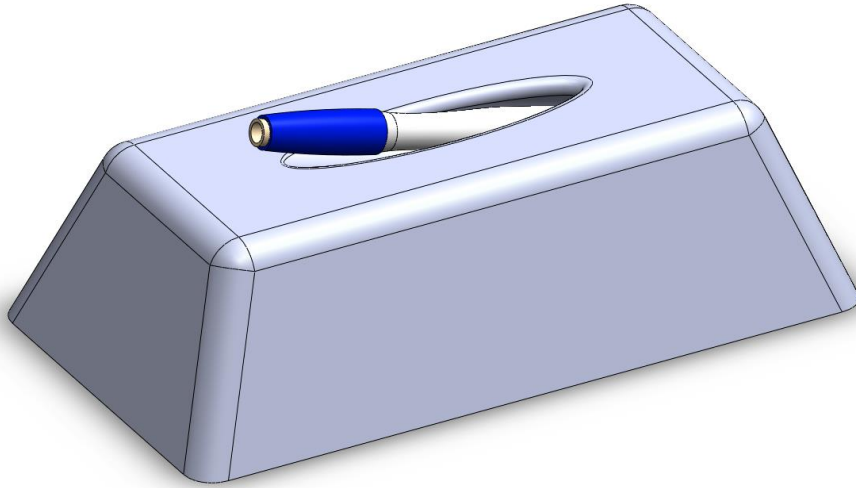
Obr. 60 - Přípravek na otočný stůl 1



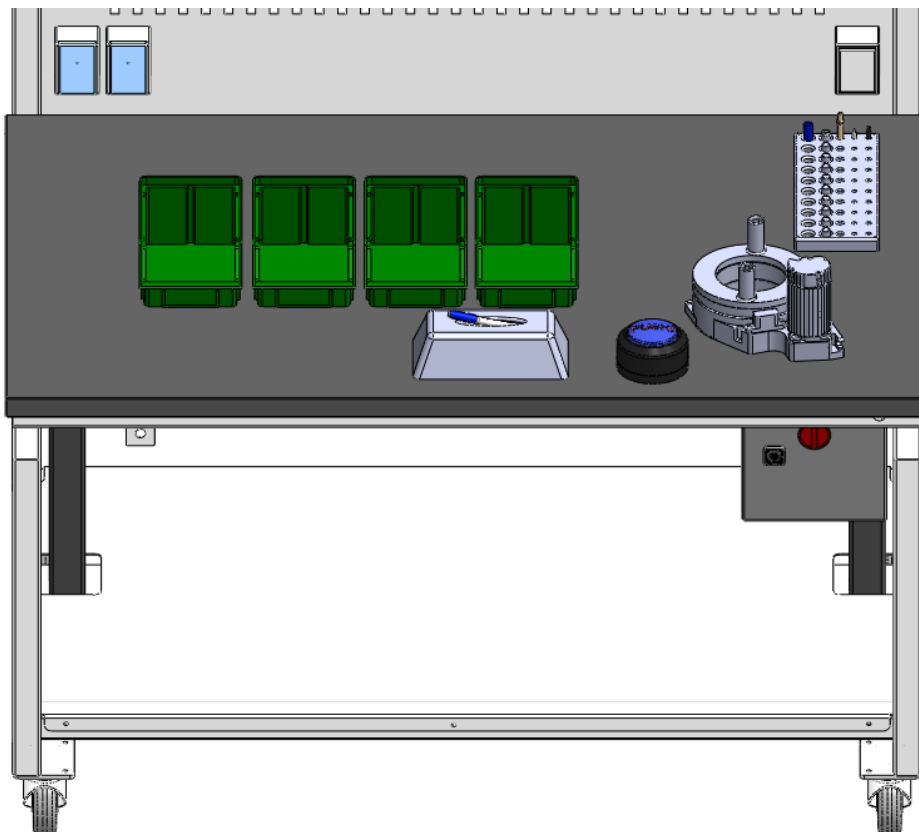
Obr. 61 - Přípravek na otočný stůl 2

6.2.3 Přípravek pro pracovníka

Pracovník používá tento přípravek k odložení nedokončené propisky (Obr. 62), zatímco ji plní zbývajícími součástmi ze stolu. Přípravek má umístění přímo před sebou v optimální poloze pro co nejpohodlnější montáž (Obr. 63). Jako přípravek pro robota, i zde má spodní strana přípravku skořepinový charakter z důvodu úspory materiálu.



Obr. 62 - Přípravek pro pracovníka



Obr. 63 - Umístění přípravku pro pracovníka na stole

6.3 Návrh prstů gripperu

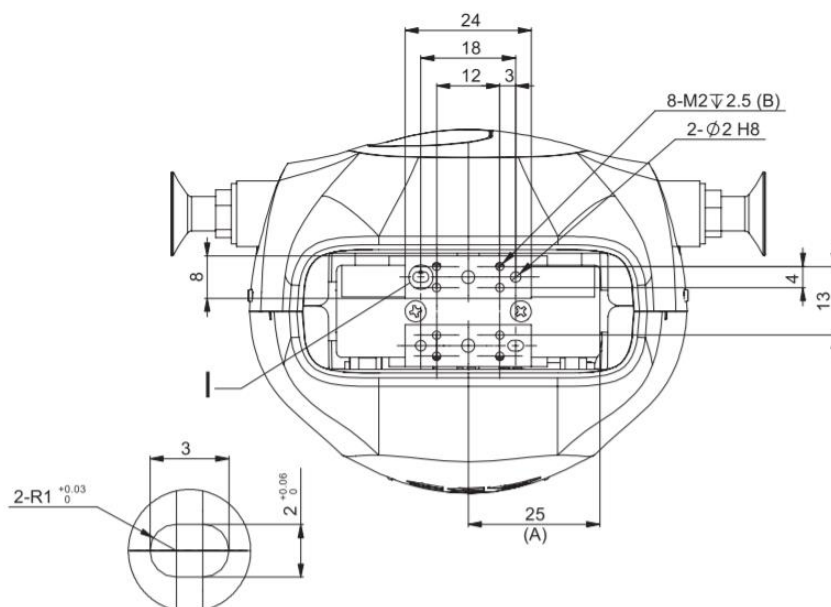
Prsty gripperu jsou posledním článkem kinematického řetězce robota, který je zodpovědný za samotné uchopování předmětů. Jsou to součásti přimontované na Smart Gripper (Obr. 64),

který je zároveň ovládán. Smart gripper disponuje aktivním mechanickým systémem. K ovládní je využito speciální sady příkazů v jazyce RAPID.



Obr. 64 - Smart gripper vybavený standardními prsty [27]

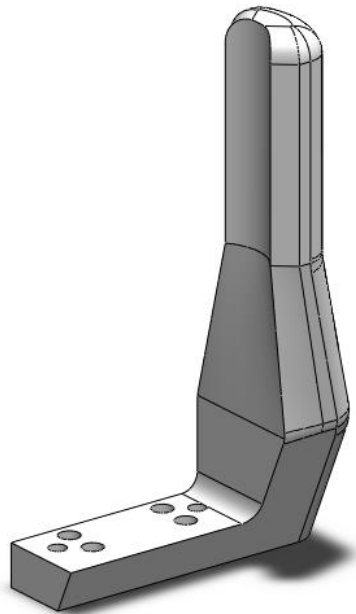
Standardně je Smart gripper vybaven prsty, které je možné od sebe vzdálit 50 mm. Tyto prsty mají plochou uchopovací rovinu. Z toho důvodu nejsou vhodné pro tuto aplikaci, která vyžaduje uchopování rotačních předmětů a bude potřeba vytvořit vlastní návrh. Zároveň je potřeba znát a respektovat přípojovací rozměry (Obr. 65).



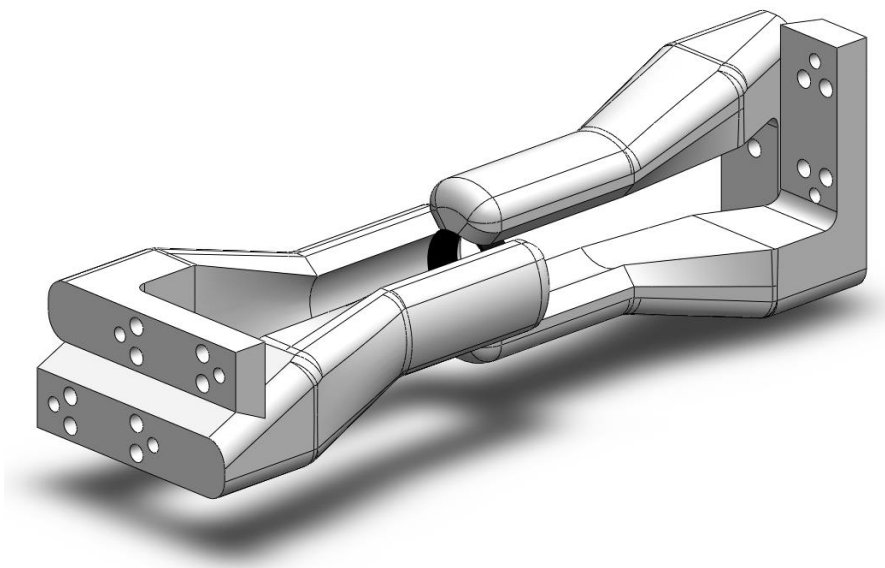
Obr. 65 - Přípojovací rozměry Smart gripperu [27]

U této aplikace je výhodná plocha prstu s rotačním profilem, který má větší poloměr křivosti než největší z odebíraných součástí. Navržený prst gripperu je zobrazen na Obr. 67. Součást, která je problematická k odebrání je kroužek, kvůli své malé výšce není možné jej předávat

mezi ramena s axiálním odstupem, ale prsty gripperu se musí vejít vedle sebe v jedné rovině (Obr. 67). Zároveň je důležité zachovat úchopné plochy přímo naproti sobě, i když unášeče prstů nesdílí dráhu. Také vzhledem k faktu, že klasické prsty mají tendenci se lámat, zvolil jsem robustnější tvar v zalomení mezi úchopnou plochou a plochou na připojení ke Smart Gripperu.



Obr. 66 - Navržený prst pro gripper



Obr. 67 - Znáznornění prstů při předávání kroužku

Pro komerční aplikaci by byl nutný složitější návrh gripperu, který by přímo respektoval tvar jednotlivých součástí, aby byla zaručena spolehlivost odebírání a přesná poloha při odkládání.

6.4 Ověření možnosti využití stavitelného stolu

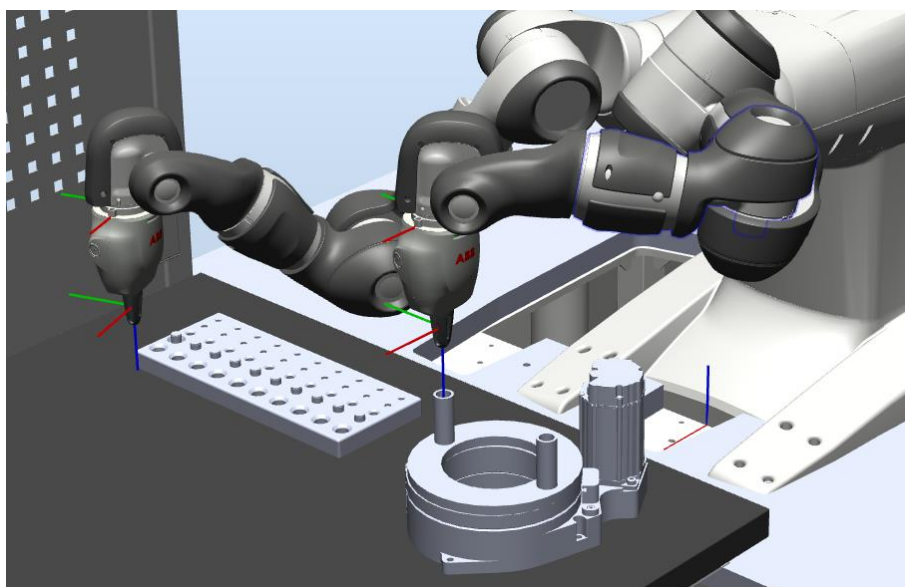
Výškově stavitelný stůl je možné u této aplikace využít dvěma způsoby. Zaprvé, ke zvýšení pracovní roviny v případě, že pracovník je vyššího vzrůstu a je pro něj výhodnější vyšší úroveň pracovní roviny, aby vhodněji zatěžoval svůj muskuloskeletální systém. Zadruhé, pokud pracovník preferuje práci vestoje, před prací v sedě. Z těchto důvodů je na místě ověřit, že robot je schopen vykonávat všechny montážní činnosti i při různém nastavení výšky pracovního stolu a také, že je pracovník schopen vykonávat pracovní úkony v poloze vestoje. Pracovní rozsah stolu je 350 milimetrů. V nejnižší pozici je stůl na stejné úrovni jako stůl, na kterém je umístěn robot.

6.4.1 Ověření dosahů robota

Pro ověření dosahů robota je potřeba odsimulovat pohyb pravého ramena robota z domácí pozice do odebíracích pozic nad přípravkem. Levé rameno je třeba odsimulovat v pohybu z domácí pozice do odkládací pozice. Maximální zvýšení stolu je 350 mm, pro ověření byly zvoleny 3 referenční hodnoty: 120 mm, 230 mm a maximální zvýšení.

Zvýšení stolu o 120 mm

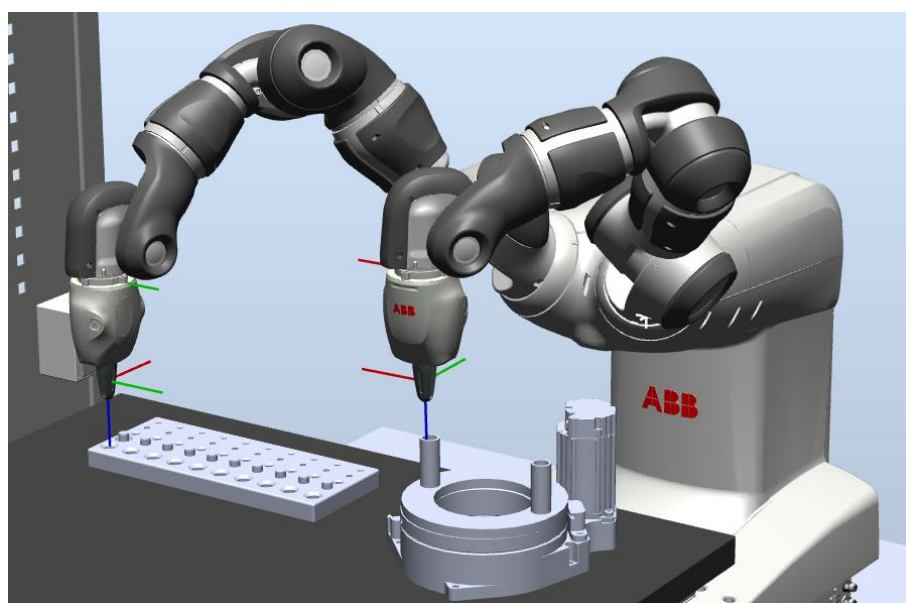
Z hlediska dosahu robota není při tomto zvýšení žádný problém. Určité komplikace nastávají pouze při pohybu robota z domácí pozice nad stůl. Z tohoto důvodu je potřeba do této trajektorie vložit body upravující tuto trajektorii, aby se předešlo kolizím se zadní deskou stolu. Pro usnadnění předejití kolize je také vhodné základnu robota přesunout blíže přední straně stolu. Na Obr. 68 je patrné, že robot skutečně dosáhne na požadovanou pozici.



Obr. 68 - Ověření dosahu při zvýšení stolu o 120 mm

Zvýšení stolu o 230 mm

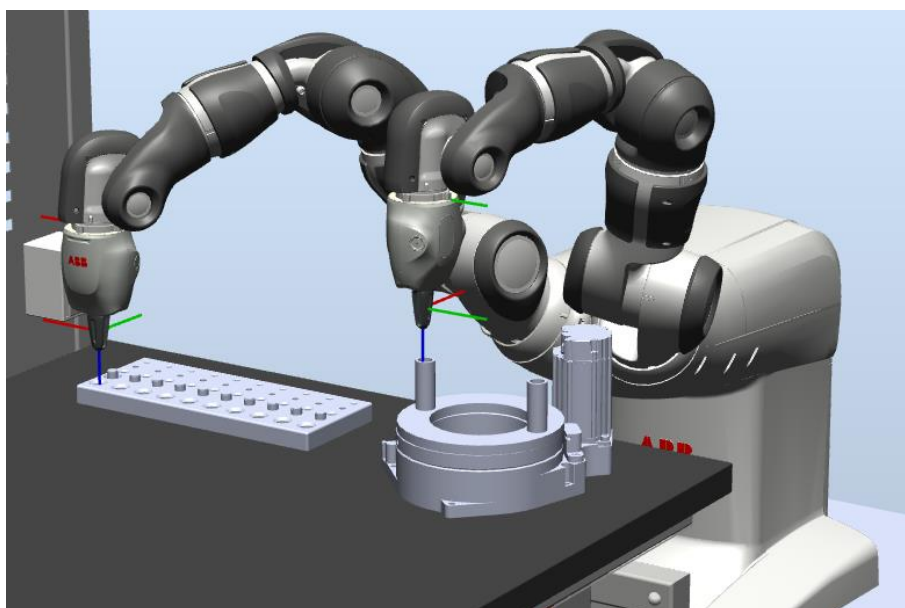
V případě zvýšení stolu je situace velice podobná jako při zvýšení o 120 mm. Opět je komplikovaný přesun pravého ramene do odebírací pozice. Je potřeba věnovat zvýšenou pozornost tomuto přesunu a vložit do trajektorie body s vhodnou konfigurací os. Kolize stále hrozí především se zadní deskou stolu a je výhodné robota přesunout dále od této zadní desky. Dosah robota až k přípravku a otočnému stolu, avšak stále toto zvýšení umožňuje. Z Obr. 69 plyne, že robot musí použít jinou konfiguraci os, aby dosáhl na stůl.



Obr. 69 - Ověření dosahu při zvýšení stolu o 230 mm

Maximální zvýšení o 350 mm

Při maximálním zvýšení se opakuje situace s problémem dosažení odebírací pozice, pokud předchozí pozice byla domácí. Stále je to možné, avšak situaci by pomohlo, pokud by byl stůl, na kterém je umístěn robot, vybaven stavitelnými nožičkami a také by byl zvýšen. Dosah robota také začíná narážet na své limity a také by mu prospělo zvýšení základny robota. U tohoto zvýšení je již nezbytně nutné robota posunout dále od zadní desky stolu. U tohoto zvýšení robot použije podobnou konfiguraci os jako u zvýšení o 230 mm (Obr. 70).



Obr. 70 - Ověření dosahu při maximálním zvýšení robota

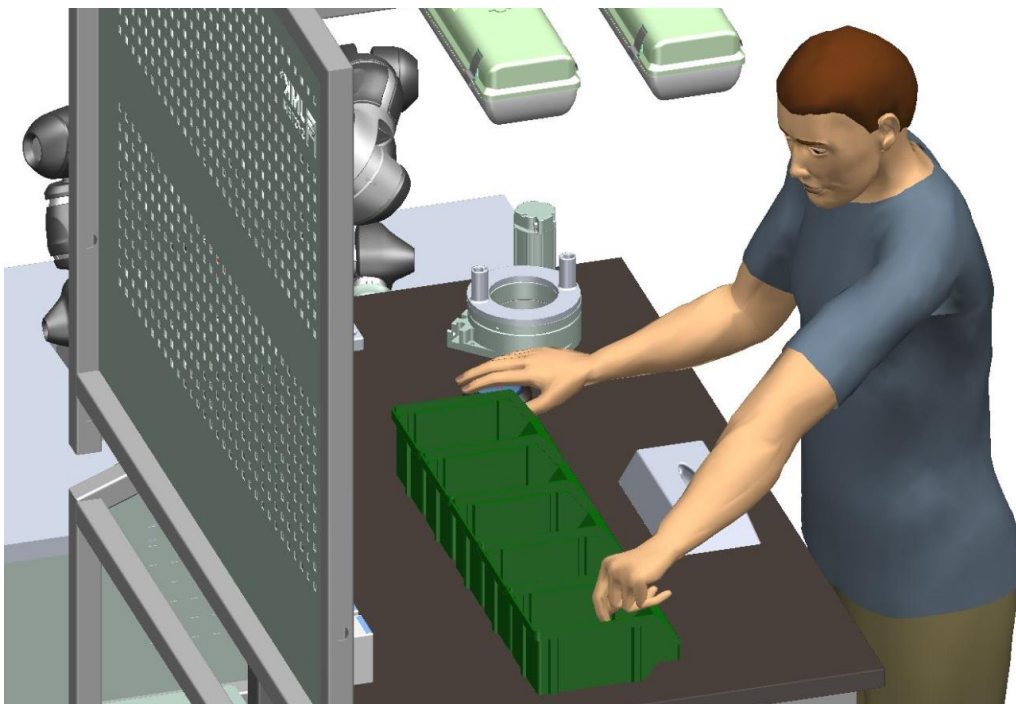
6.4.2 Ověření možnosti práce vestoje

Pracovní pozice vestoje oproti té vsedě obecně zvyšuje pracovníkův dosah a sílu kterou disponuje, na druhou stranu je pracovník rychleji unaven.

Za účelem tohoto ověření bylo vytvořena kopie reálného pracoviště v prostředí PS Human (Obr. 71 a Obr. 72) s odsazením desky stolu o 350 mm oproti výchozí pozici. Vložený model člověka odpovídá percentilu 95 % výšky průměrného člověka. Člověk byl namodelován do krajních pozic pracovního prostoru, ve kterém operuje a už z obrázků je patrné, že tyto pozice pro něj nejsou nijak nevýhodné. Tento fakt je podložen RULA analýzou pozice na Obr. 71, výsledné skóre této analýzy je hodnota 2. Pracoviště lze tedy takto považovat za vhodné k práci ve stoje. Lidé nižšího vzrůstu mohou výšku stolu nastavit na pro ně vhodnou úroveň.



Obr. 71 - Ověření možnosti práce vestoje 1



Obr. 72 – Ověření možnosti práce vestoje 2

6.5 Analýza rizik pracoviště

Před realizací kolaborativních pracovišť je třeba provést analýzu rizik s cílem identifikace, popsání, vyhodnocení a případné eliminace rizik, kterým je vystaven pracovník. Proces analýzy rizik bude proveden v souladu s kapitolou 4.2.3 , kde byl tento proces popsán a vysvětlen. Motivace za provedením této analýzy spočívá ve snaze zajistit bezpečný chod pracoviště, a tím

tedy zvýšit i produktivitu pracoviště, protože nebude docházet k nehodám, které by bylo potřeba vyšetřit.

Stanovení rozsahu systému

Do systému tohoto kolaborativního pracoviště spadá v první řadě samotný robot, dále grippery a prsty, kterými je vybaven. Z okolních zařízení také přípravy, otočný stůl a předmět montáže, tedy propiska. Parametry robota ABB IRB 14000 relevantní pro analýzu rizik jsou v následující tabulce Tab. 9.

Tab. 9 - Vybrané parametry robota

Maximální rychlost TCP	1 500 mm/s
Maximální úchopná síla	20 N
Čas zastavení pohybu	Maximálně 0,4 s

Robot je certifikován dle EN ISO 13849-1 kategorie B, která zaručuje omezování výkonu a síly při kolizi. Je vyroben z lehké hořčíkové konstrukce, která je pokryta plastovými a měkčenými kryty pro zvýšení bezpečnosti. [21]

Z pohledu prostředí, ve kterém je robot nasazen, není potřeba uvažovat žádné rizikové faktory.

Identifikace rizik

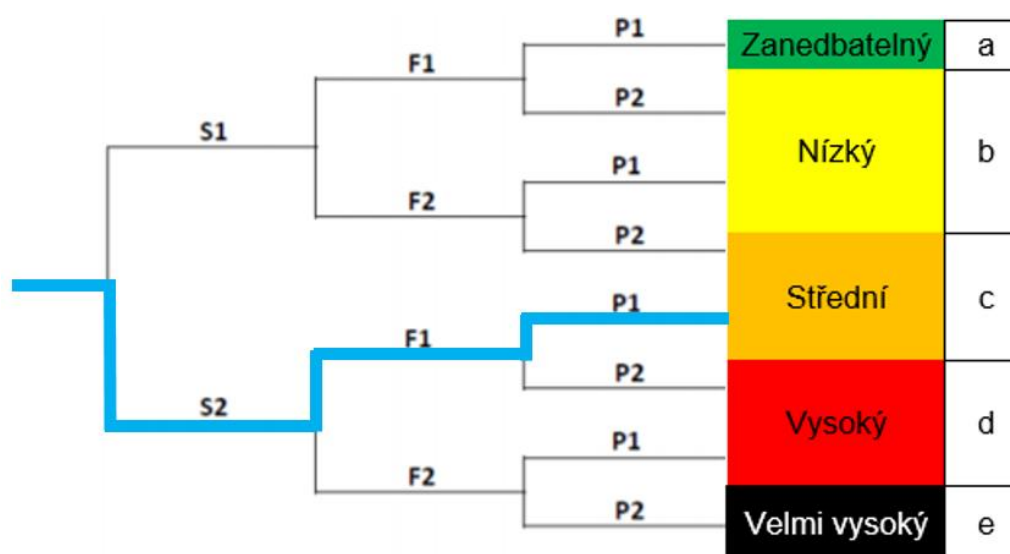
U této aplikace je potřeba se zaměřit na tři rizikové jevy:

1. Robot manipuluje se součástmi. V těchto chvílích může docházet k přechodnému kontaktu robota s pracovníkem. Zejména nebezpečný by byl kontakt s očima pracovníka.
2. Robot a pracovník se pohybují ve sdíleném prostoru v blízkosti otočného stolu. Může docházet, jak k přechodnému kontaktu, pokud robot pracovníka udeří, tak ke kvazistatickému, pokud by robot zmáčkl pracovníkovu ruku mezi své rameno a otočný stůl.
3. Robot odebírá předměty z přípravy. Pokud by pracovník, z nějakého důvodu, začal manipulovat s přípravkem nebo by z něj sám chtěl odebrat libovolnou součást, může při robotickém uchopování nastat kvazistatický kontakt, kde by se ocitly prsty pracovníka mezi efektozem robota a přípravkem.

Odhad rizik

Pro každou ze tří identifikovaných situací je potřeba vyhodnotit závažnost možného zranění, jak často je pracovník onomu riziku vystaven a jakou má možnost se riziku vyhnout.

1. Kontakt s očima pracovníka hrozí vždy vážným zraněním, a proto je v tomto případě označit závažnější větev S2. Toto riziko nehrozí příliš často, neboť pracovník by při běžném výkonu práce neměl hlavou nijak zasahovat do pracovního prostoru robota. Pokud do něj zasáhne, neměl by mít problém se robotovi vyhnout a tím předejít nebezpečí. V otázkách četnosti a možnosti vyhnout se riziku je možné volit přívětivější větve analýzy F1 a P1.

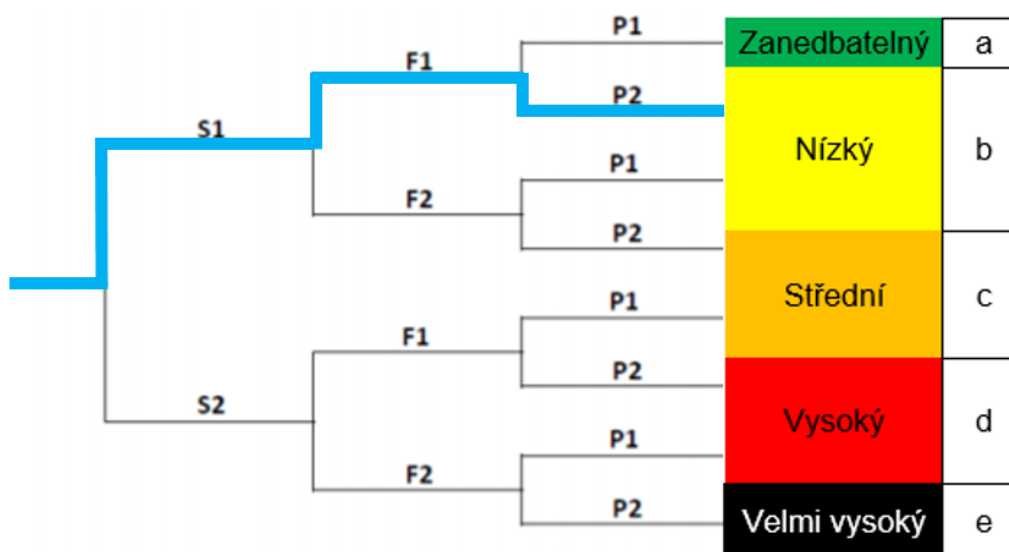


Obr. 73 - Diagram vyhodnocení rizika 1

První riziko, vyhodnoceno jako střední (Obr. 73), je nepřijatelné, protože ohrožuje pracovníkův zrak a bude potřeba navrhnout opatření, která budou toto riziko eliminovat.

2. Pokud se vezme v potaz zmíněná lehká konstrukce a měkčené krytí v kombinaci se schopností robota zastavit svůj pohyb do 0,4 sekundy, vychází z toho, že je velmi nepravděpodobné, aby při jakémkoliv kontaktu robota s rukou pracovníka došlo k vážnějšímu zranění. Tomuto riziku je pracovník vystaven dvakrát za cyklus, při založení prvního dílu a při odebrání montážního celku po robotických operacích. Nelze tedy říct, že je riziku vystaven zřídka, ale zároveň ani často. Navíc doba, po kterou je riziku vystaven je krátká. Možnost vyhnout se tomuto riziku prakticky neexistuje,

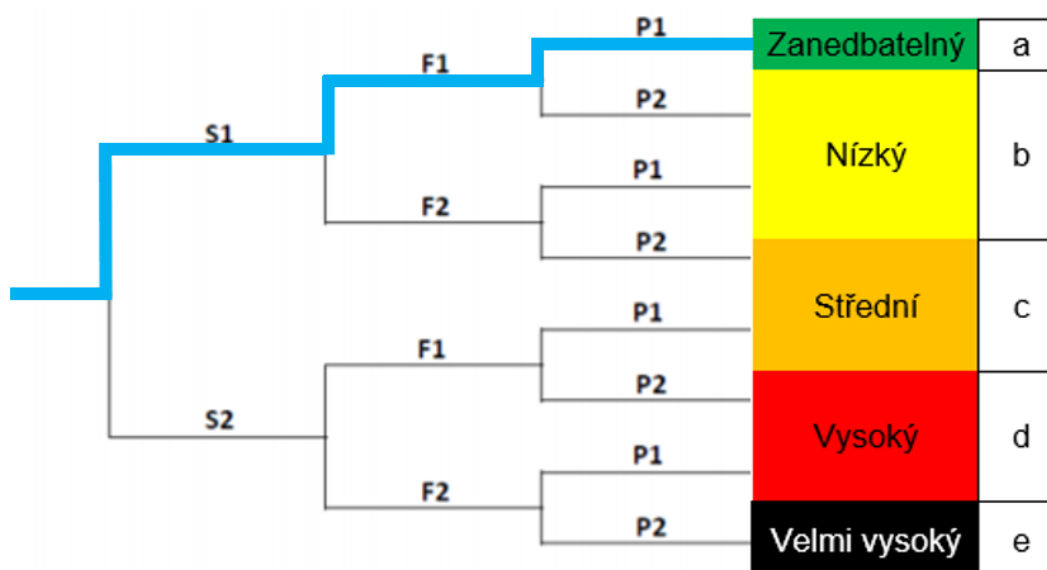
pracovník bude muset do prostoru otočného stolu sáhnout bezpodmínečně.



Obr. 74 - Diagram vyhodnocení rizika 2

Druhé riziko, vyhodnoceno jako nízké (Obr. 74), je na pracovišti přijatelné. Pokud bude pracovník řádně proškolen, nehrozí mu žádné nebezpečí, kterým by bylo potřeba se dále zabývat.

3. Závažnost zranění, která může být způsobena třetím rizikem je prakticky stejná jako u druhého rizika. Mírně přitěžující okolností jsou nepravidelné tvary přípravku způsobující bolestivější kontakt, stále ovšem nelze považovat potenciální vzniklé zranění za vážné. Pokud pracovník a robot budou pracovat ve správném režimu, k popsané situaci by nemělo nikdy docházet, rozhodně tedy není pracovník tomuto riziku vystaven často. Pokud by došlo k nevhodnému umístění materiálu v přípravu, má pracovník možnost robotický program přerušit, díly na přípravku upravit do správných pozic a až poté robota opětovně spustit. Je pro něj tedy velice snadné se riziku vyhnout.



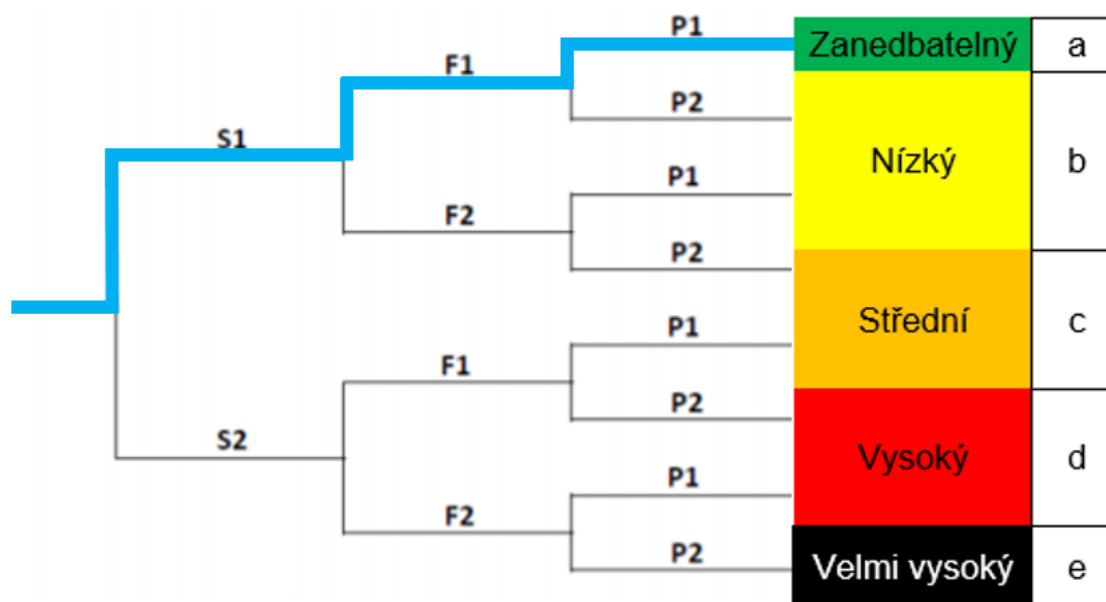
Obr. 75 - Diagram vyhodnocení rizika 3

Již diagramu je jasně patrné, že třetí riziko nepředstavuje pro pracovníka žádnou hrozbu (Obr. 75), pokud bylo vyhodnoceno jako zanedbatelné. Z toho vyplývá, že není třeba se třetím rizikem dále zabývat.

Redukce rizik

V případě, že nějaké z identifikovaných rizik bylo vyhodnoceno jako nepřijatelné, je nutné přistoupit k procesu redukce tohoto rizika. Pokud bylo riziko vyhodnoceno, jako přijatelné tento krok není potřeba vykonávat a není potřeba se daným rizikem již dále zabývat.

U tohoto montážního pracoviště bylo vyhodnoceno jako nepřijatelné pouze riziko 1. Nepřijatelným byl zejména fakt, že je v ohrožení zrak pracovníka. Vzhledem k tomu, že se jedná o oči, nemá smysl uvažovat o řešení v podobě úpravy použitých zařízení nebo snížení rychlosti robota. Taková opatření by byla velice pracná a možná by se minula účinkem, protože u očí stačí mírný kontakt a může dojít k poškození. Možným opatřením tedy je vybavení pracovníka ochrannými brýlemi. Takové brýle sice lehce sníží pracovníkův komfort a zvýší náklady, avšak tímto opatřením je výrazně sníženo riziko poškození zraku. Četnost výskytu rizika a možnost vyhnout se riziku zůstávají po aplikaci opatření totožné.



Obr. 76 - Diagram vyhodnocení rizika 1 po provedení bezpečnostního opatření

Po vybavení pracovníka ochrannými brýlemi je patrné, že došlo k eliminaci rizika a není třeba se rizikem dále zabývat (Obr. 76).

7 Vytvoření programu

Po dokončení rozpracování varianty řešení je nutné přistoupit k softwarové realizaci. Nejprve je potřeba všechna zařízení propojit, aby byla schopna vzájemně komunikovat. Před vytvořením robotického programu je nutná rozvaha o jeho struktuře a logice. Důkladné plánování v této fázi je rozhodující pro to, kolik času zabere a jak kvalitně provedený bude výsledný program. Závěrečným krokem této kapitoly bude již samotná realizace programu a jeho odsimulování v prostředí RobotStudiu od ABB.

7.1 Propojení robota s otočným stolem

Otočný stůl Bell-Everman SBR-100-51 při této aplikaci slouží jako periferní zařízení robota, který jej zároveň ovládá. Číslovka 100 v názvu reprezentuje průměr otvoru v přírubě stolu, který činí 100 mm. Stůl disponuje servomotorem a pomocí klínové řemenice rozvádí rotační pohyb na svislou osu a otáčí přírubou, na které se nachází přípravek, do kterého bude zakládána propiska při montáži. Rozlišení enkodéru pohonu otočného stolu je 16 000 kroků na otáčku.

Pro zprovoznění tohoto zařízení je potřeba jej nejprve propojit s robotem pomocí průmyslové sběrnice DeviceNet, nakonfigurovat jeho vstupy a výstupy v ovládní robota. DeviceNet je komunikační prostředek umožňující snadné a levné propojení průmyslových zařízení. V tomto případě se robot konfiguruje jako master a otočný stůl jako slave. To znamená, že robot přebírá jednosměrné řízení nad otočným stolem. Po nakonfigurování vstupů a výstupů je již možné otočný stůl ovládat pomocí zpráv odesílaných z robota.

7.1.1 Hardwarové propojení robota s otočným stolem

Pro zprovoznění externí osy robota je nejprve nutné ji fyzicky propojit s robotem. K tomuto účelu je potřeba nejprve pomocí sběrnice DeviceNet spojit robota se zařízením **NX1F4X NEXUS Motion Controller** (Obr. 77). Toto čtyř kanálové zařízení slouží jako ovladač servopohonu a na síti vystupuje jako uzel. Tato jednotka přijímá zprávy z robota jako vstupy a posílá výstupy do ovladače servopohonu. Tyto výstupy reprezentují velikost kroku a směr pohybu otočného stolu. NX1F4X využívá 32 16 bitových slov na vstupu a stejný počet na výstupu. Vstupy i

výstupy jsou rozděleny mezi 4 naprosto nezávislé kanály (zařízení může ovládat až 4 servopohony). [29]

Nastavení NX1F4

Osm DIP přepínačů na přední straně NX1F4X umožňuje nastavit modulační rychlost a adresu uzlu. Přepínače 1 a 2 nastavují modulační rychlost a zbývající adresu uzlu na síti. Vzhledem k faktu, že ve výchozím nastavení je modulační rychlost ovladače robota nastavena na 500 Bd a zařízení musí mít shodnou modulační rychlost je i NX1F4X nastaveno na 500 Bd, pro toto nastavení je potřeba přepínače 1 a 2 nastavit na hodnoty 1 0. Adresa uzlu je nastavena na hodnotu 4. Přepínače 3 a 8 proto musí být nastaveny na hodnotu 4 v binární soustavě. Jsou tedy nastaveny na 0 0 0 1 0 0 (Tab. 10).

Jednotka Bd označuje *Baud rate*, neboli modulační rychlost, a udává rychlost přenosu dat na komunikačním kanálu. V kontextu této úlohy znamená 500 Bd, že je možné přenášet maximálně 500 bitů za sekundu. [28]

Tab. 10 - Nastavení DIP přepínače NX1F4

Nastavení DIP přepínače NX1F4								
Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8
Hodnota	1	0	0	0	0	1	0	0



Obr. 77 - NX1F4X NEXUS Motion Controller [29]

7.1.2 Konfigurace sítě DeviceNet na ovladači robota

Pro umožnění komunikace mezi robotem a NX1F4X bylo potřeba na ovladači robota IRC 5 nakonfigurovat vstupy a výstupy. Tohoto je docíleno, pokud je ovladač robota nastaven jako interní master pro síť DeviceNet. Tímto nastavením dostane robot pravomoc ovládat všechna k němu připojená zařízení.

Doporučený průběh práce při konfiguraci je uveden v Application Manual DeviceNet Master/Slave [30]:

1. Připojení počítače k robotovi a v RobotStudiosu požádat o přístup k zápisu do IRC5.
2. V záložce Ovladač rozvinout položku Konfigurace a vybrat I/O Systém
3. Ve sloupci Typ je potřeba vybrat řádek Průmyslové sítě a poté v pracovním prostoru zvolit pravým tlačítkem myši klinout na DeviceNet a Změnit průmyslovou síť
4. Ve vyskakovacím okně je poté potřeba nastavit adresu sítě shodnou s adresou nastavenou NX1F4X, v tomto případě 4, a zkontrolovat že odpovídá modulační rychlost 500 Bd.

Po nakonfigurování sítě zbývá nakonfigurovat vstupně-výstupní zařízení na síti DeviceNet připojená k ovladači. Existují 2 varianty, jak konfiguraci provést, manuální a automatická. V tomto případě jsem zvolil automatickou konfiguraci, jejíž postup je následující:

1. Připojení počítače k robotovi a v RobotStudiosu požádat o přístup k zápisu do IRC5.
2. Fyzické připojení nakonfigurovaného zařízení do sítě DeviceNet.
3. V záložce Ovladač rozvinout položku I/O systém vybrat pravým tlačítkem na položce DeviceNet Autokonfiguraci systému.
4. Po Autokonfiguraci program vygeneruje zprávu o každém nakonfigurovaném zařízení a dostupné signály se objeví v pracovním prostoru I/O Systém.

Při správném provedení této konfigurace se zeleně rozsvítí LED ukazatele číslo 1 a 2 na zařízení NX1F4X.

Dostupné signály pro NX1F4X byly nalezeny namapovány jako skupinové výstupy (*Group Output*) po 8 bitech. Protože ovládání zařízení je koncipováno po 16 bitových slovech, bylo změněno i mapování signálů, aby 1 skupinový výstup odpovídal 1 slovu. Toto je možné provést

v záložce *I/O system – Signal*, po pravém kliknutí na zvolený výstup, je možné změnit mapování signálu zadáním hodnot zvolených bitů, které budou přiřazeny do tohoto signálu.

7.1.3 Konfigurační programování NX1F4X

Před ovládáním otočného stolu je potřeba nejprve převést NX1F4X z konfiguračního módu do operačního módu. Konfigurační mód umožňuje správné nastavení NX1F4X tak, aby souhlasilo s aplikací, na kterou je využíván, v tomto případě na otočný stůl, bez přepínání jakýchkoliv fyzických přepínačů. NX1F4X nedisponuje nevolatilní pamětí a je třeba jej konfigurovat při každém spuštění, protože informace uložené v nevolatilní paměti jsou při každém vypnutí ztraceny. Úspěšná konfigurace se projeví zezelenáním Kanálové LED na příslušném kanále.

Struktura konfigurační zprávy

Konfigurační zpráva pro jeden kanál NX1F4X je skládá ze 4 16 bitových slov (Tab. 11), které je potřeba odeslat z ovladače IRC 5 do NX1F4X. Zpráva definuje následující parametry používaného systému:

- Jaké budou použity koncové spínače
- Jestli bude použit externí vstup, popřípadě jeho funkce
- Jaký bude použit enkodér – koncový na domácí pozici nebo kvadratický
- Jestli bude kanál konfigurován pro diagnostickou zpětnou vazbu
- Jaký bude typ výstupu
- Jaký typ navádění operace do domácí pozice bude použit
- Startovací rychlost

Tab. 11 – Formát konfigurační zprávy pro jeden kanál [29]

Slovo	Výstupní data	Jednotky	Rozsah
0	Konfigurační bity	-	-
1	Vstupní aktivní úroveň	-	-
2	Nejvýznamnější slovo počáteční rychlosti	Kroky za sekundu	1 až 250 000
3	Nejméně významné slovo počáteční rychlosti	Kroky za sekundu	

Nulté slovo konfigurační zprávy podává informaci do NX1F4X o tom, jaká zařízení jsou při aplikaci použita. Vysvětlení funkce jednotlivých bitů je v Tab. 12.

Tab. 12 - Struktura nultého konfiguračního slova [29]

Bit	Význam	Nastavená
0	Nastavení levotočivého koncového spínače	1
1	Nastavení pravotočivého koncového spínače	1
2	Rezervován	0
3	Nastavení externího vstupu	0
4	Nastavení spínače domácí pozice	0
5	Nastavení nouzového zastavujícího vstupu	0
6	„0“ – externí vstup je použit k zastavení manuálního pohybu „1“ - externí vstup je použit k zachycení dat z enkodéru	0
7	Rezervován	0
8	Nastavení kvadratického enkodéru	1
9	Nastavení diagnostické zpětné vazby	0
10	„0“ výstupní pulz je informace o pravo a levotočivém směru „1“ výstupní pulz je pulzní vlna a směr pohybu	0
11	Rezervován	0
12	„0“ pro operace s koncovými spínači pro domácí pozici „1“ pro operace s „marker“ pulzem pro domácí pozici	1
13	Rezervován	0
14	Rezervován	0
15	„0“ pro zprávy v řídicím módu „1“ pro zprávy v konfiguračním módu	1

První slovo definuje pro nakonfigurovaná zařízení z nultého slova aktivní úroveň. Vysoká aktivní úroveň „1“ je běžně používána pro zařízení fungující na bázi rozpínacího spoje a nízká aktivní úroveň „0“ pro zařízení na bázi spínacího spoje. V tomto případě je možné nastavit pro všechny případy aktivní úroveň na „0“.

Druhé a třetí slovo nastavují počáteční rychlost otočného stolu. Nejvýznamnější slovo v tomto případě vyjadřuje řád tisíců a nejméně významné slovo vyjadřuje řády jednotek, desítek a stovek. Podmínkou pro úspěšnou konfiguraci tedy je, že nejméně významné slovo musí být

v rozmezí 0 až 999 v decimální soustavě. Na doporučení výrobce je vhodné nastavit počáteční rychlost spíše nižší a později ji zvýšit, pro hladkou změnu rychlosti doporučuje nastavit počáteční rychlost jako odmocninu hodnoty akcelerace. [29]

Překlad konfigurační zprávy

Vzhledem k faktu, že výstupy robota jsou namapovány jako skupinové výstupy po slovech a první slovo je v bitech je nutné jej přeložit do decimální hodnoty. Je také nutné vzít v potaz, že endianita IRC 5 je „Little-endian“, to znamená, že se na paměťové místo s nejnižší adresou uloží nejméně významný bit a za něj se ukládají ostatní bity až po nejvíce významný bit. Zpráva z Tab. 13 nastaví konfiguraci podle Tab. 12 a počáteční rychlost na 1 000 kroků za sekundu.

Tab. 13 - Výsledná konfigurační zpráva

Slovo	Výstup	Decimální hodnota
0	Exus_stepper_GOUT0	37 123
1	Exus_stepper_GOUT1	0
2	Exus_stepper_GOUT2	1
3	Exus_stepper_GOUT3	0

7.1.4 Programování příkazů pro NX1F4X

Po úspěšné konfiguraci je možné posílat do NX1F4X pohybové příkazy. Pohybové příkazy umožňují pohnout osou otočného stolu do zvolené pozice, při nastavené rychlosti a zrychlení.

Struktura pohybového příkazu

Všechny operace servopohonu jsou prováděny v řídicím módu. V tomto módu může ovladač IRC 5 vydávat pohybové příkazy. Pohybový příkaz pro jeden kanál skládá z 8 16 bitových slov. V těchto 8 slovech se skrývá pohybový příkaz operace. Pohyb je definován typem pohybu, cílovou pozicí, rychlostí a parametry zrychlení. Význam jednotlivých slov je zobrazen v Tab. 14.

Tab. 14 - Formát pohybového příkazu

Slovo	Funkce	Jednotky	Rozsah
0	Ovládání 1	-	-
1	Ovládání 2	-	-
2	Nejvýznamnější slovo cílové	Kroky	- 8 388 607 až 8 388 607
3	Nejméně významné slovo cílové pozice		
4	Nejvýznamnější slovo rychlosti	Kroky / sekundu	Počáteční rychlost až 250 000
5	Nejméně významné slovo rychlosti		
6	Akcelerace	Kroky / ms / sekundu	1 až 2000
7	Decelerace		

Nulté slovo příkazu určuje, o jaký druh pohybu se jedná v konkrétní operaci. V případě této aplikace jsou relevantní operace relativního pohybu a nalezení domácí pozice. Relativní pohyb otáčí stolem do pozice, která je specifikována ve zprávě příkazu. Nalezení domácí pozice je potřeba vždy před chodem zařízení.

První slovo definuje, jaký druh akcelerace bude vykonán, jestli konstantní nebo s lineárním průběhem. V této aplikaci bude použit konstantní průběh. Ostatní bity jsou buď konstantně „0“ nebo převádí ovládání do jiného módu, který není v této aplikaci použit.

Nastavení hodnot pozice, rychlost a akcelerace funguje stejně jako nastavování počáteční hodnoty. Nejvýznamnější slovo definuje řád tisíců a nejméně významné slovo stovky, desítky a jednotky. Stůl vždy započne pohyb počáteční rychlostí a poté nastavenou mírou akcelerace zrychluje do zvolené rychlosti.

Vstupní data v režimu příkazů

Když je otočný stůl nakonfigurován, odesílá do robota data o svém pohybu, poloze a jestli nastala nějaká chyba. Přehled dat odesílaných do robota je zobrazen v Tab. 15.

Tab. 15 - Přehled vstupních dat z otočného stolu

Slovo	Informace
0	Status 1
1	Status 2
2	Nejvýznamnější slovo aktuální pozice
3	Nejméně významné slovo aktuální pozice
4	Nejvýznamnější slovo pozice enkodéru
5	Nejméně významné slovo pozice enkodéru
6	Nejvýznamnější slovo zachycené pozice enkodéru
7	Nejméně významné slovo zachycené pozice enkodéru

Slovo Status 1 podává informaci o typu pohybu, který aktuálně stůl vykonává, zda dosáhl požadované pozice, jestli stále akceleruje, nebo již zpomaluje a zda nenastala chyba. Slovo Status 2 sděluje, jaké druhy koncových spínačů jsou aktivní. Tyto spínače jsou popsány v konfigurační zprávě.

Ostatní údaje jsou podávány stejným způsobem jak údaje o rychlosti a poloze v předchozích případech. Tedy nejvýznamnější slovo zastupuje tisíce a nejméně významné slovo nižší řády. Aktuální pozice je založena na počtu pulzů, které byly poslány do otočného stolu. Hodnota se může lišit od hodnoty pozice enkodéru. Ten podává informaci o aktuální poloze jak enkodéru, který je připojen na otočný stůl. Zachycená pozice enkodéru vyjadřuje údaj, který byl na enkodéru přítomen ve chvíli, co byl externí vstup přepnut z „0“ na „1“.

Použitý pohybový příkaz

Pro tuto aplikaci je nutné vytvořit pouze příkaz pro otočení o 180°, tímto pohybem je přesunut prázdné tělo propisky k robotovi a zároveň rozpracovaný montážní celek k pracovníkovi. Protože má pohon rozlišení 16 000 kroků na otočku, jedná se vždy o posun o 8 000 kroků.

Pohyb může nastat vždy ve chvíli, co jsou splněny dvě podmínky. Robot dokončil všechny své úkony a pracovník stiskl potvrzovací tlačítko.

Ke splnění tohoto úkolu je nejvhodnější použít příkaz **Relative move**, který otočí stolem o zvolený počet kroků, který je dán jako parametr příkazu. Po zadání příkazu začne stůl zrychlovat z počáteční polohy navoleným zrychlením, dokud nedosáhne naprogramované rychlosti. Poté z parametru decelerace a rychlosti sám určí, kdy musí začít zpomalovat, aby se v cílové pozici pohyboval počáteční rychlostí a mohlo dojít k zastavení.

Aby bylo dosaženo pohybu za 3 sekundy, je potřeba určit hodnoty zrychlení, zpomalení, rychlosti a času zrychlování a zpomalování. Pro účely této aplikace budu volit shodné hodnoty zrychlení a zpomalení. Zároveň prohlásím, že stůl se bude pohybovat rychlostí 3 000 kroků/s po dobu 2 sekund, na zrychlení o 2 000 kroků/s mu tedy zbývá 0,5 s a 1 000 kroků. Hodnotu zrychlení je možné vypočítat ze vztahu (2).

$$a = \frac{V_s - V_0}{T_a} = \frac{3\,000 - 1\,000}{0,5} = 4\,000 \text{ kroků/s}^2 \quad (2)$$

a	- Akcelerace	[kroky/s ²]
V_s	- Naprogramovaná rychlost	[kroky/s]
V_0	- Počáteční rychlost	[kroky/s]
T_a	- Čas akcelerace	[s]

Celá zpráva pohybového příkazu se skládá z 8 slov. V 0. slově je pouze nastaven jeden bit dávající údaj o typu pohybu, v tomto případě Relative move (Tab. 16). 1. slovo nastavuje doplňující parametry, které zde nejsou použity, Dále je slovy 2 a 3 nastavena cílová pozice na 8 000 kroků. Slova 4 a 5 určují rychlost pohybu 3 000 kroků/s a závěrečné 2 slova stanovují hodnoty zrychlení a zpomalení na 4 000 kroků/s². Protože však vstupní jednotky zrychlení a zpomalení jsou kroky/ms/s, je potřeba upravit řád této hodnoty.

Tab. 16 - Příkaz *Relative move*

Slovo	Výstup	Decimální
0	Exus_stepper_GOUT0	2
1	Exus_stepper_GOUT1	0
2	Exus_stepper_GOUT2	8
3	Exus_stepper_GOUT3	3
4	Exus_stepper_GOUT4	0
5	Exus_stepper_GOUT5	0
6	Exus_stepper_GOUT6	4
7	Exus_stepper_GOUT7	4

Nalezení Home pozice

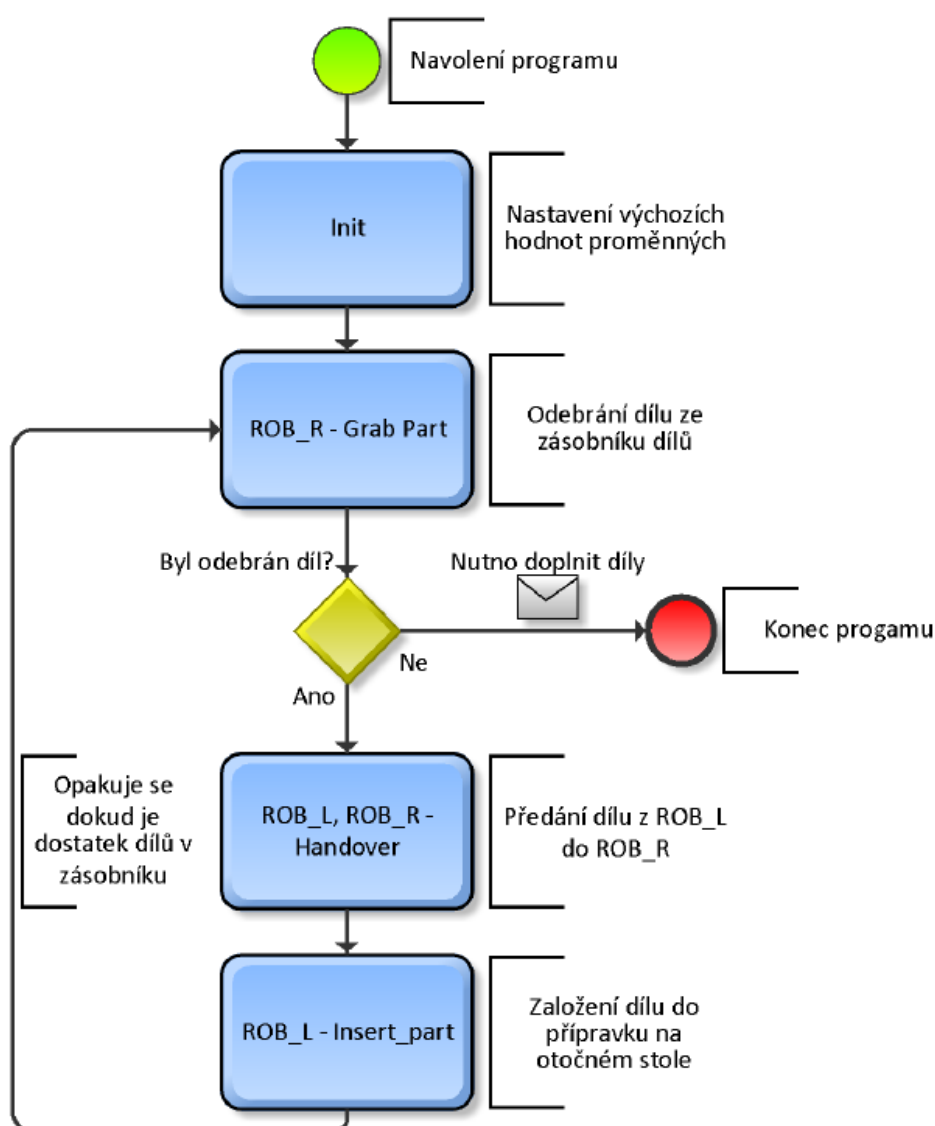
Pro najetí do Home pozice je možné využít stejné hodnoty pro rychlosti a zrychlení. Není potřeba zadávat žádnou hodnotu, polohy, protože cílem úkonu je její nalezení. Ve slově Status 1 reprezentuje operaci **Find Home** bit číslo 5. Celý příkaz je v Tab. 17.

Tab. 17 - Příkaz *Find Home*

Slovo	Výstup	Decimální
0	Exus_stepper_GOUT0	16
1	Exus_stepper_GOUT1	0
2	Exus_stepper_GOUT2	8
3	Exus_stepper_GOUT3	3
4	Exus_stepper_GOUT4	0
5	Exus_stepper_GOUT5	0
6	Exus_stepper_GOUT6	4
7	Exus_stepper_GOUT7	4

7.2 Struktura programu

Celý program lze rozdělit na čtyři základní části Obr. 78. V první části odebere pravé rameno materiál z přípravku, ve druhé jej z důvodu omezené dosažitelnosti předá levému rameni a ve třetí části, levé rameno založí součást do montážního celku na otočném stole. Takto cyklus probíhá, dokud je v zásobníku dílů dostatek materiálu. Ve chvíli, kdy materiál dojde, se program přeruší a pracovník je vyzván k doplnění materiálu. Specifickou částí je inicializace, která proběhne vždy právě jednou při navolení programu.



Obr. 78 - Struktura hlavního programu

7.2.1 Inicializace

Jak bylo již zmíněno, podprogram inicializace proběhne vždy právě jednou při spuštění hlavního programu. Hlavním úkolem tohoto podprogramu je nastavení výchozích hodnot proměnných systému a načtení parametrů ze vstupně - výstupních zařízení. U systémových proměnných se jedná zejména o vynulování hodnoty probíhajícího cyklu a chybějících dílů, aby začal robot odebírat materiál z první pozice. U vstupně - výstupního zařízení výškově stavitelného stolu si robot načte jeho aktuální polohu a podle ní upraví všechny pozice, do kterých má najíždět, aby nedošlo ke kolizím. U otočného stolu jde také o aktuální pozici. Pokud otočný stůl není ve své domácí pozici, ovladač robota vyšle příkaz o najetí právě do domácí pozice otočného stolu.

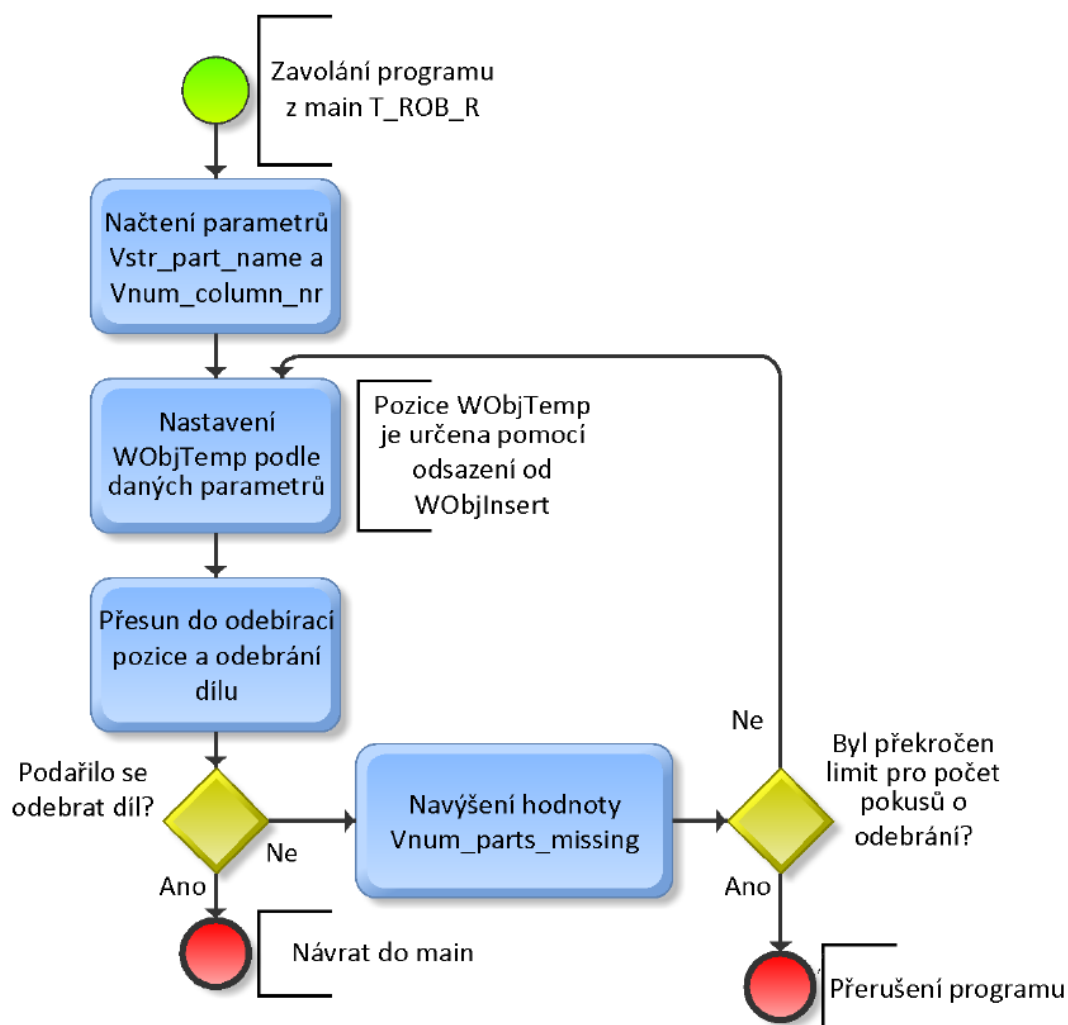
7.2.2 Odebrání dílu z přípravku

Funkce tohoto podprogramu spočívá v chytrém odebírání dílů z přípravku. Vzhledem k tomu, že na přípravku je velké množství odebíracích pozic, je potřeba odebírací proces vyřešit takovým způsobem, aby při každém uvedení do provozu, nebo pouhém pohnutí s přípravkem nebylo potřeba najíždět každou pozici znova. Toho je docíleno pomocí konstantních pozic mezi součástmi, shodnou výškou odebírací pozice a odsazováním odebírací pozice v osách x a y . Při uvedení pracoviště do provozu tedy stačí pouze správně naměřit souřadný systém přípravku (WObjInsert) a první odebírací pozici. Schéma tohoto podprogramu je zobrazeno na Obr. 79.

Po zavolání si tento podprogram načte, podle jména součásti a toho, kolikáté součást odebírá parametry, stávající odebírací pozice. Také se WObjInsert uloží do nového dočasného souřadného systému (WObjTemp). Tento nový souřadný systém je odsazen v ose x podle toho, kolikátý cyklus právě probíhá a v ose y podle toho, kterou součást má odebrat. Odsazováním souřadného systému místo bodu se výrazně sníží chyba polohy robota v krajních odebíracích pozicích.

Poté co robot najede do správné pozice, dojde k uchopení součástí a odjede z prostoru přípravku tak, aby mohl program dále probíhat. Pokud k uchopení nedojde, robot to zjistí pomocí enkodéru ve Smart Gripperu, který podá informaci o poloze prstů pomocí příkazu `g_GetPos`. V tomto případě bude hodnota nulová, protože se prsty nezastavily o žádnou součást. Po detekci neuchopení robot pokračuje k následující pozici v ose x a celý proces

opakuje do té doby, než vyčerpá všechny pozice. Pokud všechny pozice vyčerpá, na panelu se objeví zpráva pro obsluhu s vyzváním k doplnění materiálu do přípravku.



Obr. 79 - Struktura podprogramu od odebírání dílů z přípravku

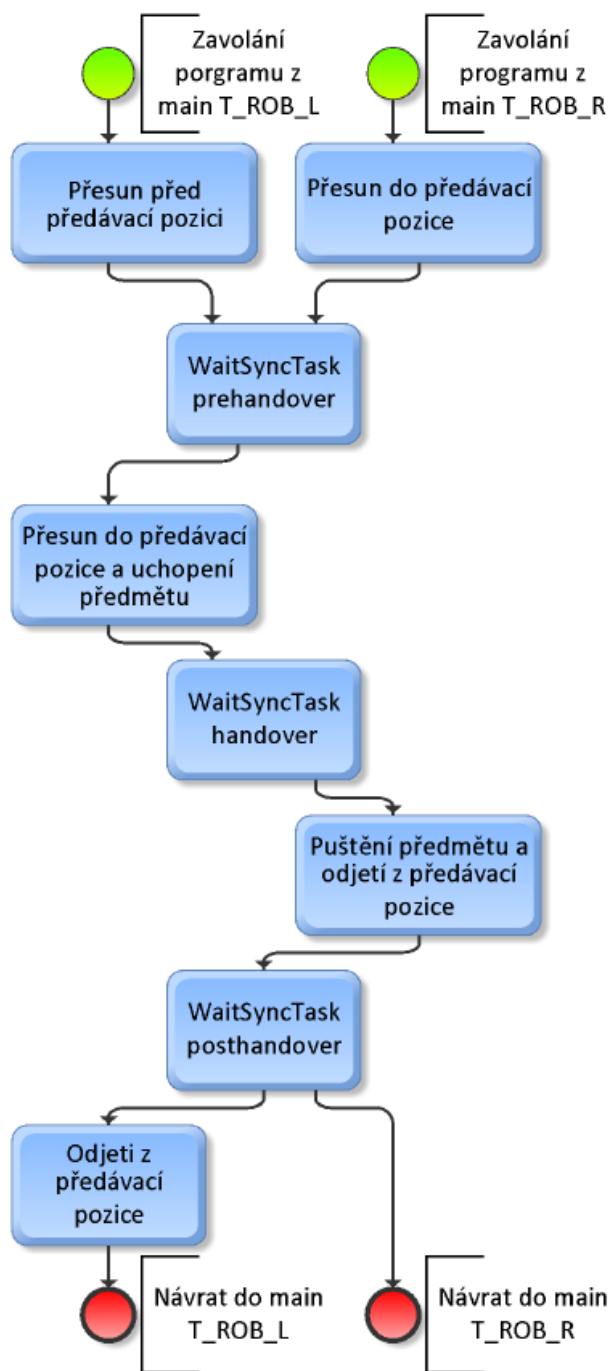
7.2.3 Předání dílu mezi rameny

Kvůli omezenému dosahu jednotlivých ramen není možné, aby stejné rameno odebíralo díl z přípravku a zároveň jej zakládalo. Z toho důvodu je nutné, aby si mezi těmito operacemi díly předaly. Pro tyto případy je IRB 14000 vybaven sadou příkazů „MultiMove“, která slouží k synchronizaci pohybů obou ramen.

Tento podprogram (Obr. 80) si z hlavního programu musí načíst název součásti, která se bude předávat, protože díly mají specifické předávací pozice. Tímto vzniká potřeba si každou pozici specifikovat zvlášť, není to ovšem takový problém jako v předchozím podprogramu, protože

k této operaci dochází ve vzduchu a není ji tedy nutné při každém uvedení do provozu opakovat.

Na začátku je pravé rameno držící součást, které najede do předávací pozice a spustí první synchronizační příkaz (WaitSyncTask). Tím dá najevo druhému rameni, že může odebrat součást. Levé rameno tedy také najede do předávací pozice a uchopí díl. Po uchopení dílu, spustí druhý synchronizační příkaz čímž, dá najevo pravému rameni, že může díl pustit a opustit předávací prostor. Poté již pouze levé rameno s dílem také opustí předávací prostor.

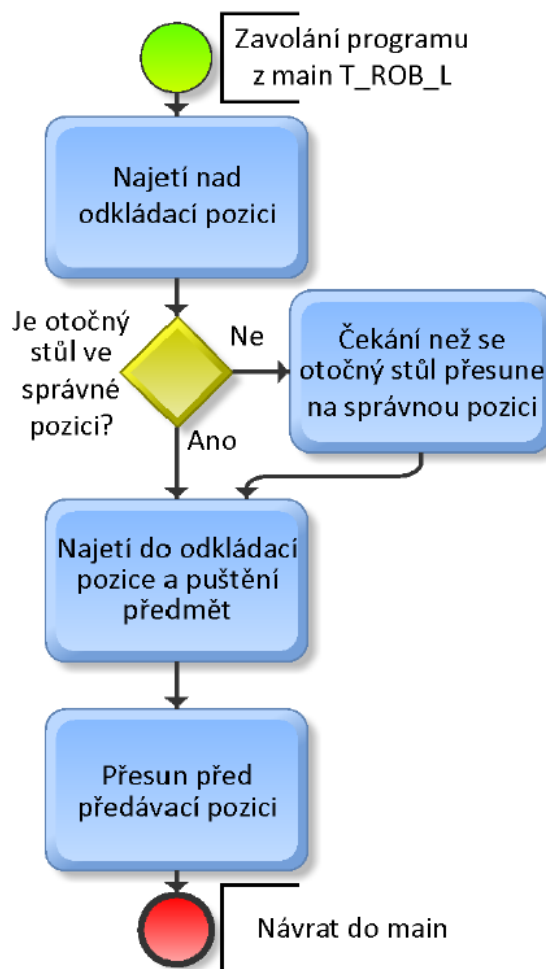


Obr. 80 - Struktura podprogramu pro předání dílu mezi rameny

7.2.4 Založení dílu do těla propisky

Poslední částí cyklu je založení dílu do těla propisky na otočném stole (Obr. 81). Po předání dílu je předmět uchopen v prstech levého robotického ramene. Levé rameno nejprve musí najet nad otočný stůl do blízkosti odkládací pozice. Na této pozici je potřeba zkontrolovat, zda je otočný stůl ve správné poloze. V případě že není, musí robot čekat do chvíle, než se otočný stůl přesune do správné pozice. Ve chvíli, kdy robot detekuje otočný stůl ve správné poloze,

přesune se do odkládací pozice a odloží součást. Přesná poloha odkládací pozice je závislá na konkrétní součásti. Po odložení se levé rameno přesune zpět do předávací pozice a čeká na první synchronizační signál pravého ramene.



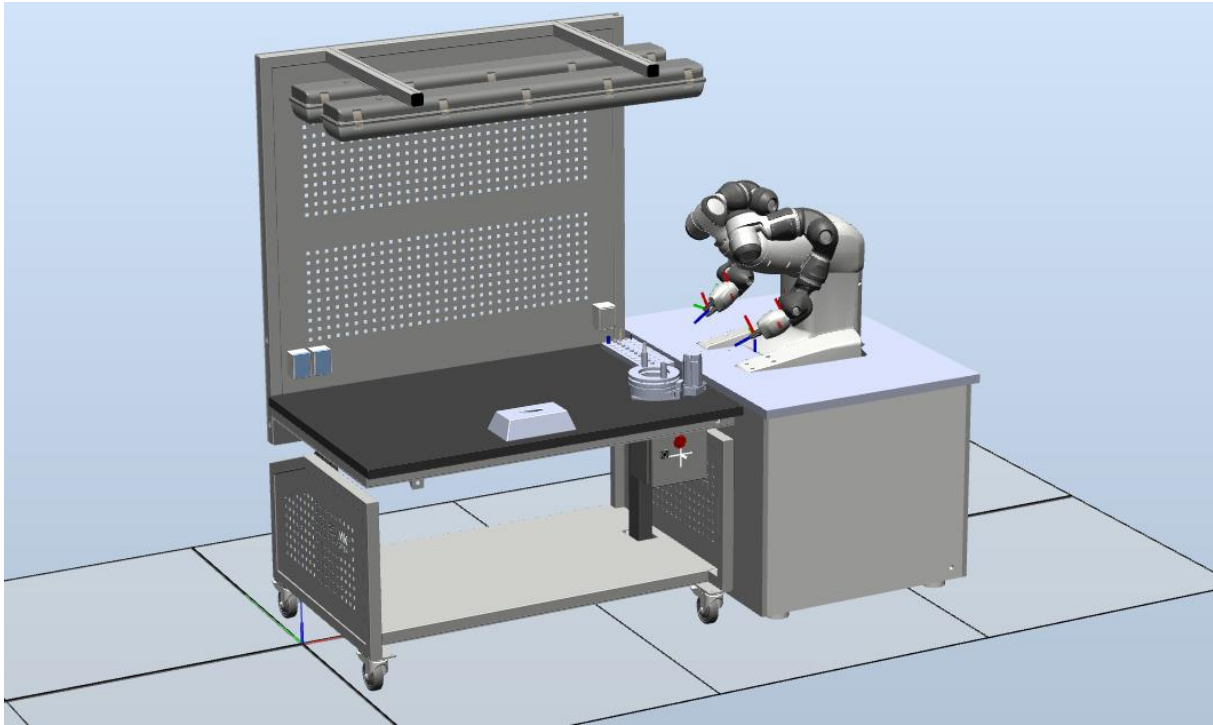
Obr. 81 - Struktura podprogramu pro odkládání dílu

7.3 Simulace v RobotStudiu

Simulací v RobotStudiu dojde k ověření navrženého průběhu práce robota v předchozí kapitole. Z této simulace, kromě ověření, vyplyne také čas, který robotovi zabere vykonání jednoho cyklu. Tvorba simulace probíhá ve vizuálním prostředí programu, které umožňuje intuitivní zadávání příkazů a trajektorií robota. Tyto příkazy jsou následně přeloženy do proprietárního programovacího jazyka společnosti ABB RAPID. Tento jazyk, založený na jazyce C, je poté přeložen do strojového kódu pro robota.

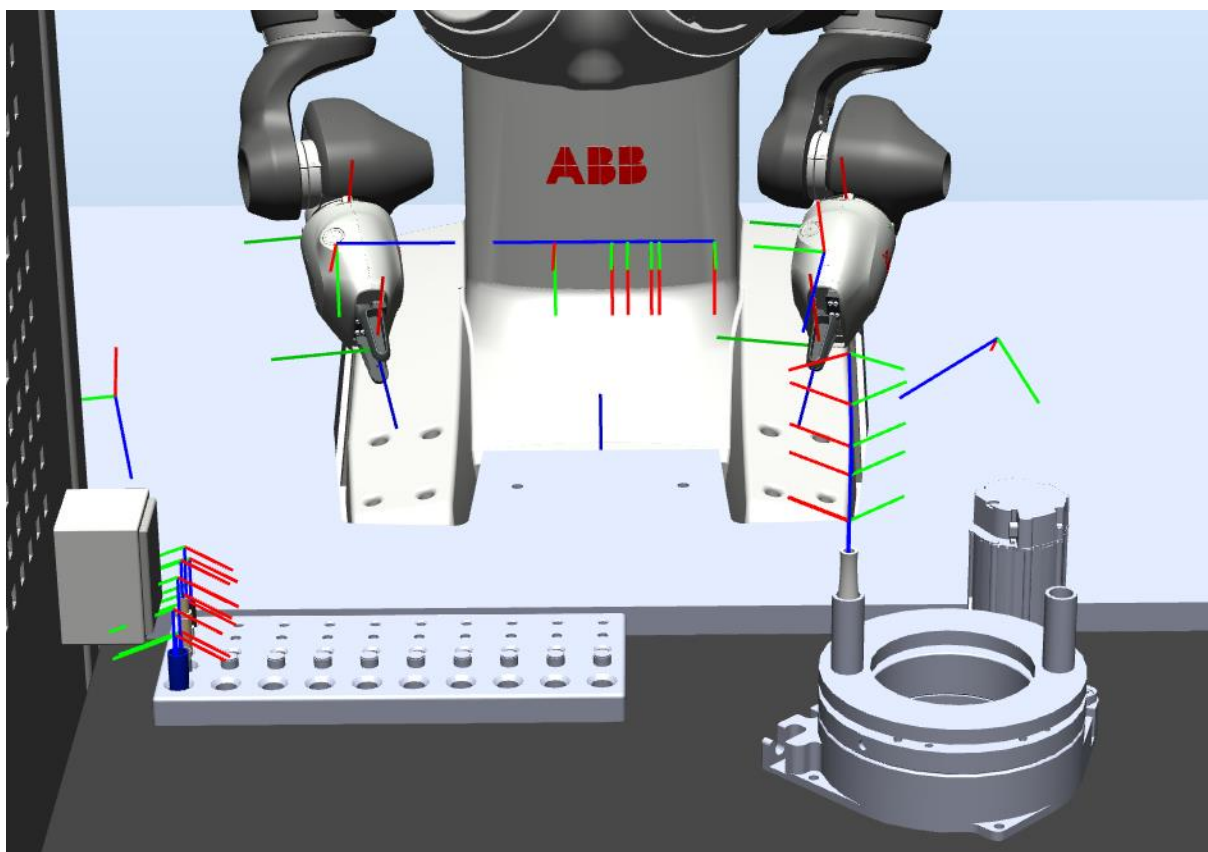
Prvním krokem při vytváření simulace je import všech součástí pomocí **Import Geometry** v záložce **Home**. K tomuto účelu je potřeba převést všechny modely do formátu SAT, který

ukládá data v ASCII textu. Po importu je potřeba jednotlivé součásti uspořádat do stavu v jakém se nachází na pracovišti (Obr. 82). V RobotStudiu se k přesouvání předmětů používá především příkaz **Place**, který umístí souřadný systém přesouvané součásti na vybrané místo, dále je možné pozici upravovat pomocí **Move** nebo **Offset**.



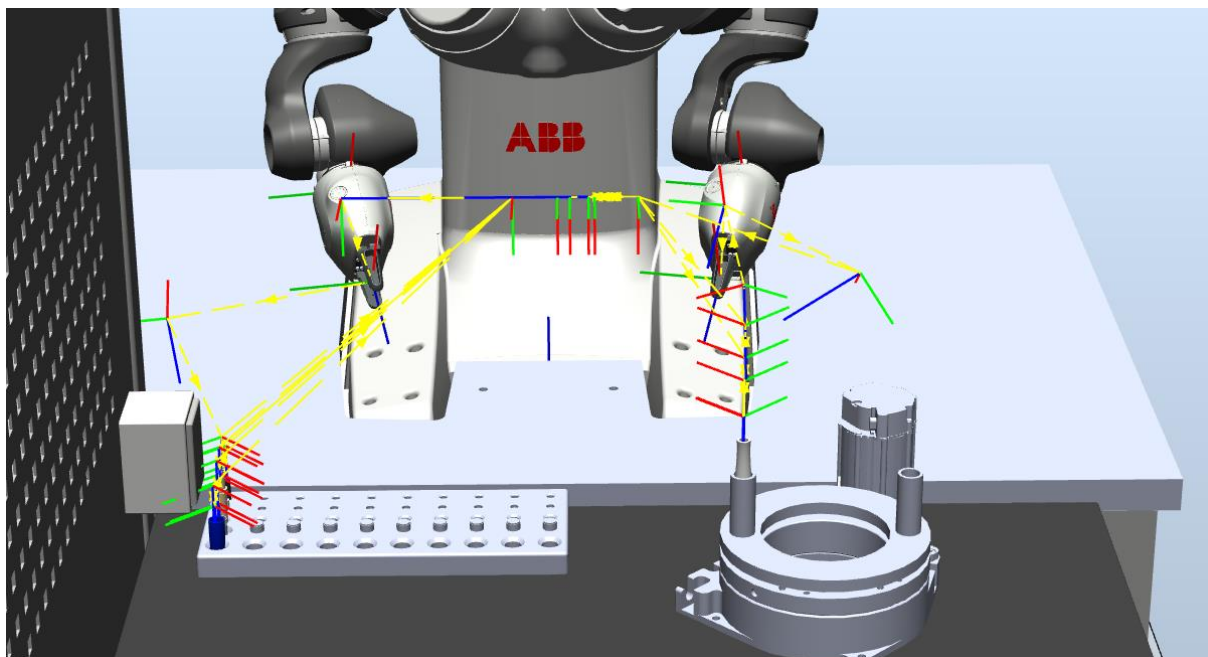
Obr. 82 - Model pracoviště v RobotStudiu

Dalším krokem je vytvoření jednotlivých bodů, do kterých má robot najíždět. Jedná se především o odebírací, předávací a odkládací body, kromě těchto bodů byly přidány i body, které mají za cíl upravit určité trajektorie, aby nedocházelo ke kolizím nebo singularitám v pohybu. Body se vytváří pomocí příkazu **Create Target** v záložce Home. Jednotlivé body jsou reprezentovány svými souřadnými systémy Obr. 83. Poté je vybrána pozice ve vizuálním prostředí. Po tomto vybrání bodu je možné zobrazit nástroj v bodě pomocí **View Tool at Target**, toto umožní snadnější úpravu orientace souřadného systému bodu příkazem **Rotate**.



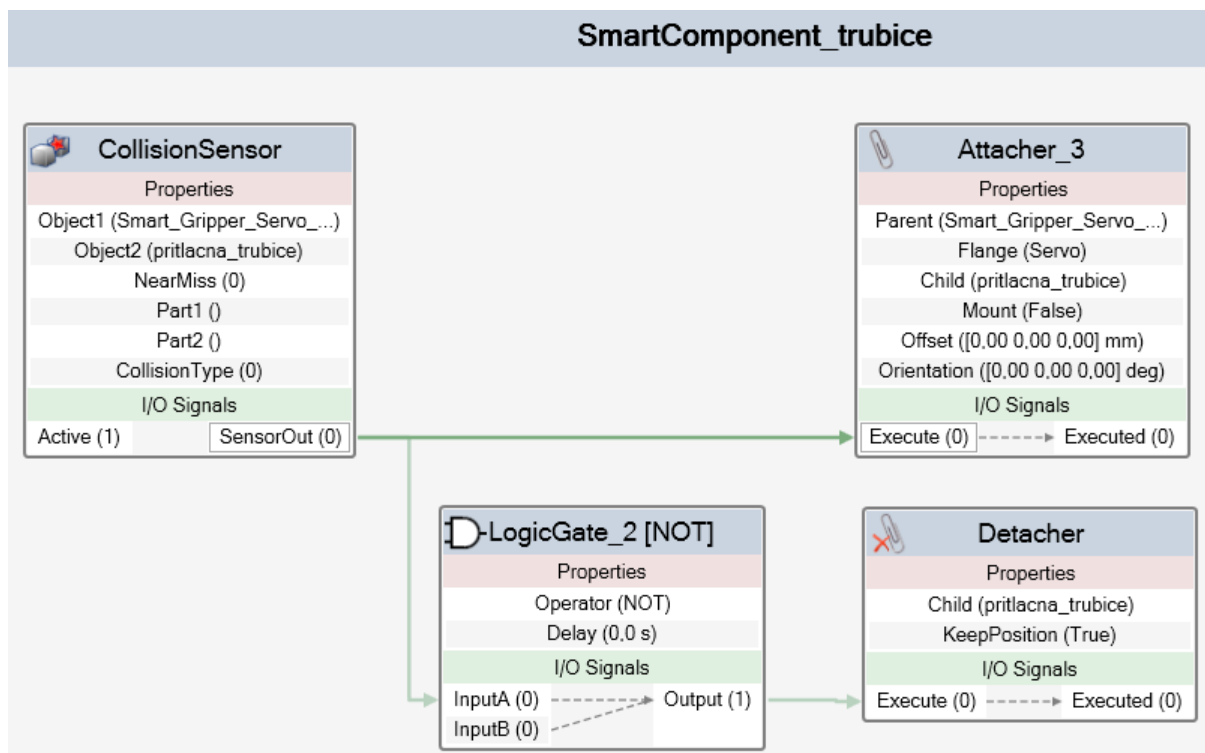
Obr. 83 - Zobrazení všech vytvořených bodů

Po vytvoření bodů je možné z nich vytvořit trajektorie. Nejprve se vytvoří prázdná trajektorie pomocí **Empty path** v záložce Home a poté se do ní přidají jednotlivé body, zobrazené v záložce **Paths&Targets** v požadovaném pořadí. Takto se vytvoří trajektorie pro každý požadovaný pohyb. Trajektorie jsou na Obr. 84 reprezentovány žlutými čarami. Pro každý bod v trajektoriích lze následně vybrat typ pohybu, rychlost pohybu a míra aproximace. Ta udává, jak daleko okolo bodu může robot při pohybu projet. Pokud je aproximace nastavena na parametr **fine**, robot musí přijet až do bodu a zastavit se v něm, než může pokračovat k dalšímu bodu. V opačném případě je ukazatel programu a pozice robota nesynchronizován a není možné přesně ovládat gripper. Pro vizualizaci projetí trajektorie je možné využít **Move Along Path**. Toto zobrazí, jaké konfigurace os robot použije v jednotlivých bodech, z čehož je možné vyčíst jak obtížné je pro něj do určitých bodů najíždět.



Obr. 84 - vytvořené trajektorie

Po takto vytvořených trajektoriích robot sice vykonává správné pohyby, avšak nedochází k uchopování a přesouvání dílů propisky. Aby k uchopování mohlo docházet je potřeba vykonat sérii úkonů. Jako první bylo vytvořena pro každou přesouvanou součást **SmartComponent**. Toto v podstatě umožňuje programovat chování jednotlivých dílů. Ke každé SmartComponent je přidán **CollisionSensor** (senzor, zda je součást v kolizi s jinou zvolenou součástí), **Attacher** (při přijmutí signálu TRUE spojí 2 zvolené součásti) a **Detacher** (při přijmutí signálu TRUE zvolenou součást odpojí od ostatních součástí). Princip takového uchopování spočívá v tom, že ve chvíli, kdy se prsty gripperu dotknou součásti, je součást spojena s prsty, a ve chvíli kdy se prsty gripperu otevřou a kontakt již není přítomen, se součást od gripperu odpojí a zůstane na místě. Aby bylo možné docílit odpojení součásti, je potřeba vytvořit i logický člen **LogicGate_NOT**, který neguje signál mezi CollisionSensorem a Detacherem. V aplikaci s robotem se dvěma gripperly, je potřeba pro každou součást vytvořit SmartComponent dvakrát, jednou pro levé rameno a jednou pro pravé rameno. Relace vytvořené pro každou SmartComponent se nachází na Obr. 85.



Obr. 85 - Schéma SmartComponent

Po tomto umožnění odebrání předmětů, je stále potřeba vyřešit ovládání. Standardní v tomto případě by byla instalace nejnovější verze balíku SmartGripperu a poté napsání příslušných příkazů v RAPID editoru. Avšak tento balíček nebylo možné zprovoznit kvůli neznámé chybě. Alternativním postupem je vytvořit virtuální signály, které po zavolání nastaví gripper do požadovaného otevření. Jako první je potřeba vytvořit požadované konfigurace mechanismu gripperu. Příkazem **ModifyMechanism** je možné zobrazit aktuálně dostupné pózy (**Poses**) gripperu a přidat požadované parametry rozevření prstů. Pro tuto aplikaci jsem vytvořil pózy Open a Close. Dalším krokem je vytvoření virtuálních signálů v **Event Manageru**, záložka Simulace, roleta pod Simulation Logic. Po kliknutí na **Add** se zobrazí vyskakovací okno, kde se nakonfiguruje, o který signál se jedná, aktivní úroveň „1“, akce: **Move Mechanism To Pose**, zvolený mechanismus a póza. Takto je potřeba vytvořit virtuální signály pro oba gripperu.

Activation	Tri...	Trigger Sys...	Trigger Name	Trigg...	Action Ty...	A	Action Name	Action Parameter
On	I/O	IRB_14000_...	custom_DO_0	1	Move Me...		Move Mechani...	Smart_Gripper_Servo_Fingers_2 : Open
On	I/O	IRB_14000_...	custom_DO_1	1	Move Me...		Move Mechani...	Smart_Gripper_Servo_Fingers_2 : Close
On	I/O	IRB_14000_...	custom_DO_4	1	Move Me...		Move Mechani...	Smart_Gripper_Servo_Fingers : Open
On	I/O	IRB_14000_...	custom_DO_5	1	Move Me...		Move Mechani...	Smart_Gripper_Servo_Fingers : Close

Obr. 86 - Virtuální signály v Event Manageru

S takto vytvořenými signály (Obr. 86) je již možné vytvořit logiku programu pro simulaci. Jedná se zejména o přidání aktivace signálů a synchronizace ramen. Před každou odebrací pozicí je

třeba nastavit parametr aproximace pohybu na fine. Toto umožní změnu otevření gripperu přímo v tomto bodě. Aktivace signálu pro přestavení gripperu je provedení pomocí funkce **PulseDO**. Toto vyše pulz zvoleného digitálního výstupu (DO – Digital Output). Pulz má oproti nastavení hodnoty trvale výhodu, že jej není třeba nulovat. Synchronizace ramen je provedena pomocí příkazů **WaitSyncTask**. Jsou potřeba tři, což vyplývá z principu předání.

Při nastavení dvojí rychlosti pohybů na 500 mm/s a 1000 mm/s, rychlejší pro mezipohyby a pomalejší pro přesné pohyby, trvá jeden cyklus montáže 19 s.

Video zachycující simulaci je přiloženo k práci jako elektronická příloha.

8 Zhodnocení práce

Tato kapitola slouží ke zhodnocení navrženého pracoviště, pracovního postupu a využití kolaborace. Současně také vytyčí, jaké další úkony by bylo potřeba provést do budoucna, aby takto navržené pracoviště mohlo být uvedeno do bezproblémového chodu.

Čas montáže

Doba, za kterou bude zkompletována jedna propiska, není jen součtem robotické a manuální montáže. Tento součet je platný pouze pro první smontovaný kus. U prvního kusu pracovník nemá, v průběhu robotické montáže, rozpracovanou propisku ke smontování. Je nutné brát v úvahu také dobu otočení stolu a fakt, že dochází k částečnému překrytí obou druhů montáže. Čas robotické montáže je možné odečíst z doby trvání simulace, který byl 19 s. U ruční montáže není simulace přesným zdrojem dat, kvůli zkrácení ke kterému často dochází při šroubovacích operacích, z tohoto důvodu jsem zvolil metodu vytvoření snímku operace.

Z měření (Tab. 18) je patrné, že ruční montáž zabere 18,4 s. Pro vyhodnocení času jsem použil metodu Zkráceného průměru (*Truncated mean*), kde se oproti klasickému výpočtu průměru vyškrtnou nevyšší a nejnižší hodnota. Po přičtení dvojího otočení stolu, které každé zabere 3 s, je možné prohlásit, že doba montáže první propisky je 43,4 s. U ostatních cyklů platí, že pracovník má práci hotovou dříve než robot a musí na něj čekat. Doba cyklu je čas robota a dvakrát čas otočení stolu, tedy 25 s. Přehled jednotlivých časových údajů je v **Chyba! Nenašel jsem zdroj odkazů.**

Tab. 18 - Měření času ruční montáže

Měření n	Čas t_i [s]
1	18,7
2	19,4
3	19,9
4	17,9
5	18,2
6	17,3
7	18,5
8	17,9
Průměr \bar{t}	18,4
Směrodatná odchylka σ	0,52

Použité vztahy:

Průměr -
$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t}{n} \quad (3)$$

Směrodatná
odchylka -
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (4)$$

Tab. 19 - Přehled časů montáže

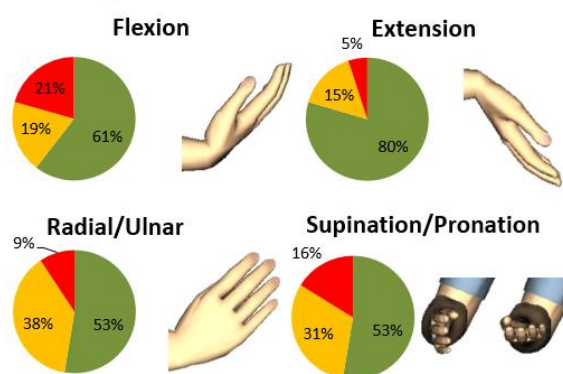
Úkon	Montáž pracovníka	Robotická montáž	Otočení stolu	Σ prvního cyklu	Σ běžného cyklu
Čas [s]	18,4	19	3	43,4	25

Zatížení pracovníka

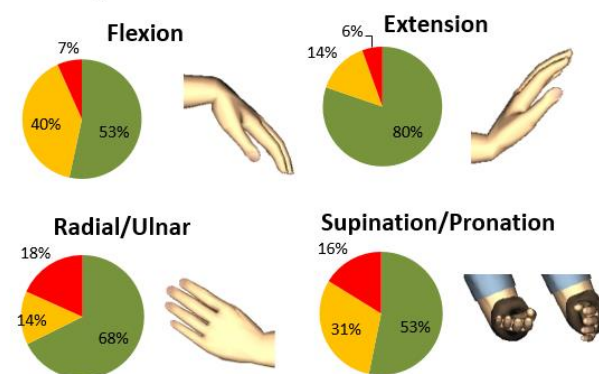
Ze simulace v PS Human je možné vyčíst údaje o uražené vzdálenosti rukou a jaké části těla jsou vhodně či nevhodně zatíženy.

Výstupy jasně ukazují, že nejvíce zatíženy jsou horní končetiny a krk. U zápěstí se jedná o úkony spojené s vybíráním materiálu z krabiček a spojování dílů šroubováním. Na Obr. 87 jsou zobrazeny podíly mírné, průměrné a značné zátěže v průběhu jednoho pracovního cyklu, jak je vyhodnotil PS Human. Z tohoto důvodu by bylo vhodné zvážit, jestli nevyužít některý druh podavače materiálu. Lokty jsou zatíženy zejména na ohyb (Obr. 88), pro zmírnění této zátěže by bylo možné využít opěrky, aby mohl pracovník dát loktům odpočinout. Krk je namáhán rotací a ohybem (Obr. 89). Zmírnění vlivu ohyb lze docílit vhodným nastavením výšky pracovního stolu. Rotace krku pracovníka je spíše nevyhnutelná, jelikož otočný stůl a krabičky s materiálem se vždy, z prostorových důvodů, budou nacházet ve větší vzdálenosti.

Pravé zápěstí:

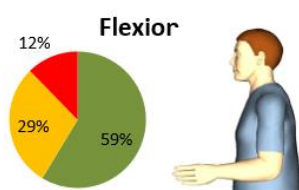


Levé zápěstí:

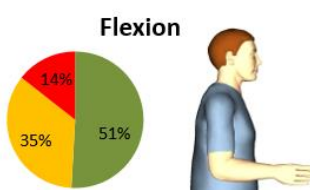


Obr. 87 - Zatížení zápěstí

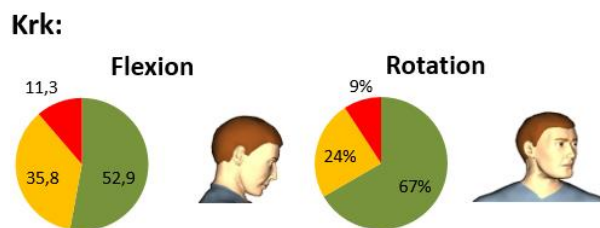
Levý loket:



Pravý loket:

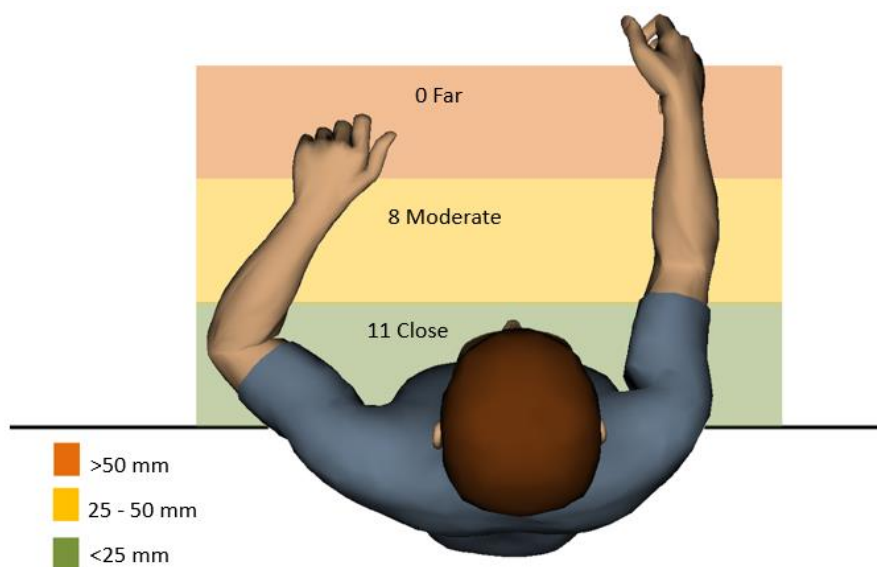


Obr. 88 - Zatížení loktů



Obr. 89 - Zatížení krku

Celkovou vzdálenost uraženou rukami za jeden pracovní cyklus PS Human vypočítal na 2 665 mm. Z celkového počtu 19 pohybů PS Human určil 11 jako blízkých a 8 jako průměrných (Obr. 90). Žádný z pohybů nebyl vyhodnocen jako příliš vzdálený. Rozdělení vyhodnocuje podle dopředné vzdálenosti každého pohybu.



Obr. 90 - Rozdělení pohybů podle dopředné vzdálenosti

Celkový počet pohybů je možné určit částečným využitím metody MTM. Takto se označí a sečtou všechny pohyby, které pracovník vykonává rukami za jeden cyklus. Současně s tím, je potřeba určit počet propisek, které jsou smontovány za jednu směnu. Z těchto dvou údajů je možné vypočítat celkový počet pohybů každou rukou za směnu.

Z Tab. 20 vychází, že počet pohybů levou rukou za jeden cyklus je 30 a počet pohybů pravou rukou 24. Dalším údajem potřebným pro výpočet počtu pohybů za směnu je čas práce. Ten se určí jako čas směny bez přestávek, ztrát a času na přípravu směny. Z Tab. 21 vychází jako čas práce 410 minut, nebo 24 600 s.

Tab. 20 - Pohyby rukou při montáži

Levá ruka	Pravá ruka	Levá ruka	Pravá ruka
	Přesunutí ruky	Přesunutí ruky	
	Uchopení propisky	Nasměrování pružinky	
	Přesunutí propisky	Puštění pružinky	
Uchopení propisky		Přesunutí ruky	
	Šroubování propisky	Uchopení špičky	
	Puštění propisky	Přesunutí ruky	
	Přesunutí propisky	Nasazení špičky	
	Uchopení propisky	Šroubování špičky	
	Šroubování propisky	Puštění špičky	
	Puštění propisky	Přesunutí ruky	
	Přesunutí propisky	Uchopení špičky	
	Puštění propisky	Šroubování špičky	
	Přesunutí ruky	Puštění špičky	
	Uchopení těla propisky		Přesunutí ruky
	Přesun k přípravku		Uchopení propisky
	Nasměrování těla		Přesunutí propisky
	Puštění těla propisky	Přesunutí ruky	
	Přesun k potvr. tlačítku	Uchopení tlačítka	
	Stisknutí potvr. tlačítka	Přesunutí tlačítka	
	Uvolnění potvr. tlačítka	Nasazení tlačítka	
Přesunutí ruky		Šroubování tlačítka	
Uchopení náplně		Puštění tlačítka	
Přesunutí ruky		Uchopení tlačítka	
Nasměrování náplně		Šroubování tlačítka	
Puštění náplně		Puštění tlačítka	
Přesunutí ruky			Přesunutí propisky
Uchopení pružinky			Puštění propisky

Tab. 21 - Zjištění času práce

Typ času	Čas směny	Obecně nutné přestávky	Osobní ztráty	Tech. – org ztráty	Směnový čas	Čas práce
Trvání [min]	480	30	15	10	15	410

Pro tento výpočet je nutné stanovit dávkový čas. Jedna dávka je 10 kusů, tento údaj vychází z koncepce přípravku, do kterého je možné založit díly na 10 propisek. Do dávkového času spadá především čas za který jsou založeny všechny potřebné díly do přípravku. Tento úkon zabere přibližně 2 minuty. Doba montáže jedné dávky je tedy 10 pracovních cyklů a 1 dávkový

čas. Z těchto 10 pracovních cyklů je úvodní prodloužený a 9 běžných. Po sečtení všech těchto časů je možné určit dobu montáže 1 dávky (Tab. 22), která je 388,4 s.

Tab. 22 - Doba montáže 1 dávky

Úkon	Dávkový čas	Úvodní cyklus	Ostatní cykly	Doba montáže 1 dávky
Trvání [s]	120	43,4	25	388,4

Vydělením času práce dobou montáže jedné dávky vychází, že pracovník je schopen smontovat 63 dávek za jednu směnu, tedy 630 kusů. Z Tab. 23 vyplývá, že celkový počet pohybů levou rukou za směnu je 18 900 a pravou rukou 15 120. Frekvence pohybu, která odpovídá celkovému počtu pohybů rukou pod 20 000 za směnu je pro pracovníka zdravá a z ergonomického hlediska je tedy možné prohlásit operaci za nezávadnou.

Tab. 23 - Celkový počet pohybů

Počet smontovaných dávek	Počet smontovaných kusů	Pohyby levou rukou	Pohyby pravou rukou
63	630	18 900	15 120

Přínosy a negativa kolaborace

Obecně jsou jako hlavní přínosy kolaborativních robotů na pracovišti prezentovány zvýšení produktivity, odklon škodlivé práce na roboty a jejich snadná implementace. V případě, že tyto dvě podmínky pro nasazení nejsou splněny, dochází k tomu, že pracovníci ve výrobním procesu roboty využívají nesprávně nebo vůbec. Investice do kolaborativního robota tím může být zmařena. Právě toto bývá pro firmy dnes velkou výzvou, proto je žádoucí vytvářet modelová kolaborativní pracoviště. Co se týče snadné implementace, ta je ulehčena možností ručního navádění robota. Kromě toho však, je vytváření programu z pohledu návrhu jeho struktury, logiky a robustnosti totožné jako u klasických robotů. Negativní stránkou kolaborace je zvýšená cena za vytvoření pracoviště. V současné době jsou kolaborativní roboti dražší i ve srovnání s klasickými průmyslovými roboty. Společně s tím, je potřeba brát v úvahu, že aplikace tohoto zařízení také klade vyšší nároky na kvalifikaci personálu v podniku. Průměrný montážní pracovník není schopen sám ovládat robota ani jej programovat, což platí i pro klasické roboty. Tato nevýhoda, avšak může být přetavena ve výhodu, pokud podnik vyvine

snahu o zvýšení kvalifikace svých zaměstnanců. V případě, že se mu to podaří, zvýší tím flexibilitu svých lidských zdrojů, která se v budoucnu může odrazit ve vyšší konkurenceschopnosti celého podniku.

Hlavním přínosem kolaborativního robota na tomto pracovišti je snížení objemu práce, kterým je pracovník zatížen. Robot je zodpovědný za montáž poloviny všech součástí a pracovník tedy není vytížen tolik, jako kdyby celou montáž prováděl sám. Dále je také montáž zrychlena. Díky tomu, že při kolaborativní montáži je možné, aby pracovník i robot současně pracovali na stejné pracovišti v těsné blízkosti. Přítomnost moderní technologie v blízkosti pracovníka také zvyšuje jeho míru angažovanosti (tzv. *involvement*) v podniku.

Úkoly do budoucna

V této práci je navržena struktura programu, tak aby bylo zajištěno zejména funkční hledisko při správném chodu. Do budoucna je potřeba program doplnit o chování robota v chybových scénářích práce. Může se jednat o chybějící materiál, nevhodně založené díly do propisky nebo upadnutí dílu při robotické manipulaci. Ani bez těchto částí není ohrožena bezpečnost kolaborace, avšak vhodná opatření výrazně sníží počet nevhodně smontovaných kusů a zrychlí montáž, protože nebude potřeba zásahů operátora.

Dalším úkolem do budoucna je propojení robota s výškově stavitelným stolem a potvrzovacím tlačítkem. V době vytváření této práce ještě nebyly dodány a nebylo tedy možné tato zařízení propojit. Současně s propojením je také nutné upravit robotický program, aby reagoval na zvýšení pracovní roviny. Toho bude docíleno pomocí načtení parametru vyložení stolu a následné odsazení všech souřadných systémů, které robot používá, o načtenou hodnotu. Tyto úkony budou v podprogramu inicializace.

9 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá návrhem pracoviště kolaborativní montáže. Motivace za návrhem je ve vytvoření modelového pracoviště, na kterém je možné zkoumat vlivy implementace kolaborativního robota v montážním procesu.

První část je zaměřena na teoretické přiblížení problematiky montáže, ergonomie a kolaborativní robotiky. Kombinace těchto znalostí je nezbytná ke správnému návrhu takového pracoviště.

V následující kapitole byl nejprve zvolen předmět montáže. Tím se stala konferenční propiska ČVUT. Tento předmět je vhodný pro kolaborativní montáž pro svou nízkou hmotnost a adekvátní míru přesnosti, kterou montáž vyžaduje. Poté byly navrženy 4 koncepce možného provedení pracoviště. Po zvážení využití kolaborace, ergonomičnosti, ceny a náročnosti na realizaci byl vybrán návrh, který nejlépe využívá možnosti kolaborace při montáži.

Pro zvolenou variantu byl rozpracován a popsán montážní postup robota i člověka. Dále bylo navrženo pracovní příslušenství. Jde o přípravky na zakládání materiálu robotem a člověkem, a prsty efektoru robota. Pro navržené pracoviště byla zpracována také analýza rizik, jak ji předepisuje technická specifikace ISO/TS 15066. Analýza objevila riziko v podobě ohrožení očí pracovníka při manipulaci robota s materiálem. K eliminaci tohoto rizika byly navrženy jako řešení ochranné brýle.

Po rozpracování pracoviště bylo dalším krokem vytvoření robotického programu. K tomu je potřeba propojit s robotem otočný stůl. Stůl je ovládán příkazy z robota, které nejprve definují, jak je používán a následně jej otáčí do požadovaných pozic. Poté byla navržena struktura programu z hlediska toho, jaké podprogramy budou využity. Každý podprogram je ilustrován schématem své struktury, ze kterého je patrná jeho funkce. Takto navržený program byl následně simulován v RobotStudiu, čímž došlo k ověření tohoto návrhu.

Na závěr jsou zhodnoceny parametry montážní operace. Takt pro smontování jedné propisky je 23 sekund. Také je popsáno zatížení, kterému je vystaven pracovník a obecné přínosy kolaborace. Hodnoty zatížení byly získány ze simulace provedené v programu Process Simulate Human. Pro určení počtu pohybů rukou bylo nutné nejprve rozložit proces montáže na jednotlivé pohyby a určit počet smontovaných propisek za směnu. Poté bylo zjištěno, že

pracovník vykoná levou rukou 18 900 pohybů a pravou rukou 15 120. Tyto hodnoty jsou z ergonomického hlediska vyhovující a prokazují, že toto kolaborativní pracoviště není pro pracovníka zdravotně závadné.

Použitá literatura

- [1] PETRŮ, J. a ČEP, R. Základy montáže [Online]. Ostrava: Fakulta strojní VŠB - TUO. [vid. 21. 4. 2019] Dostupné z:
http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Zaklady_montaze.pdf
- [2] Základy montáže [Online]. Fakulta strojní ZČU. [vid 30. 4. 2019] Dostupné z:
https://www.old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_dokumenty_FST/_akreditace-FST-09/DATA/ukazky/2%20ZAKLADY%20MONTAZE%20FOL.pdf.
- [3] JUŘICOVÁ, Vendula. Koncept montážní linky pro montáž centrální části systému termoregulace motoru Brno, 2015. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [5] CHUNDELA, Lubor. Ergonomie, 3. vydání Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [6] NOVÁK, J. a ŠLAMPOVÁ, P. Racionalizace výroby [Online]. Ostrava: Fakulta strojní VŠB - TUO [vid. 30. 5. 2019]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>.
- [7] GOLDFINGER, Michal. Aplikace metod předem stanovených časů ve výrobním podniku, Plzeň, 2012. Diplomová práce. ZČU v Plzni, Fakulta strojního inženýrství, Průmyslové inženýrství a management
- [8] LHOTSKÝ, Oldřich. Organizace a normování práce v podniku. Praha: ASPI, 2005. Lidské zdroje (ASPI). ISBN 80-7357-095-5.
- [9] Ergonomie uplatňovaná v technické praxi [Online] Znalostní systém prevence rizik v BOZP [Online]. Available: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/ergonomie/547-poznatky-ergonomie-uplatnovane-v-technicke-praxi>. [Vid 12. 7. 2019].
- [10] Ergonomie pracovního místa [Online]. Znalostní systém prevence rizik v BOZP. [vid. 20. 4. 2019] Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/ergonomie/337-ergonomie-pracovniho-mista#d>

- [11] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb [Online]. Zakonyprolidi.cz. [vid 22. 4. 2019] Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>.
- [12] H. ČECHOVÁ, Lokální svalová zátěž a pracovní polohy [Online] OVZ Fyziologie práce.
[vid.13. 7. 2019] Dostupné z:
<http://pracovnikarstvi.eu/doc/ppt/stud/01e.Lokalni%20sval.zatez.pdf>.
- [13] M. BEAUPRE, Collaborative Robot Technology, [Online] KUKA Robotics. [vid. 13. 7.
2019] Dostupné z: https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf.
- [14] Common Applications for Cobots [Online]. Machine Design. [vid. 13. 7. 2019]
Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/motion-control/7-common-applications-cobots>.
- [15] ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices -- Collaborative robots. 1. vydání, únor
2016
- [16] Technical Specifications [Online]. European Committee for Standardization. [vid 1. 7.
2019] Dostupné z: <https://www.cen.eu/work/products/TS/Pages>
- [17] MATTHIAS, Bjoern. ISO/TS 150600 - Collaborative robots - Present status [Online]. ABB
[vid. 30. 4. 2019]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/282809861_ISO/TS_15066_-_Collaborative_Robots_-_Present_Status/link/561cf92b08aec7945a25226a/download
- [18] Human-robot Collaboration [Online]. Pilz. [vid. 10. 5. 2019]. Dostupné z:
https://www.pilz.com/mam/pilz/content/uploads/poster_mrk_en_2017_11_low.pdf.
- [19] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. Risk assesement for Collaborative Robots [Online].
Robotiq [vid. 15.5. 2019]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/risk-assessments-for-collaborative-robots>
- [20] The Idea of Performance Level [Online]. Keyence [vid. 15. 5. 2019]. Dostupné z:
<https://www.keyence.com/ss/products/safetyknowledge/performance/level/>.

- [21] YuMi [Online]. ABB [vid. 20. 5. 2019]. Dostupné z:
<http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/yumi>.
- [22] Klasická rozdvójka do zásuvky 230V 16A ABB bílá [Online]. Svítidla osvětlení elektro [vid. 18. 5. 2019]. Dostupné z: <https://www.svitidla-osvetleni-elektro.cz/klasicka-rozdvojka-do-zasuvky-230v-16a-abb-bila>.
- [23] Kapesní posuvné měřítko Bernstein 07-0052 [Online]. Conrad [vid. 18. 5. 2019]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/kapesni-posuvne-meritko-bernstein-07-0052-merici-rozsah-150-mm.k803219>.
- [24] J. HLÁVKOVÁ a A. VALEČKOVÁ. Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik [Online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. [vid. 18. 5. 2019]. Dostupné z:
http://www.szu.cz/uploads/documents/cpl/pracovni_prostredi/Ergonomicke_checklisty_u_nor2008.pdf
- [25] Plastový box 150x230x125mm [Online]. Prima regály [vid 2. 5. 2019] Dostupné z:
<https://www.primaregaly.cz/plastove-boxy/plastovy-box-150x230x125mm/>
- [26] Pásový dopravník, šířka 70 mm, nosnost 10 kg/m, délka 1 m [Online]. Ebal [vid 2. 5. 2019] Dostupné z: <https://www.ebal.cz/Manipulacni-technika-3921/Dopravniky-listy-a-kladky/Pasove-dopravniky/Pasove-dopravniky-3400/Pasovy-dopravnik-sirka-70-mm-nosnost-10-kg-m-delka-1-m>
- [27] Product manual IRB 14000 gripper [Online]. ABB [vid 14. 6. 2019] Dostupné z:
<https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/IRC5UserDocumentationRW6/en/3HAC054949%20PM%20IB%2014000%20Gripper-en.pdf>
- [28] What is Baud Rate [Online]. Setra [vid 14. 7. 2019] Dostupné z:
<https://www.setra.com/blog/what-is-baud-rate-and-what-cable-length-is-required-1>.
- [29] NX1F4 & NX1F2 NEXUS Motion Controller [Online]. AMCI [vid. 14. 6. 2019] Dostupné z:
<https://www.amci.com/plc-automation-products/nexus-motion-controller>.

- [30] Application manual DeviceNet master/Slave [Online]. ABB [vid. 14. 6. 2019] Dostupné z:
<https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/IRC5UserDocumentationRW6/en/3HAC050992%20AM%20DeviceNet%20Master%20Slave%20RW%206-en.pdf>

Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma dělení montáže podle pohybu montážního celku a pracovníka [2]	12
Obr. 2 - Schéma soustředěné stacionární montáže [2].....	13
Obr. 3 - Schéma rozčleněné stacionární montáže [2]	13
Obr. 4 - Schéma předmětné nestacionární montáže [2].....	14
Obr. 5 - Schéma linkové nestacionární montáže [2]	14
Obr. 6 - Schéma linkové nestacionární montáže [2]	14
Obr. 7 - Znázornění závislosti přesnosti výroby na náročnosti montáže [1].....	17
Obr. 8 - Schéma rozdělení časů pracovníka [7]	20
Obr. 9 - Schéma rozdělení časů výrobního zařízení [6]	21
Obr. 10 - Ideální poloha vsedě [10]	29
Obr. 11 - Znázornění zón pohybového prostoru [10]	30
Obr. 12 - Výška pracovního stolu podle charakteru práce [10]	31
Obr. 13 - Stupně volnosti ergonomického sedadla [10]	32
Obr. 14 - Piktogram Safety-rated monitored stop dle ISO/TS 15066 [17]	37
Obr. 15 - Znázornění módu bezpečnostního zastavení [18]	38
Obr. 16 - Piktogramy pro Hand guiding dle ISO/TS 15066 [17]	38
Obr. 17 - Znázornění módu ručního navádění [18].....	38
Obr. 18 - Piktogramy pro Speed and Separation Monitoring dle ISO/TS 15066 [17]	39
Obr. 19 - Znázornění Monitorování rychlosti a vzdálenosti [18]	39

Obr. 20 - Znázornění modu Omezování výkonu a rychlosti [18].....	40
Obr. 21 - Příklad přechodného kontaktu [17]	40
Obr. 22 - Příklad kvazi-statického kontaktu [17]	41
Obr. 23 - Struktura rozhodovacího procesu při analýze rizik kolaborativního pracoviště [19]	42
Obr. 24 - Rozhodovací strom předpokládané míry rizika [19]	44
Obr. 25 – ABB IRB 14000 YuMi [21]	46
Obr. 26 - Zásuvka ABB [22]	49
Obr. 27 - Konferenční propiska ČVUT.....	50
Obr. 28 - Posuvné měřítko [23]	50
Obr. 29 - Koncepce pracoviště – Varianta A 1.....	54
Obr. 30 - Koncepce pracoviště – Varianta A 2.....	55
Obr. 31 - Ergonomická studie - Varianta A.....	56
Obr. 32 - Koncepce pracoviště – varianta B 1	57
Obr. 33 - Koncepce pracoviště – varianta B 2	58
Obr. 34 - Ergonomická studie - Varianta B	59
Obr. 35 - Koncepce pracoviště - varianta C 1	60
Obr. 36 - Koncepce pracoviště - varianta C 2	61
Obr. 37 - Ergonomická studie - Varianta C	62
Obr. 38 – Koncepce pracoviště – varianta D 1	63
Obr. 39 - Koncepce pracoviště – varianta D 2	63
Obr. 40 - Ergonomická studie - Varianta D.....	65
Obr. 41 - Schéma montážního procesu	68
Obr. 42 - Uchopení těla propisky.....	69
Obr. 43 - Založení propisky do přípravku	69

Obr. 44 - Odebrání nového těla propisky	70
Obr. 45 - Vložení těla propisky do přípravku na otočném stole	70
Obr. 46 - Uchopení náplně propisky.....	71
Obr. 47 - Vložení náplně do propisky	71
Obr. 48 - Vyjmutí montážního celku z přípravku.....	72
Obr. 49 - Odebrání tlačítka propisky	73
Obr. 50 - Pozice před odebráním dílu	74
Obr. 51 - Odebrání dílu.....	74
Obr. 52 - Předání dílu 1.....	75
Obr. 53 - Předání dílu 2.....	75
Obr. 54 - Předání kroužku.....	76
Obr. 55 - Předání dílu 3.....	76
Obr. 56 – Předání dílu 4.....	76
Obr. 57 - Zakládání dílu 1	77
Obr. 58 - Zakládání dílu 2	78
Obr. 59 - Přípravek pro robota se založenými součástmi pro jeden výrobek.....	79
Obr. 60 - Přípravek na otočný stůl 1.....	80
Obr. 61 - Přípravek na otočný stůl 2.....	80
Obr. 62 - Přípravek pro pracovníka	81
Obr. 63 - Umístění přípravku pro pracovníka na stole.....	81
Obr. 64 - Smart gripper vybavený standardními prsty [27]	82
Obr. 65 - Připojovací rozměry Smart gripperu [27].....	82
Obr. 66 - Navržený prst pro gripper	83
Obr. 67 - Znárodnění prstů při předávání kroužku	83
Obr. 68 - Ověření dosahu při zvýšení stolu o 120 mm	85

Obr. 69 - Ověření dosahu při zvýšení stolu o 230	85
Obr. 70 - Ověření dosahu při maximálním zvýšení robota	86
Obr. 71 - Ověření možnosti práce vestoje 1.....	87
Obr. 72 – Ověření možnosti práce vestoje 2.....	87
Obr. 73 - Diagram vyhodnocení rizika 1	89
Obr. 74 - Diagram vyhodnocení rizika 2	90
Obr. 75 - Diagram vyhodnocení rizika 3	91
Obr. 76 - Diagram vyhodnocení rizika 1 po provedení bezpečnostního opatření	92
Obr. 77 - NX1F4X NEXUS Motion Controller [29].....	94
Obr. 78 - Struktura hlavního programu.....	103
Obr. 79 - Struktura podprogramu od odebírání dílů z přípravku.....	105
Obr. 80 - Struktura podprogramu pro předání dílu mezi rameny.....	107
Obr. 81 - Struktura podprogramu pro odkládání dílu	108
Obr. 82 - Model pracoviště v RobotStudios.....	109
Obr. 83 - Zobrazení všech vytvořených bodů.....	110
Obr. 84 - vytvořené trajektorie	111
Obr. 85 - Schéma SmartComponent	112
Obr. 86 - Virtuální signály v Event Manageru.....	112
Obr. 87 - Zatížení zápěstí.....	116
Obr. 88 - Zatížení loktů	116
Obr. 89 - Zatížení krku	117
Obr. 90 - Rozdělení pohybů podle dopředné vzdálenosti.....	117

Seznam tabulek

Tab. 1 - Srovnání pracovních pozic vsedě a vestoje [1].....	28
---	----

Tab. 2 Přípustné hodnoty celkové fyzické zátěže [11]	33
Tab. 3 - Vybrané hodnoty limitů pro lokální svalovou zátěž [11]	34
Tab. 4 - Korelace mezi PL a pravděpodobností nebezpečného selhání na hodinu [20]	45
Tab. 5 - Parametry ABB IRB 14000 YuMi	47
Tab. 6 - Porovnání kritérií při volbě předmětu montáže	50
Tab. 7 - Přehled dílů propisky	51
Tab. 8 - Vícekriteriální analýza volby optimální varianty	66
Tab. 9 - Vybrané parametry robota	88
Tab. 10 - Nastavení DIP přepínače NX1F4	94
Tab. 11 – Formát konfigurační zprávy pro jeden kanál [29]	96
Tab. 12 - Struktura nultého konfiguračního slova [29]	97
Tab. 13 - Výsledná konfigurační zpráva	98
Tab. 14 - Formát pohybového příkazu	99
Tab. 15 - Přehled vstupních dat z otočného stolu	100
Tab. 16 - Příkaz Relative move	102
Tab. 17 - Příkaz Find Home	102
Tab. 18 - Měření času ruční montáže	115
Tab. 19 - Přehled časů montáže	115
Tab. 20 - Pohyby rukou při montáži	118
Tab. 21 - Zjištění času práce	118
Tab. 22 - Doba montáže 1 dávky	119
Tab. 23 - Celkový počet pohybů	119

Seznam použitého software

Microsoft Word 2013

Microsoft Excel 2013

Solidworks 2017

Autodesk Inventor 2020

ABB RobotStudio 6.08

Process Simulate Human

Aris Express

Seznam příloh

Elektronické přílohy (uvedeny na DVD)

DP_Horak_2019.pdf

Simulace_RobotStudio.mp4

