

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

NÁVRH PRACOVIŠTĚ MONTÁŽE

ASSEMBLY WORKPLACE DESIGN

Autor: Lukáš Jílek

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kyncl Ph.D.

Praha 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jílek** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **467430**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh pracoviště montáže

Název bakalářské práce anglicky:

Assembly Workplace Design

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky automatizace montážních procesů
2. Rešerše problematiky kolaborativní montáže
3. Analýza předmětu montáže
4. Návrh montážního pracoviště

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

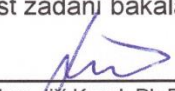
Ing. Jiří Kyncl, Ph.D., 12134

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

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


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

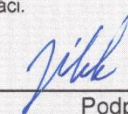

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

23.6.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Souhlasím, že výsledky této práce mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora a s případnou publikací výsledků, pokud budu uveden jako spoluautor.

Praha

.....

podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Kynclovi, Ph.D. za odborné vedení a čas, který mi poskytl při zpracování mé bakalářské práce. Rovněž děkuji Ing. Martinu Nečasovi za ochotu, odbornou pomoc a mnoho cenných rad, které mi poskytl. Poděkování patří také mé rodině, která mi umožnila pokračovat ve studiu a vždy mi byla největší oporou.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na montážní pracoviště, kde cílem je jeho návrh. Pro tento návrh bylo potřeba zjistit přístupy k automatizaci montážních pracovišť s použitím robotů a požadavky na bezpečnost s ohledem na míru interakce robotů s člověkem. Dále je probírána problematika zavádění kolaborativní montáže. Pojednává se zde o rozdílnosti oproti konvenčním robotům a podmínkách nutných pro splnění legislativních požadavků na bezpečnost. Pro znázornění bakalářská práce obsahuje skutečné aplikace kolaborativních robotů. V rámci návrhu montážního pracoviště byl analyzován a zvolen produkt, pro který byly navrženy příslušné přípravky a potřebné vybavení pracoviště. Na závěr je popsáno rozložení pracoviště a jeho pracovní cyklus.

Klíčová slova

Návrh montážního pracoviště, Kolaborativní pracoviště, Kolaborativní robot, Aplikace kolaborativních robotů, Zavádění kolaborativního pracoviště

Abstract

The bachelor's thesis is focused on the description of an assembly workplace. The goal is to design such a workplace. For this design it was necessary to discover contemporary methods of implementing automatization of assembly workplaces with the use of robots and safety requirements with respect to the level of interaction of robots and human workers. The topics of implementing of collaborative assembly follows. It deals with the differences between conventional and collaborative robots and the legislative requirements which are necessary to meet for safety reasons. To illustrate this the bachelor's thesis includes examples of real applications of collaborative robots. In the frame of assembly workplace design a specific product has been analysed and selected. For this product suitable tools and workplace equipment have been chosen. In conclusion the workplace layout and corresponding labour cycle have been described.

Key words

Assembly workplace design, Collaborative workplace, Collaborative robot, Application of collaborative robots, Implementing of collaborative workplace

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Automatizace	8
2.1	Druhy automatizace	9
2.2	Automatizační pyramida	10
2.3	Robotizace	11
2.3.1	Základní druhy robotů	12
2.4	Bezpečnost	13
2.5	Druhy pracovišť.....	15
3	Kolaborativní pracoviště	17
3.1	Motivace.....	18
3.2	Kolaborativní robotika.....	18
3.3	Bezpečnostní prvky pro kolaboratizaci.....	18
3.4	Zavádění kolaborativního pracoviště	19
3.4.1	Legislativa.....	19
3.4.2	Normy	19
3.4.3	Bezpečnost pro HRC	21
3.4.4	Kolaborativní módy robotiky	23
3.4.5	Uchycení nástroje a manipulace s nebezpečnými díly	23
3.4.6	Citlivé orgány	24
3.4.7	Psychologický dopad	24
4	Zavádění kolaborativních robotů.....	25
5	Využití kolaborativní robotiky v praxi	27
5.1	Pick and place kolaborant.....	27
5.2	Kobot vyrábí robot	28
5.3	Rehabilitační Kobot	29
5.4	Kolaborativní robot zásobovačem	31
5.5	Šroubování plastových dílů do myček	32

5.6	Nýtovací kolaborativní robot	33
5.7	Nanášení uretanového lepidla	35
5.8	Paletizační kolaborativní robot	35
5.9	Kobot kontrolor	37
5.10	Kobot metrolog	38
5.11	Obsluha lisu	38
5.12	Svářecí kobot	39
5.13	Lepení s kolaborativním robotem	41
5.14	Kolaborativní robot obsluhující CNC stroj	42
5.15	Leštič povrchů	43
6	Návrh kolaborativního pracoviště	44
6.1	Analýza předmětu montáže	44
6.2	Návrh předmětu montáže	45
6.3	Návrh montážního pracoviště	52
	Kolaborativní robot	52
	Návrh stolu	52
	Přípravky na montáž	56
7	Kolaborativní pracoviště	65
7.1	Popis průběhu montáže	66
8	Závěr	71
9	Použitá literatura	72

1 Úvod

Tématem mé bakalářské práce je návrh montážního pracoviště, které jsem si zvolil, jelikož mne zajímá robotika. Návrh kolaborativního pracoviště považuji za zajímavou příležitost využít poznatky získané studiem v praxi.

Při dnešním rychlém technologickém růstu a dynamickém trhu se začíná stávat důležitým faktorem flexibilita výroby, která zatím většině podniků chybí. Proto se stává zásadním technickým pokrokem možnost vytvořit takové pracoviště, které umožňuje spolupráci člověka s robotem, kde člověk je flexibilním elementem. Rozhodl jsem se navrhnout montážní pracoviště s kolaborativním robotem, které bude fungovat modulárně.

Cílem bakalářské práce je navrhnout montážní pracoviště. První část rešerše budu věnovat problematice automatizace. Zaměřím se na druhy automatizačních systémů a jakým způsobem je lze řídit a kontrolovat. Po zbytek první části se budu věnovat robotice. Nejprve budou popsány přínosy robotiky a základní druhy robotů. Zároveň však bude zmíněno, jaká případná rizika s sebou využití robotů přináší a jak jim zamezit v závislosti na druhu pracoviště. Druhá rešeršní část bude zaměřena na problematiku kolaborativního pracoviště. Na začátek bude popsáno, co je kolaborativní pracoviště a kolaborativní robot, včetně charakteristik kolaborativního robota. Tato rešeršní část je ovšem převážně zaměřena na vytváření kolaborativního pracoviště. Bude tedy popsáno, jaké podmínky je třeba splnit pro vytvoření kolaborativního pracoviště a jakými pravidly se řídit. Zbytek druhé části bude věnován příkladu, jak zaimplementovat kolaborativního robota, a ukázkám skutečných aplikací kolaborativních robotů z praxe.

V praktické části bakalářské práce bude popsán návrh kolaborativního pracoviště na základě poznatků z části rešeršní. Nejprve bude provedena analýza předmětu montáže a provedena volba způsobu výroby jeho součástí. Poté budou vytvořeny různé varianty designu předmětu montáže, ze kterých bude zvolena nejvhodnější varianta pro automatizovanou montáž na základě stanovených kritérií. Následně budou provedeny různé návrhy montážních stolů a podle kritérií bude zvolena nejvhodnější varianta stolu. Na základě zvolené varianty předmětu montáže proběhne volba vhodného vybavení a návrhy příslušných přípravků, které jsou podstatné pro montážní pracoviště.

Závěrečná část práce bude věnována vysvětlení úloh operátora a kolaborativního robota, kde bude zároveň popsáno optimální rozložení pracoviště. Poslední kapitola bude zaměřena na popis pracovního cyklu kolaborativního pracoviště.

2 Automatizace

Automatizace je nedílnou součástí návrhu kolaborativního pracoviště. Hlavním důvodem zavádění automatizace jsou stoupající nároky na kvalitu a rychlost dodání produktů. Člověk není schopen tyto nároky splnit, jelikož každý má svá biomechanická omezení. Nejdříve bych chtěl popsat technologické projektování a několik souvisejících pojmů.

Chceme-li vytvořit optimálně fungující pracoviště, je třeba řídit se zásadami technologického projektování. Technologické projektování se zaměřuje na správné uspořádání pracoviště tak, aby bylo dosaženo maximálního využití hmotných zdrojů (jako je například plocha, materiál, ale také energie) a rovněž i výrobních prostředků, tj. strojů či pracovních sil. V momentě, kdy je pracoviště správně navrženo, dochází ke zvýšení efektivity výrobního procesu. Proces můžeme chápat jako změnu vstupu na výstup, kdy je soubor výrobních a nevýrobních procesů nazýván systémem.

Proces je ovšem pouze zobecnění, jelikož jej můžeme následně rozčlenit na proces výrobní, montážní a projektový. V mé bakalářské práci se budu zabývat procesem montážním.

Montážní proces

Montážní proces není jen sestavování, ale je to i manipulace, doprava či příprava. Jedná se o závěrečnou etapu výrobního procesu, která je mnohdy i etapou nejsložitější. Tato etapa dokáže ovlivnit nejen produkt samotný co se týče finální jakosti výrobku, ale také dokáže zásadně ovlivnit produktivitu práce či průběžnou dobu výroby. Aby tato etapa celý proces nezpomalovala, je vhodné pracovat s výrobkem, který byl navržen dle zásad technologičnosti konstrukce pro montáž, jako je maximální zjednodušení konstrukčního řešení, vyloučení obtížných spojů, vytvoření dostatečného místa pro přístup s nástroji či vyměnitelnost. [1]

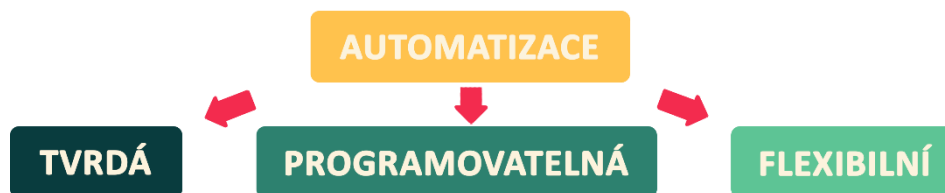
Dalším faktorem, který ovlivňuje rychlost a kvalitu montážního procesu je míra automatice při montáži. Automatizací lze dosáhnout výrazného zvýšení produktivity a zároveň snížení nákladů na výrobu. Stroj dokáže pracovat téměř nepřetržitě a nemůže se stát, že by po zaškolení dal výpověď.

Dochází také ke snižování rizik vzniku úrazu, neboť na jeden úkol je potřeba daleko méně lidské síly a pro člověka nebezpečné činnosti lze vykonávat z kanceláře. Zmenšením počtu lidí ve výrobě vede také ke snížení zmetkovitosti produktů. Člověk nedokáže vykonávat opakovaně jednu činnost se stejnou přesností, nebo aniž by se dopustil chyby.

Informační technologie umožňují sledování celého výrobního procesu, díky čemuž je možné zaznamenat chybu včas a odstranit ji. Získáme tak přehled o výrobě. Automatizací je tedy možné dosáhnout vysoké efektivity a kvality. Výsledek však závisí na volbě druhu automatizace.

2.1 Druhy automatizace

Automatizační systémy můžeme rozdělit do třech základních skupin, které se dělí podle objemu a typu produkce a jejich schopnosti adaptace na změnu produktu (viz. Obrázek 2).



Obrázek 1 – druhy automatizace

Tvrdá automatizace

Celá výroba je rozdělena na zpravidla jednoduché dílčí operace, které jsou za sebou pevně nakonfigurovány. Tímto způsobem lze dosáhnout vysokého objemu produkce. Tvrdá automatizace je vždy používána na jeden stálý výrobek, či výrobky s vysokým odbytem. Požadavek na změnu výrobku či jeho pouhou úpravu designu je velice drahou záležitostí, protože by tím muselo dojít ke kompletnímu přestavění výrobní linky. Jedná se tedy o vysoce neflexibilní automatizaci.

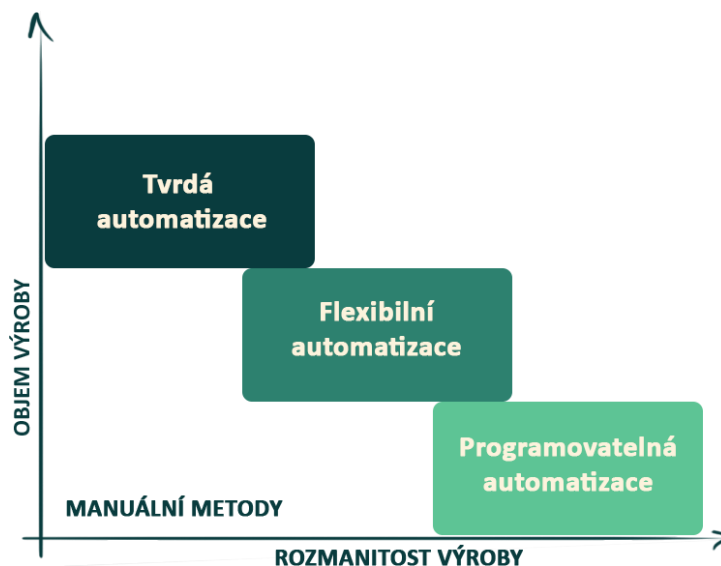
Programovatelná automatizace

Na této konfiguraci lze vyrábět různé typy výrobků. Systém je řízen programem, který je v případě změny produktu možné změnit. Odpadají tak další velké investice na přestavbu, jako to je u tvrdé automatizace. Ovšem jen samotné přeprogramování nestačí.

Zpravidla je i nutné přestavět fyzický stav stroje a vyměnit nástroje. Tento druh automatizace je ve srovnání s tvrdou automatizací pomalejší, ale flexibilnější. Proto je jej vhodné využít při malém objemu výroby.

Flexibilní automatizace

Je to nejvíce sofistikovaný systém výroby, který umožňuje s minimálním úsilím přejít z jednoho vyráběného produktu na jiný, a přitom optimalizovat produktivitu. Dochází tak k velikým časovým úsporám a zároveň i šetření peněz. Zároveň tento systém dokáže reagovat na změny očekávané i neočekávané.



Obrázek 2 - závislost rozmanitosti a objemu výroby [2]

Způsob automatizačního systému je závislý na produkci. Ovšem každý z těchto systémů je navržen na základě automatizační pyramidy, kterou budu popisovat v následující podkapitole.

2.2 Automatizační pyramida

Automatizační pyramida slouží k vizuálnímu zobrazení různých stupňů řízení provozu v továrnách. Pyramidu lze rozdělit do 5 stupňů (viz. Obrázek 3).

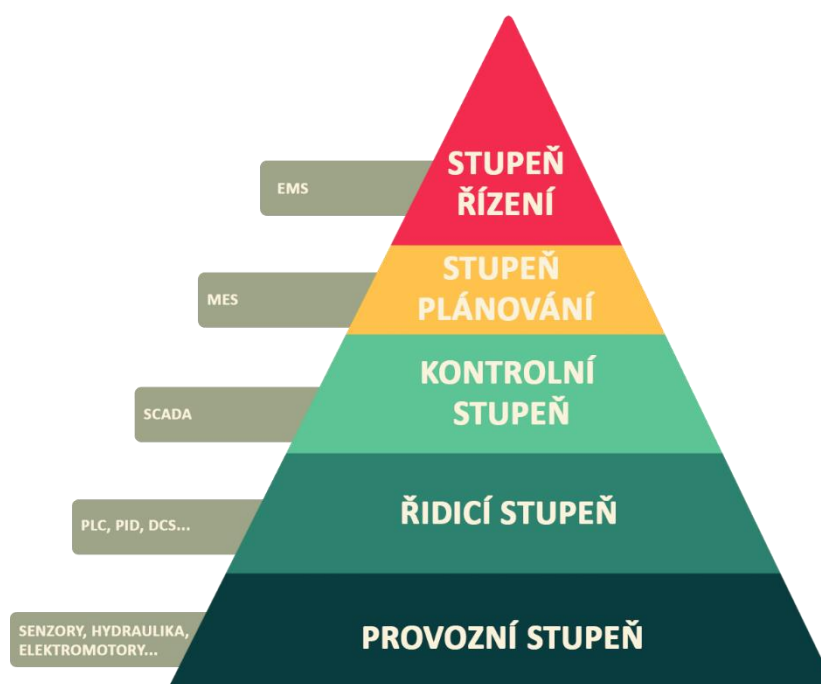
V provozním stupni se nachází všechny senzory a zařízení, které vykonávají fyzickou a monitorovací činnost jako jsou elektromotory, hydraulika, snímací zařízení a podobně.

Ve stupni řídicím jsou všechna zařízení, která jsou využívána provozním stupněm. Tato zařízení se nazývají PLC (Programmable Logical Controller) a PID (Proportional, Integral, Derivative), která z provozního stupně sbírají informace od snímačů a ostatních vstupů. Na základě toho učiní rozhodnutí, jaký výstup sepnou pro dokončení naprogramovaného úkolu.

Z kontrolního stupně je možné ovládat více systémů. Zprostředkovává tak sběr dat z přechodných stupňů. Takový systém se nazývá SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Je to systém fungující nad skutečným systémem PLC či jiných hardwarových zařízení. Jsou zde operátorské panely a vizualizace pracoviště na počítačích.

Stupeň plánování poskytuje dohled nad celým procesem. K tomu je využíván software MES (Manufacturing Execution System), který sleduje celý výrobní proces od počátku ke konečnému produktu. Na základě získaných údajů jsou pak prováděny optimalizace.

Místo, odkud je prováděn dohled nad celým podnikem, je stupeň řízení podniku. Slouží od nákupu a výroby k samotnému prodeji. K tomu je používán systém ERP (Enterprise Resource Planning). [3] [4] [5] [2] [6]



Obrázek 3 - Automatizační pyramida [6]

Automatizační pyramida je široce rozšířená, a hlavně osvědčená architektura, která umožňuje vytvořit dlouhodobě fungující automatizované pracoviště. Na základě této architektury se dají řídit i průmyslové roboty, které podle způsobu řízení mohou spadat buď pod provozní stupeň, jsou-li řízeny přes PLC, či pod stupeň řídicí, pokud jsou řízeny skrze kontrolér.

2.3 Robotizace

Průmyslové roboty cílí na snížení časových nákladů. S jejich použitím lze dosáhnout zvýšení výrobní kapacity a produktivity.



Obrázek 4 -posloupnost dělení robotů v následující podkapitole „Základní druhy robotů“

Pro návrh mého pracoviště je robot hlavní pracovní silou, proto bych zde rád uvedl, jaké jsou základní druhy robotů, se kterými se můžeme setkat. Typově je robotů celá řada. Odlišují se svou konstrukcí, různým počtem os a stupni volnosti.

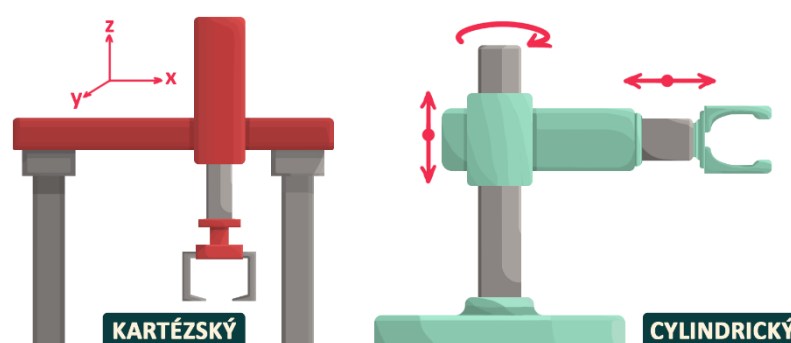
2.3.1 Základní druhy robotů

Kartézské roboty

Používají koordinační systém X, Y, Z, ve kterém se pohybují pomocí pojezdů. Nejčastější použití bývá pro CNC stroje, či 3D tisk (viz. Obrázek 5).

Cylindrické roboty

Disponují alespoň jedním rotačním spojem v základně a minimálně jedním posuvným. Používají se pro manipulaci při odlévání či pro bodové sváření (viz. Obrázek 5). [7] [8]



Obrázek 5 – kartézský a cylindrický robot

SCARA roboty

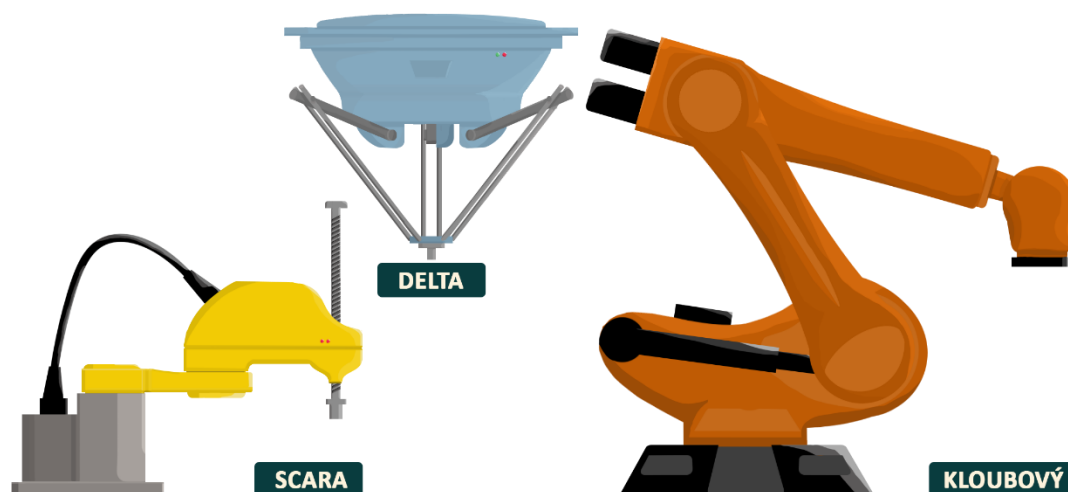
Jsou to roboty disponující velikou rychlostí pohybu. Skládají se ze dvou paralelních rotačních kloubů a zápěstí, které jezdí nahoru, dolů a rotuje. Používají se pro montování, či odběr z dopravníku (viz. Obrázek 6).

Delta roboty

Robot, který připomíná pavouka. Jedná se o paralelního robota, který má ze své základny vyvedena tři ramena spojená křížovými klouby. Pro udržení orientace koncového efektoru, je zde použit paralelogram. Používají se často v potravinářství a díky své rychlosti a přesnosti našly uplatnění i v drobné elektrotechnice (viz. Obrázek 6).

Kloubové roboty

Většinou mají čtyři až šest os, ale mohou jich mít i více jak deset. Jsou to obecně nejvíce používaní roboti, které lze využít k lakování, manipulování, sváření apod (viz. Obrázek 6).



Obrázek 6 - SCARA, Delta a kloubový robot

Jak je zřejmé, tak druh robota je úzce spjat s jeho použitím. Ač jsou roboty a jejich použití sebevíce rozdílné, všechny trpí jedním nedostatkem, který není takovou nevýhodou pro roboty samotné, ale spíše pro nás, pro lidi. Je to jejich vysoká míra nebezpečnosti.

2.4 Bezpečnost

Roboty mají naprosto odlišné pracovní charakteristiky od jiných strojů a nástrojů. Mají velikou pracovní zónu v okolí své základny a jsou schopni dosahovat veliké síly a rychlosti, kterou téměř není možné sledovat. Avšak tím, že je robot naprogramován na určitý druh práce, je možné pohyby předvídat.

Robotovi je potřeba předem přichystat pracovní prostor, který už pak nesmí být narušen ničím a nikým. V případě narušení pracovního prostoru dochází k fatálním kolizím, při kterých jde i snadno přijít o život.

Robot není bezchybný pomocník, a proto i zde může nastat porucha v mechanické či softwarové podobě. Co to může mít za následky? Následkem může být neočekávaný pohyb ramene, či upuštění předmětu z efektoru¹. Tak dojde k nekontrolovanému pohybu předmětu řídicího se vzduchem velkou rychlostí.

Větší část nehod se však nestává za normálního pracovního cyklu, ale například při testování, programování nebo servisování je počet úrazů daleko větší. Pracovník se totiž nachází v bezprostřední blízkosti robota. Je proto potřeba zabezpečit okolí robota, aby nemohlo docházet k nechtěným kolizím. Bohužel nestačí jen jeden druh zabezpečení například v podobě barevné pásky na zemi či brány. Jsou totiž různé formy hrozeb, které vznikají za různých podmínek. Je proto potřeba vynaložit

¹ Specificky navržené zařízení, kterým robot může vykonávat své úlohy (přísavka, chapadlo nazývané také jako gripper, svařovací pistole).

značné úsilí a finanční prostředky na zabezpečovací systémy, které nejsou jen drahé ale také velice prostorově náročné. Hlavní nevýhoda robotizace je tedy způsobena samotnou výkonností robotů.

Okolí průmyslového robota můžeme rozdělit na tři zóny, kdy každá zóna má určitý druh zabezpečovacího systému, podle kterého se zároveň změní i chování robota.

Zóna 1 – obvod pracovní zóny

- Fyzická bariéra v podobě plotu. Každé oplocení by mělo obsahovat bránu, která je propojena s řídicím systémem robota, kdy při jejím otevření dojde ke zpomalení či zastavení pohybu robota.
- Světelná mříž, která nahrazuje buď bránu nebo oplocení samotné v podobě fotoelektrického vysílače a přijímače. V momentě přerušení paprsku dojde ke zpomalení či zastavení pohybu robota.

Zóna 2 – uvnitř pracovní zóny

- Bezpečnostní nášlapy se spínačem uvnitř pracovní zóny.
- Senzor přítomnosti pomocí kamer či laserového skenování, díky kterým lze zachytit pohyb člověka uvnitř zóny. Jakmile je detekována přítomnost, je vyslán signál ke snížení rychlosti či úplnému zastavení pohybu robota.

Zóna 3 – na robotovi

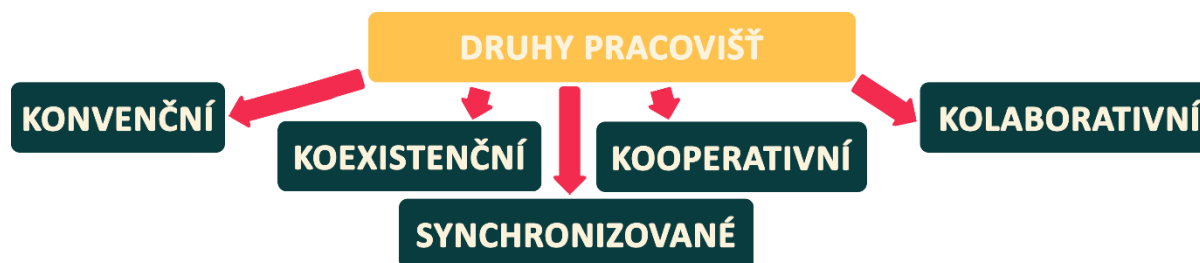
Tuto zónu zpravidla u běžných průmyslových robotů nevidíme, jelikož se nepředpokládá přímý kontakt s člověkem.

- Senzor síly kroutícího momentu
- Senzor přítomnosti (proximity senzor)

Nezohledňuji zde však druh pracoviště a použití robota, což se zabezpečením úzce souvisí.

2.5 Druhy pracovišť

Druhy pracovišť, kde se nachází robotizovaná technika, lze rozdělit do několika skupin, na základě protínání pracovních obálek operátora s robotem. Jedná se o pomyslnou bublinu, která je definována maximálním dosahem operátora či robota (viz. Obrázek 8).



Obrázek 7 – druhy pracovišť

Tyto pracoviště zároveň definují, jaké zabezpečovací prvky a techniku budu potřebovat pro návrh pracoviště.

Konvenční pracoviště

V konvenčních továrnách musí být robot oddělen od člověka v podobě bariér, aby člověk neměl volný přístup do pracovní zóny robota.

Koexistenční pracoviště

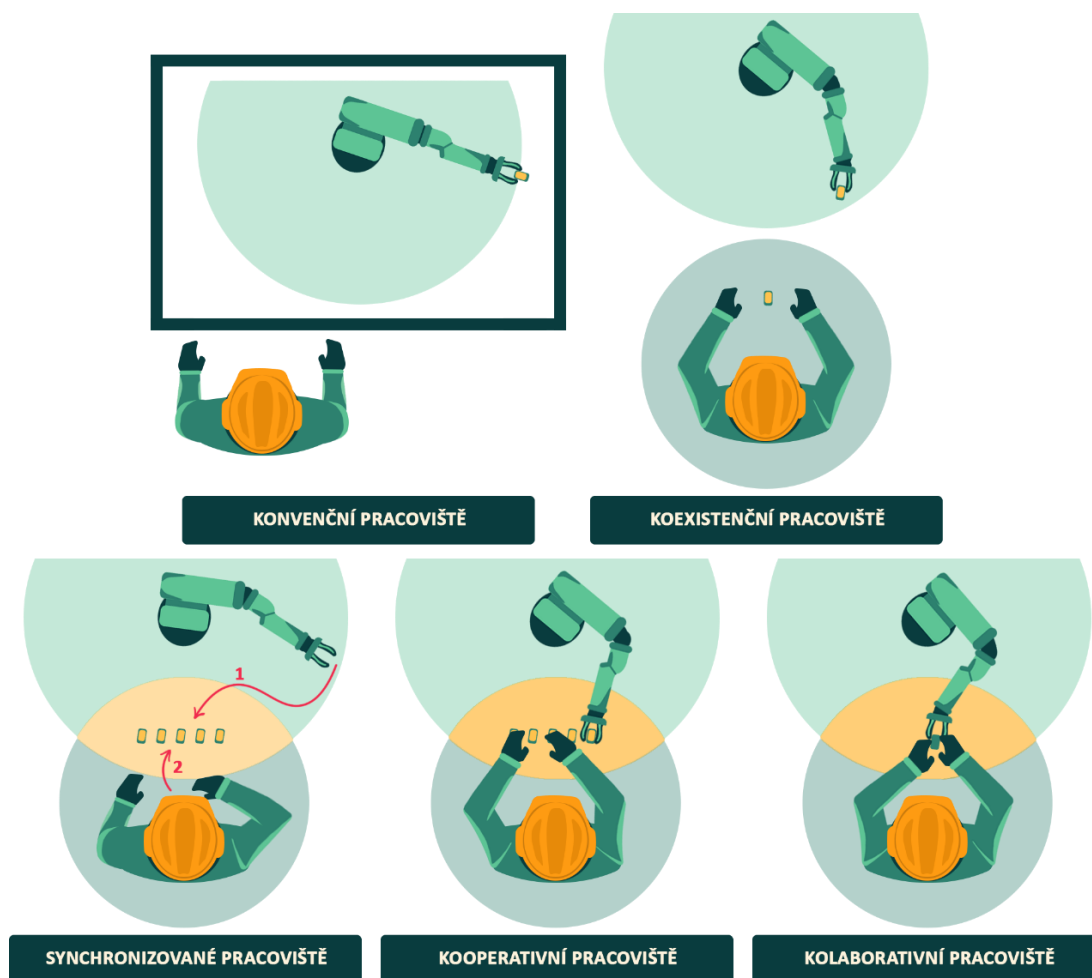
Jedná se o pracoviště již bez oplocení, avšak robot i člověk má svou pracovní zónu, která se nepřekrývá. Robot funguje mimo přítomnost člověka ve vyhrazené pracovní zóně.

Synchronizované pracoviště

Sdílené pracoviště člověka s robotem, kdy každý z členů plní nějakou část úkolu. V daný moment může zasahovat jen jeden do sdílené pracovní zóny, tedy pouze člověk nebo pouze robot.

Kooperační pracoviště a pracoviště Kolaborativní

V tomto případě hovoříme o sdíleném pracovišti člověka s robotem, kdy mohou současně pracovat. Pracují-li současně, ale každý na jiném úkolu, jedná se o pracoviště kooperativní. V momentě, kdy člověk a robot pracují současně na stejném úkolu, jedná se potom o pracoviště kolaborativní. [9] [10]



Obrázek 8 - typy pracovišť [10]

Pro mé pracoviště se nejvíce hodí model kolaborativního pracoviště (viz. Obrázek 8), jelikož disponuje takovým zabezpečením, které počítá s lidskou přítomností ať už stálou, či občasnou. Proto bych se v práci rád zabýval tím, co kolaborativní pracoviště je, kdy je ho vhodné použít, ale také co je potřeba pro jeho řádné zavedení.

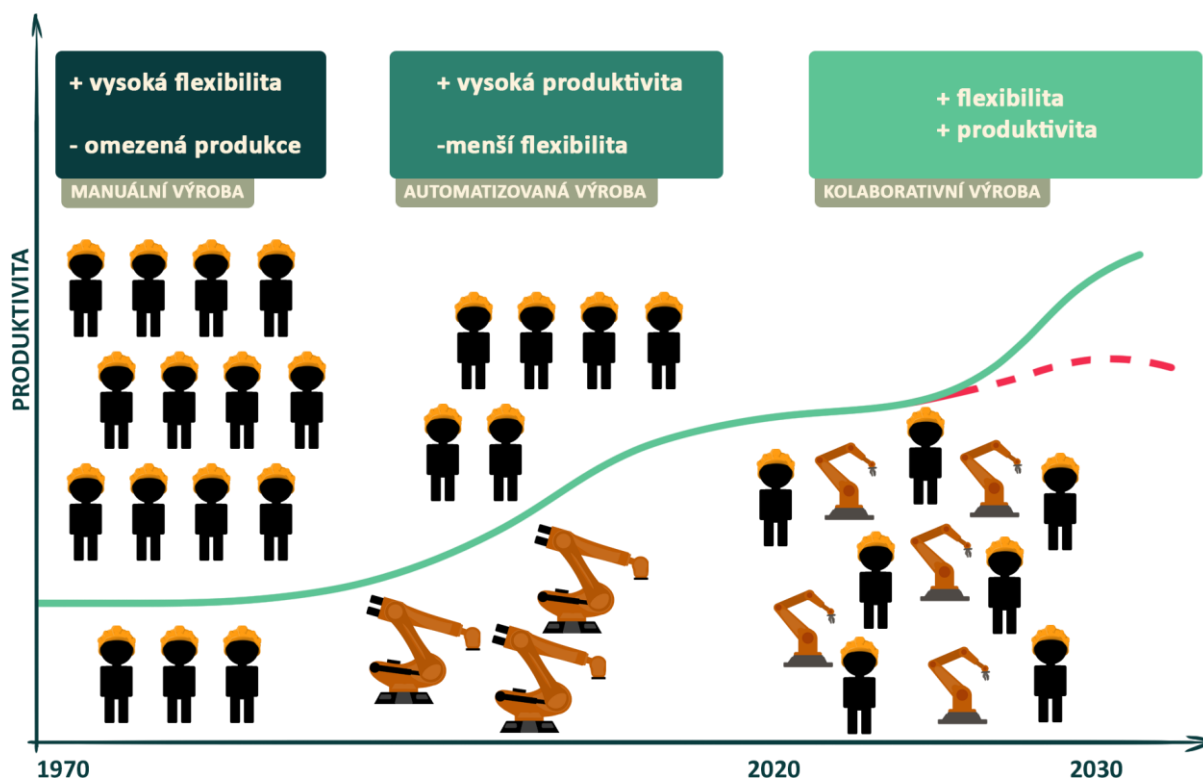
3 Kolaborativní pracoviště

Při použití kolaborativních pracovišť dojde k zaručení flexibility výroby, která je schopna zvládat rychlý vývoj neustále měnícího se trhu.



Obrázek 9 – rozpis kolaborativního pracoviště

Jak jsem již zmínil, jedná se o pracoviště, kde je člověk v blízkosti robota. Pro tyto pracoviště můžeme odstranit bezpečnostní bariéry, jelikož počítáme s přítomností člověka uvnitř pracovní zóny. Odstraněním bariér dochází k výraznému zmenšení prostorové náročnosti pracoviště.



Obrázek 10 – Předpokládaný růst produkce s použitím Kolaborativní robotiky [11]

Protože je možnost vzniku kolaborativních pracovišť poměrně novou záležitostí, není znám jejich budoucí dopad na produkci (viz. Obrázek 10).

3.1 Motivace

Hledisek, proč se začínají zavádět kolaborativní pracoviště, je hned několik, ale všechny jsou spolu úzce spjaty.

Jedno z hledisek je ergonomie. Robot dokáže zastoupit člověka v úkolech, které jsou pro člověka unavující, fyzicky náročné. Například opakující se úkoly či zdvihání těžkých břemen.

Dalším hlediskem je možnost propojit schopnosti člověka s robotem. Robot tak může zastoupit úkoly, které jsou jednoduché, ale v důsledku pro člověka náročné (repetitivní úkoly), a naopak člověk zastane úkoly, při kterých je potřeba lidská flexibilita.

Při zavádění průmyslové robotizace se zpravidla protahovala výrobní doba oddělováním pracovišť a docházelo tak i ke zbytečnému zabírání prostorů bezpečnostními prvky. Další motivací tedy byl prostor a čas. Mluvíme o pracovišti, kde je vyžadována určitá míra spolupráce s člověkem.

Průmyslové roboty není možné zařadit do vybudovaného provozu mezi pracovníky, aniž by bylo nutné provoz přebudovat či měnit. Takovému problému kolaborativní pracoviště nečelí.

3.2 Kolaborativní robotika

Pro kolaborativní pracoviště ovšem není možné použít standartního průmyslového robota. Robot pro spolupráci s člověkem je naprosto odlišný nejen vzhledem, ale i bezpečnostními prvky, kterými je robot vybaven, na rozdíl od robotů průmyslových. Takový robot se nazývá robot kolaborativní, někdy také nazývaný jako kobot. Proto pro můj návrh pracoviště budu volit kolaborativního robota.

3.3 Bezpečnostní prvky pro kolaboratizaci

Bezpečnostní prvky kolaborativního robota lze rozdělit do čtyř různých kategorií, kterými jsou vnitřní senzory, vnější senzory, design robota a design procesu spolupráce s kolaborativním robotem.

Vnitřní senzory

Senzory sil a kroutícího momentu jsou vestavěny v kloubech. Tyto senzory porovnávají nasbíraná data o síle a kroutícím momentu během provozu a porovnávají je s daty simulovanými v kontrolní jednotce robota. Jestliže vzniklá odchylka překročí tolerovanou hranici, dojde k zastavení robota.

Vnější senzory

Pro vnější sensoriku jsou používány kapacitní senzory blízkosti, detekující přítomnost vodivého či nevodivého předmětu. V případě, že dojde k detekci části těla, robot se zpomalí nebo úplně zastaví ještě před tím, než dojde ke kolizi.

Design robota

Kolaborativní robot je uzpůsoben i tvarově pro bezpečnou práci s člověkem, aby nemohl způsobit poranění. Při kolizi by měla být maximální síla nárazu co nejmenší. Proto jsou často namísto kovových materiálů používány materiály plastové, aby rameno mělo nízkou hmotnost a mohlo tak mít větší nárazovou plochu. Někteří výrobci nárazové plochy vystylají měkkým materiálem. Dále kolaborativní robot musí mít zakulacené hrany a v ideálním případě by mezi klouby měla být co největší mezera, aby nemohlo dojít k zachycení nebo skřípnutí končetiny člověka.

Design procesu spolupráce

Požadujeme-li rychlého robota, pak musí být snížena hmotnost břemene, se kterým bude manipulovat, pokud chceme robota, který bude manipulovat s těžkými břemeny, potom musíme výrazně snížit jeho rychlost. [12] [11]

3.4 Zavádění kolaborativního pracoviště

Kolaborativní robotika je poměrně mladý obor, proto ještě nejsou pevně stanoveny postupy pro její zavedení. Z toho důvodu mnoho firem, které se rozhodnou implementovat kolaborativní roboty, je nakonec zavírá do ohrad kvůli snížení rizik a vyvarování se tak případného porušení zákona.

V následující podkapitolách budu popisovat základní požadavky pro dodržení bezpečnosti na kolaborativním pracovišti, které povedou k úspěšné certifikaci bezpečného pracoviště.

3.4.1 Legislativa

Pro kolaborativní pracoviště je nutné splňovat několik Evropských směrnic, aby pracoviště mohlo být navrženo s maximální bezpečností. [11] [13]

- 2006/42/ES směrnice pro strojní zařízení
- 2014/35/EU směrnice používání zařízení v daných mezích napětí
- 2014/30/EU směrnice elektromagnetické kompatibility

3.4.2 Normy

Těmito normami, kterými se dosahují určité technické a bezpečnostní aspekty na pracovišti, je zároveň dosaženo souladu s evropskými směrnicemi. čímž následně lze obdržet známku CE, která je nezbytná pro zavádění kolaborativního pracoviště. Bez této známky není možné pracoviště uvést do provozu.

Tabulka 1 - Normy potřebné pro certifikaci pracoviště

Typ	Norma	Popis
A	EN ISO 12100: 2010	Všeobecné principy návrhu, Bezpečnost stroje-Posouzení rizik a jejich redukce
B1	EN ISO 11161: 2007	Strojová bezpečnost-Integrovaný výrobní systém- Základní požadavky
B1	EN ISO 13849-1: 2015	Strojová bezpečnost-díly řídicího systému. Určitá bezpečnostní hlediska
B1	EN ISO 13849-2: 2012	Strojová bezpečnost-díly řídicího systému
B1	EN 1037:14995+A1: 2008	Strojová bezpečnost – Prevence neočekávaného startu
B1	EN 60204-1: 2006	Strojová bezpečnost-Elektrické vybavení stroje Část 1: Všeobecné požadavky
B2	EN ISO 13850: 2015	Strojová bezpečnost-Nouzové zastavení-zásady návrhu
C	EN ISO 10218-1: 2011	Robot a robotické zařízení – Bezpečnostní požadavky pro průmyslovou robotiku. Část 1: Roboty
C	EN ISO 10218-2: 2011	Robot a robotické zařízení – Bezpečnostní požadavky pro průmyslovou robotiku Část 2: Integrace robotických systémů Základní nebezpečí a rozlišení nebezpečných situací a jejich odstranění
C	ISO/TS 15066: 2016	Robot a robotická zařízení – Kolaborativní roboty. Bezpečnostní požadavky pro práci s Kobotem a pracovním prostředím
	EN 61000-6-2:2005	Elektromagnetická kompatibilita Část 6-2: Obecné standardy. Odolnost pro průmyslová prostředí
	EN 61000-6-4: 2011	Elektromagnetická kompatibilita Část 6-4: Emisní standardy pro průmyslová prostředí

Nejdůležitější normou je EN ISO 10218-1 a EN ISO 10218-2. Pro kolaborativní robotiku neexistuje ještě konkrétní norma, ale pouze technická specifikace ISO/TS 15066. Její obsah se postupně vyvíjí a jednoho dne se pravděpodobně stane i platnou normou.

EN ISO 12100:2010- Analýza rizik

Tato norma specifikuje základní terminologii a metodologii pro to, aby bylo dosaženo bezpečnosti stroje. Cílem této normy je snížit míru rizika na přijatelnou hodnotu.



Obrázek 11 - Postup pro odstranění rizik [11]

EN 61000-6-4: 2011 – Elektromagnetická kompatibilita EMC

Elektromagnetická kompatibilita je nutné opatření, aby nedocházelo k neočekávaným pohybům robota či celého pracovního systému vlivem elektromagnetického rušení. Je proto nutností při zavádění robota na pracoviště provést měření EMC tam, kde je potřeba, aby bylo dosaženo bezpečných hodnot.

3.4.3 Bezpečnost pro HRC

Při spolupráci Robota s člověkem (dále jen HRC) není možné, aby se obešla bez kolize. Je proto nutné, aby nedošlo k překročení určitých limitů, které zaručují bezpečnost lidského pracovníka. Na zjištění těchto hodnot byla provedena studie na Univerzitě Johannesese Guttenberga v Mohuči. Studie stanovila 29 různých bodů na lidském těle, pro která jsou určena maxima (viz. Tabulka 2). Limity jsou nazývány jako biomechanické limity. V momentě kolize při HRC mohou nastat dva druhy kontaktu, které jsou:

Kvazi-statický kontakt

Jedná se o kontakt sevřením. V tomto případě část těla absorbuje veškerou kinetickou energii.

Přechodový kontakt

Kontakt mezi člověkem a robotem, kdy žádná z částí lidského těla není nijak držena. Člověk tak absorbuje pouze část energie.

Tabulka 2 - Biomechanické limity [14]

Region těla	Konkrétní oblast těla		Kvazi-statický kontakt		Přechodový kontakt	
			Povolený tlak [N/cm ²]	Maximální povolená síla [N]	Násobitel Max. dovol. tlaku P_t	Násobitel Max. dovol. síly F_t
Lebka a čelo	1	Střed čela	130	130	Nelze použít	Nelze použít
	2	Spánek	110			
Obličej	3	Žvýkáč sval	110	65		
Krk	4	Krční sval	140	150	2	2
	5	Sedmý krční obratel	210			
Záda a ramena	6	Ramenní kloub	160	210		
	7	Pátý bederní obratel	210			
Hrudník	8	Prsní kost	120	140		
	9	Prsní sval	170			
Břicho	10	Břišní sval	140	110		
Pánev	11	Pánevní kost	210	180		
Paže a loketní klouby	12	Deltový sval	190	150		
	13	Pažní kost	220			
Předloktí a zápěstí	14	Vřetenní kost	190	160		
	15	Sval předloktí	180			
	16	Pažní nervy	180			
Ruce a prsty	17	Bříško ukazováčku D	300	140		
	18	Bříško ukazováčku ND	270			
	19	Koncový kloub ukazováčku D	280			
	20	Koncový kloub ukazováčku ND	220			
	21	Svaly dlaně	200			
	22	Dlaň D	260			
	23	Dlaň ND	260			
	24	Hřbet ruky D	200			
	25	Hřbet ruky ND	190			
Stehna a kolena	26	Stehenní sval	250	220		
	27	Česka	220			
Dolní končetiny	28	Střed holeně	220	130		
	29	Lýtkový sval	210			

Tyto limity jsou specifikovány v TS ISO 15066.

3.4.4 Kolaborativní módy robotiky

Každý typ Kobota disponuje různými bezpečnostními a programovými prvky, kterými se snaží vyhnout potenciálnímu nebezpečí při HRC. Na základě těchto rozdílů vzniká unikátní Kobot, který se hodí jen pro určité druhy operací, aby nedošlo k porušení bezpečnosti HRC.

Proto jsou stanoveny čtyři hlavní módy pro HRC, které splňují požadavky Technické specifikace ISO/TS 15066 a normy ISO 10218 část 1, část 2 na základě čehož se volí vhodný Kobot pro určitý druh pracoviště.

Bezpečné monitorované zastavení

Tento mód je využíván především na pracovištích, kde je vyžadována minimální interakce HRC. Obvykle se můžeme s touto aplikací setkat u průmyslových robotů. Když senzory detekují lidskou přítomnost, Kobot a pracoviště se úplně zastaví. Po opuštění kolaborativního pracoviště dojde k opětovnému spuštění. [15] [16]

Rychlost a separace

Pokročilé systémy, které na základě vzdálenosti člověka od Kobota při vstupu do kolaborativní zóny pracoviště zpomalují. V případě, kdy je dosaženo minimální vzdálenosti, je pracoviště zastaveno. Po opuštění zóny dojde k opětovnému spuštění.

Omezení síly a rychlosti

Síla střetu mezi člověkem a pohybujícím se Kobotem je limitována na bezpečnou hranici.

Ruční navádění

Pohyb Kobota je kontrolován lidským pracovníkem přes mobilní zařízení. Z tohoto zařízení lze Kobota přímo ovládat. Například manipulovat s těžkými břemeny, či robota z tohoto zařízení přímo učit.

3.4.5 Uchycení nástroje a manipulace s nebezpečnými díly

Kobot bez nástroje, či gripperu je téměř k ničemu. Budu tedy potřebovat kobota opatřit nějakým nástrojem. Ovšem jelikož se jedná o stroj, který má pracovat s člověkem v bezprostřední blízkosti, jsou zde jistá pravidla, která musím dodržet, aby bylo možné pracoviště uvést do provozu.

V první řadě musím provést analýzu rizik dle normy EN ISO 12100:2010, která se však netýká pouze situace, kdy dojde ke změně nástroje na kobotovi, ale rovněž i dílů, se kterými robot manipuluje. Hrozí-li od nástroje či dílu nějaké nebezpečí, je nutné rizika snížit na přijatelnou mez a v ideálním případě riziko zcela vyloučit. Kolaborativní robot tedy nemůže používat řezné nástroje, či manipulovat

s ostrými předměty. Bylo-li by tomu tak, robot by musel být umístěn do ohraničeného prostoru, kde by byl povolen přístup člověku jen tehdy, kdy je nástroj či předmět bezpečně položen a nehrozí tak riziko poranění pracovníka.

Namontují-li na kobota nový nástroj, je to považováno za zásah do stroje a je proto nutné vystavit nové prohlášení o shodě ES, jelikož namontováním nástroje vznikne nový stroj, a to kolaborativní robot a nástroj. Tento dokument může dle směrnice 2006/42/ES, článek 12, odstavec 1 vystavit pouze výrobce robota sám či jeho zplnomocněný zástupce. Bez nového prohlášení o shodě dochází ke ztrátě známky CE.

3.4.6 Citlivé orgány

Při práci s kolaborativními roboty je také potřeba brát na vědomí ochranu zraku, jelikož kobot je prozatím ve většině případů schopen rozeznat překážku až po kolizi, je proto bezprostřední nutností mít chráněný zrak pomocí brýlí. V případě doteku robota do očí by mohlo dojít k trvalým následkům.

3.4.7 Psychologický dopad

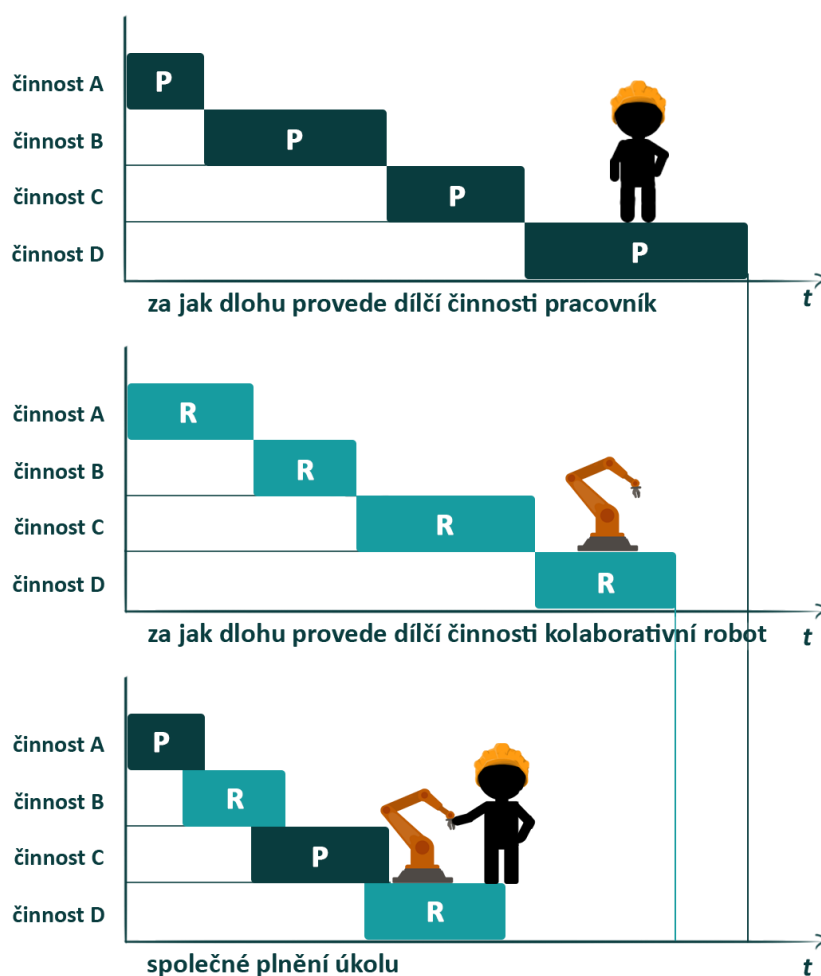
Pracovník, který má kobota jako kolegu se nesmí cítit nekomfortně a vystresovaně. Univerzálním řešením je prozatím omezení velikosti kobota a velikosti dílů, se kterými robot manipuluje. Při interakci s kobotem se nesmí pracovník cítit ani ohrožen například robotovými pohyby. Při programování kolaborativního robota je vhodné brát ohled i na to, aby pohyb robota nevyvolával v pracovnících stres. [14] [17] [18] [19]

V této kapitole jsem popsal, co je kolaborativní robotika a co je kolaborativní pracoviště. Zaměřil jsem se zejména na vytváření kolaborativních pracovišť. Je důležité si uvědomit, že kolaborativní pracoviště nevytváří kolaborativní robot, ale způsob jeho využití.

4 Zavádění kolaborativních robotů

Pro využití kolaborativní robotiky je potřebné vědět, na jakých činnostech se kolaborativní robot bude podílet v průběhu spolupráce s člověkem na daném úkolu, aby bylo dosaženo maximální efektivity.

Jednou ze základních metod je Skill based task sharing. V závislosti na úkolu je zjištění schopností člověka a kobota nezbytnou součástí implementace HRC. Je tedy nutné výrobní proces rozdělit na jednotlivé dílčí činnosti, u kterých jsou následně změřeny časy, za jak dlouho byl pracovník schopný vykonat jednotlivé činnosti, které jsou nutné pro dokončení úkolu. Stejné měření časů je pak provedeno u kobota. Naměřené hodnoty se porovnají s časy pracovníka (viz Obrázek 12).



Obrázek 12 - Délka trvání činností kobota, člověka, spolupráce člověka a kobota [11]

Task sharing je vhodný pouze pro přímou kolaboraci, kdy pracovník i kobot pracují současně na stejném úkolu. Pokud by současně pracovat nemohli, došlo by k časové neefektivitě, jelikož by vždy jeden z účastníků musel čekat, až bude moci provést svou dílčí činnost.

Rovněž jsou další faktory, které nezávisí jen na tom, kdo činnost splní rychleji, ale také na tom, kdo je čeho schopen dosáhnout.

Pracovní zatížení

Je potřeba brát zřetel na zatížení pracovníka, který se při velkém či malém zatížení stává neefektivním.

Přesnost

Člověk dokáže dosáhnout přesnosti pouze za použití nástrojů, bez nich je schopný přesnosti na centimetry. Kobot dokáže dosáhnout přesnosti na milimetry se stejnou opakovatelností.

Pracovní prostředí

Člověk se na rozdíl od kobota může pohybovat, má tak daleko větší dosah než kobot.

Výkonnost

U člověka může výkonnost v průběhu dne hodně kolísat na rozdíl od robota, který má stále stejnou výkonnost, aniž by se unavil.

Repetitivnost a monotónnost

Člověk při opakující se jednoduché práci často trpí psychickými problémy, kterými naštěstí kolaborativní robot trpět nemůže.

5 Využití kolaborativní robotiky v praxi

V této kapitole se bude možné dočíst o skutečných aplikacích kolaborativní robotiky včetně vysvětlení důvodu, co bylo prvotním impulsem pro zavedení částečné automatizace.

5.1 Pick and place kolaborant

V BMW byl využit kolaborativní robotický asistent, který převzal monotónní neergonomickou práci při skládání předního diferenciálu do vozidel BMW.

Původní činnost

Pracovníci BMW měli za úkol skládat přední diferenciál do vozidel BMW na výrobní lince. Pracovníkovi po odklepnutí zeleného tlačítka přijede přípravek, na kterém jsou položeny díly pro složení diferenciálu. Pracovník do skříně umístí podložky a ložiska, na které následně musí umístit ozubené kolo diferenciálu. Následně pracovník skříň zaklopí druhou polovinou skříně a klepne na zelené tlačítko. Celá činnost se tak opakuje.

Problematika

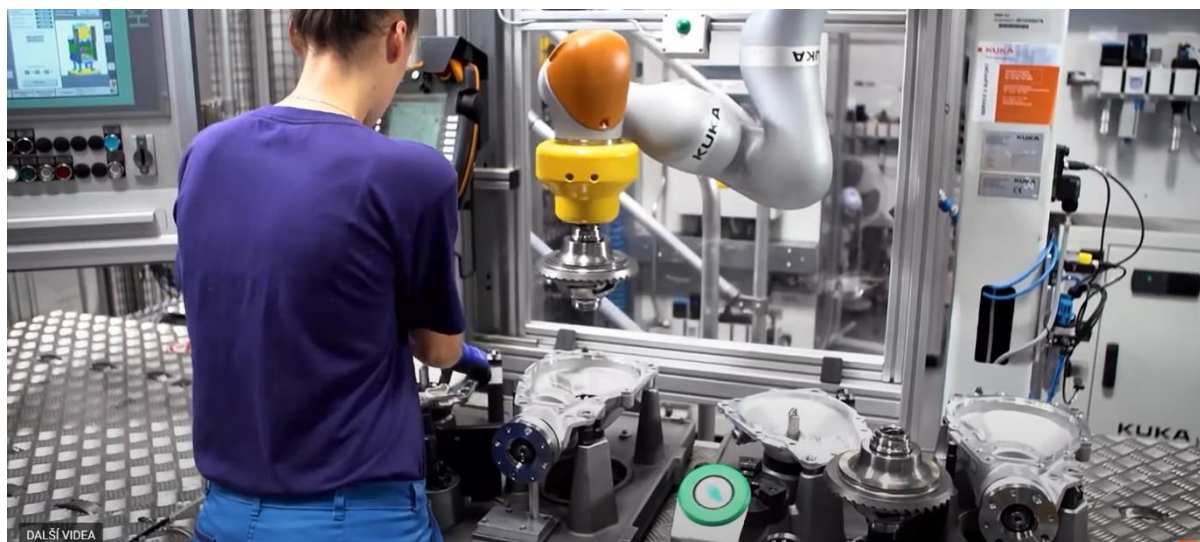
Kolo diferenciálu je těžké a k tomu je obtížné jej uchopit, tím se komplikuje i jeho samotné umístění do skříně, kde je málo místa pro prsty. Kolo rovněž musí být usazeno přesně na již vložené malé ozubené kolo z předchozího pracoviště.

Řešení

Kobot je zavěšen shora dolů, aby bylo ušetřeno co nejvíce místa, odkud pomocí koncového efektoru zdvihá a následně umísťuje ozubené kolo do skříně. Protože je koncový efektor bez hran, je kolaborativní. Pracovník vkládá do skříně pouze podložky a ložiska, načež pak dá příkaz pomocí tlačítka, aby kobot umístil ozubené kolo do skříně. Skříň pak pracovník zaklopí druhou polovinou a zmáčkne opět zelené tlačítko.

Když dojde ke přivření ruky mezi skříň a ozubené kolo při pokládání či náraz ramene s člověkem, kolaborativní robot se zastaví a mírně se odsune.

Kobot navíc dokáže s citem umístit ozubené kolo do skříně, nemůže tedy dojít ke klepnutí ozubeným kolem. V případě, kdy je malé ozubené kolo trochu pootočené, dochází ke kontaktu zub na zub s velkým ozubeným kolem. Ale ani to není pro kolaborativního robota překážkou, jelikož kobot je naprogramován tak, aby při vzniku odporu kroutícího momentu o určité velikosti a v určité výšce začal ozubeným kolem pootáčet, dokud odpor v kloubech robota nezanikne, čímž do sebe kola zapadnou.



Obrázek 13 - umístění kolaborativního robota [20]

Shrnutí

Zde bylo použití kolaborativního robota jednoznačně nutné, jelikož pracoviště je prostorově omezené a je již navázáno na výrobní linku. Použití například průmyslového robota by bylo drahé a z důvodu prostorového omezení nerealizovatelné, jelikož by bylo potřeba dodat i zabezpečovací prvky. Zatímco kolaborativního robota lze umístit do blízkosti člověka. [20]

5.2 Kobot vyrábí robot

I samotný výrobce robotů našel uplatnění pro jeden ze svých posledních produktů ve výrobě, a to při skládání robotů. Zvýšila se tak produktivita a ergonomičnost pracoviště.

Původní činnost

Převodovka robota je umístěna na šikmém stole, kde se manuálně vkládají šrouby do děr. V průběhu vkládání šroubů je současně převodovka plněna olejem. Po dokončení veškerých přípravných činností je převodovka přemístěna ze šikmého stolku malým jeřábem na spojovací rameno robota, které leží na tlačném vozíku. Zde jsou pak šrouby utaženy pracovníkem s pneumatickou ráčnou.

Problematika

Při utahování šroubů je potřeba, aby všechny šrouby byly utaženy stejným kroutícím momentem o 104Nm. Na převodovce se nachází velký počet šroubů, který je nutno utáhnout. Tím se stává práce neergonomickou.

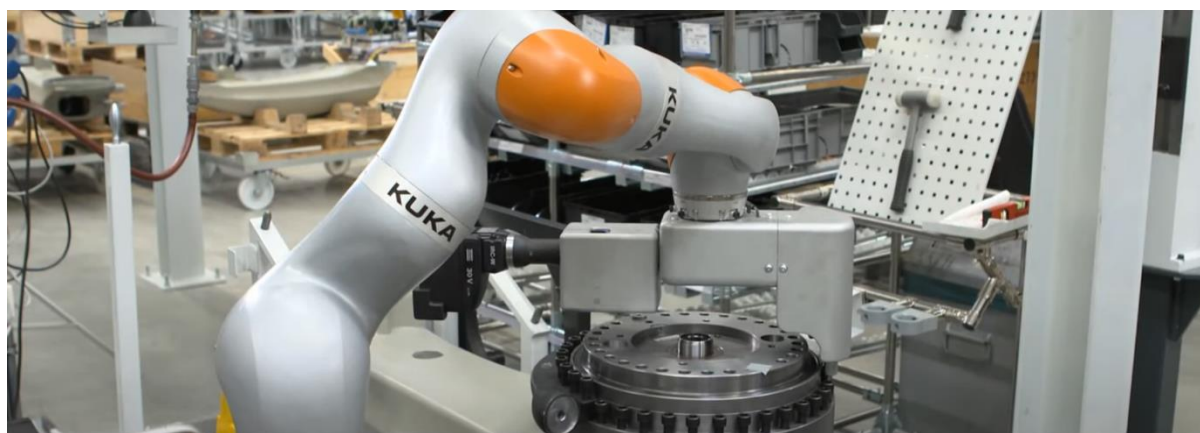
Řešení

Pro usnadnění práce bylo využito kolaborativního robota s elektrickým utahovacím zařízením. Ke kobotovi se zajíždí vozíkem, na kterém leží spojovací rameno s umístěnou převodovkou. Aby vozík byl umístěný přesně u kolaborativního robota, jsou na tlačném vozíku přidělaná kolečka, se kterými je

nutné se trefit do naváděcích ližin na stolku kobota a na zemi. Kobot se následně spustí postrčením rukou do ramene kobota.

Po spuštění kobot nejprve provede kalibraci, aby zjistil přesnou polohu převodovky. Kalibrace je provedena mírnými doteky utahovacího zařízení do boků převodovky v několika pozicích. Po dokončení kalibrace začne utahovat. Zatímco co kobot utahuje, pracovník může chystat další převodovku.

Utahovací zařízení je uděláno na průměr převodovky (viz. Obrázek 14), po kalibraci si tak kobot najde osu převodovky, kolem které následně nástroj otáčí. Nedochozí tak ke zbytečným pohybům. Nástroj je navíc kolaborativní, jelikož nemá žádné ostré hrany a samotný utahovací bit je také skrytý.



Obrázek 14 - Utahování převodovky kolaborativním robotem [21]

Shrnutí

Snadné a rychlé řešení pro zvýšení pohodlí a efektivity při výrobním procesu přímo k pracovníkům výroby. Kolaborativní robot zastoupil činnost, která se na pracovišti neřadila mezi ty nejpohodlnější. Efektivita pracoviště se zvedla o jednoho zaměstnance, který neonemocní a není nikdy unavený. [21]

5.3 Rehabilitační Kobot

Kolaborativní robotika už i dokonce navlékla bílý plášť a vydala se na pracoviště přímo mezi ortopedy, kde jim pomáhá usnadnit jejich práci a rovněž vypomoci pacientům.

Problematika

Denně terapeut musí oběhnout mnoho pacientů a každému může věnovat omezené množství času. Být terapeutem je i fyzicky namáhavá práce, která mnohdy u samotných terapeutů vyvolává zdravotní problémy. Rovněž pacienti, kteří potřebují rehabilitační péči, musí v nemocnici trávit delší dobu, právě kvůli omezenému času terapeutů, neboť se jim nedostane řádné péče. Hlavním problémem tedy je, že terapeutů je méně, než je potřeba.

Řešení

K posteli pacienta je přistaven kobot jménem ROBERT[®], se kterým se dá snadno manipulovat, jelikož je pojízdný a jediné co potřebuje, je zásuvka do sítě. Výhodou tohoto řešení je, že pacient nemusí cestovat na specializované pracoviště, jelikož kobot bude vždy dopraven k pacientovi. Po zapojení a zapnutí je nejprve provedena bezpečnostní kalibrace, která se provádí automaticky, následně je kobot připraven přijmout úkol.

Na končetinu pacienta je nasazen návlek s trnem. Trn slouží pro upnutí do koncového efektoru kobota. Po nasazení návleku na končetinu a připnutí návleku do efektoru kobota je vše připraveno pro provedení rehabilitačního cvičení.

Terapeut provede rehabilitační pohyb končetinou a robot se tak naučí pohyb, který pak bude následně opakovat tak dlouho, jak bude požadováno, pak již stačí stisknout tlačítko spustit.

Kobot si však sám o sobě cviky nepamatuje. Vždy umí jen jeden cvik a to ten, který byl momentálně naučen.



Obrázek 15 -rehabilitace dolní končetiny pacienta [22]

Shrnutí

Uspodňuje práci terapeutům, kteří dostanou více času na pacienty, kteří jejich pozornost potřebují nejvíce, aniž by museli jinde někomu jinému čas ubírat. Pacienti se tak mohou z lůžek nemocnice dostat daleko rychleji, jelikož jim byla poskytnuta intenzivní péče. [22]

5.4 Kolaborativní robot zásobovačem

Ve firmě Siemens našli uplatnění kolaborativního robota, který zastane hned několik činností při výrobě statoru elektromotoru.

Původní činnost

Z pojízdného vozíku s již částečně složenými statory bylo nejprve potřeba manuálně po jednom kusu zásobovat soustruh za pomoci dopravníku. Po obrobení se po témže dopravníku vrátil zpět již obrobený kus, který bylo následně nutné manuálně očistit a vizuálně zkontrolovat a změřit, zda jsou rozměry správné. Hotové kusy bez závad se následně uložily do boxu, ve kterém se pomalu chystaly na další pracoviště.

Problematika

Opakující se jednoduchá práce.

Řešení

Kolaborativní robot byl přistaven přímo do středu výrobní linky, odkud má dosah do všech stran. Ke kolaborativnímu robotovi je přistaven pojízdný vozík, který se zafixuje ke kolaborativnímu robotovi pomocí ocelové packy, aby byl vozík přesně umístěn u kobota. Na vozíku se nachází v řadě vyskládané statory. Po spuštění programu kobota je nejprve provedena kalibrace doteky vozíku, aby mohl kobot zjistit, zda je vozík na nějaké straně prázdný a neprováděl tak úchopy naprázdno.

Po kalibraci kobot za pomoci kolaborativního gripperu zdvihne stator za otvor pomocí roztažení gripperu a umístí stator na dopravník s pojízdným přípravkem k soustruhu. Po návratu statoru ze soustruhu kobot stator zdvihne, načte čárový kód statoru a vyfouká jej ve foukacím boxu se vzduchovými tryskami. V následující činnosti kobot stator odloží na stroj pro kontrolu kvality a nechá jej změřit. Je-li vše v pořádku, je stator umístěn do bedny pro přepravu na další stanoviště, není-li měření statoru v pořádku, odloží jej kobot na stůl pro další vyhodnocení pracovníkem Siemens.

V momentě, kdy kobot naplní bednu s hotovými kusy, je schopen ji odeslat přes dopravník na další pracoviště a přistavit si novou prázdnou bednu, aniž by potřeboval lidskou ruku.



Obrázek 16 – Zajištění chodu pracoviště kolaborativním robotem [23]

Shrnutí

Kolaborativní robot zastává plnohodnotného pracovníka, který je téměř samostatný. Zde byly úvahy ohledně použití průmyslové robotiky, ale jelikož je zde potřeba přístup člověka na pracoviště, bylo požadováno flexibilní řešení, které průmyslová robotika nemůže nabídnout.

Je nutné podotknout, že robot zde není umístěný napevno, ale je mobilní. Lze ho tedy přesouvat mezi pracovišti, kde ho je zrovna potřeba. [23]

5.5 Šroubování plastových dílů do myček

V jedné z největších továren na myčky v Evropě, kde se každý den vyprodukuje až 10 000 myček, našli uplatnění pro kolaborativního robota a zjednodušili tak práci svým zaměstnancům.

Původní činnost

Myčky se skládají na dopravníku. Pokaždé na dalším stanovišti zastaví a pracovník provede danou činnost, která v tomto případě je našroubování plastového dílu dovnitř do myčky, který slouží jako kryt pumpy na vodu.

Problematika

Jedná se o neergonomickou činnost, jelikož je zapotřebí se dosti natáhnout, aby mohl být proveden úkol. Myčka na dopravníku je poměrně vysoko a na obtížněji dostupném místě.

Řešení

Kolaborativní robot má vlastní vozík, se kterým ho jde snadno přemístit. V tomto případě je kobot přivezen k montážní lince, kde je připnut pomocí kleští, aby byl na správné pozici. Po upnutí a zapnutí programu je nejprve provedena kalibrace kobota vůči stanovišti. Kalibraci provádí na hranolovém kalibru, který je pevně přidělán na dopravníku.

Po dokončení kalibrace přijede na dopravníku myčka, kobot nejprve hledá první pozici šroubku a pak už jen utahuje.

Program kobota je nastaven tak, aby byl schopen rozeznat, zda je kryt dobře položen. Není-li, je schopen si ho sám „docvaknout“ pomocí speciálního gripperu s pneumatickým kopýtkem, kterým si plastový díl přitlačí.

Gripper kobota je vybaven šroubovacím nástrojem, ke kterému je přiveden injekční podavač šroubků. To vše je schováno v plastovém pouzdru, kobot tedy nemanipuluje s ostrými předměty a je kolaborativní.

Je-li potřeba provést revizi montáže kobota, stačí se ho jednoduše dotknout a on se zastaví. Opětvným dotekem je kobot opět zapnut.



Obrázek 17 - šroubování plastového dílu uvnitř myčky [24]

Poznámka

Šroubovací zařízení je správně zakrytováno v plastovém pouzdře a bez hran, ale dle mé rešerše ohledně kolaborativnosti není úplně „bezpečné“ pneumatické kopýtko, které má ostré hrany. Je ovšem možné, že kopýtko bylo dodáno ke šroubovacímu zařízení později jako prototyp.

Shrnutí

Kolaborativní robot mohl být implementován do již existujícího provozu mezi lidi, kde po několika úpravách mohl plně nahradit zaměstnance a vysvobodit je tak od neergonomické práce. [24]

5.6 Nýtovací kolaborativní robot

Růst BMW Group's v Anglii začal vyžadovat snížení času montáží, kvůli neustále se zvyšující produkci vozidel. Problematickou částí bylo skládání rámu pro vozidla MINI ve dvousměnném provozu.

Původní činnost

Pracovník měl na pracovním stole přípravek pro uložení jednotlivých dílů rámu, které pak následně manuálně nýtoval dohromady. Po dokončeném nýtování provedl umístění dvou vložek, které následně potřel vazelínou. Hotový rám byl pak pověšen na věšák rámu, který se nacházel vedle pracovního stolu.

Problematika

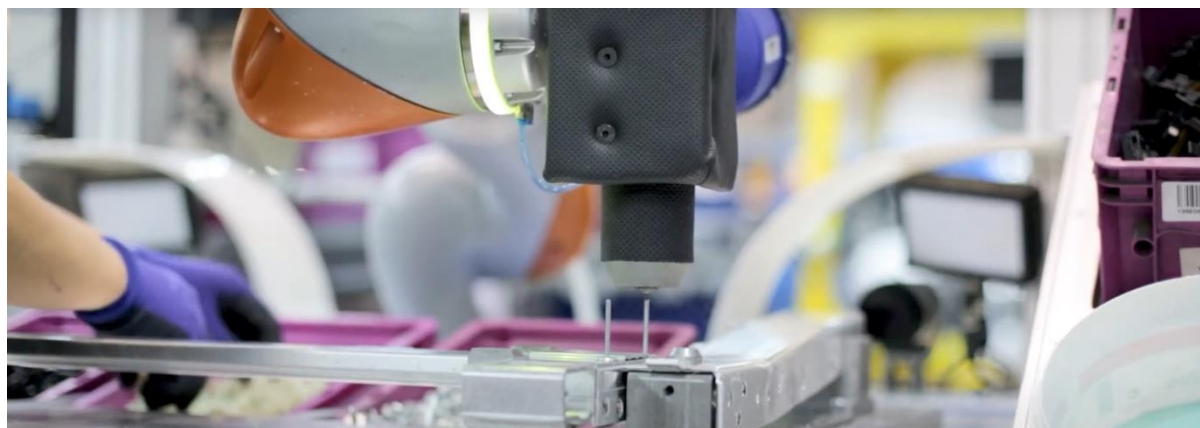
Nižší schopnost opakovatelnosti kvalitního provedení spoje kvůli časovému tlaku a různým schopnostem pracovníků, které se rovněž projevovaly na rychlosti provedení rámu. Tím docházelo k nekonzistentní produkci o různých kvalitách.

Řešení

Na pracovní stůl byl přidělán kolaborativní robot s nýtovacím nástrojem. Nýtovací nástroj je obalen měkkým materiálem, jelikož pracuje v těsné blízkosti člověka.

Pracovní postup zůstává stejný, jen nýtování již provádí kobot. Kobot se uvede v činnost stisknutím tlačka na stole. Pracovník do připravených dílů rámu vkládá nýty a současně kobot nýtuje již vložené nýty. Špačky od nýtu si je schopen sám vyprázdnit do KLT bedny.

Jelikož se zde počítá, že nýt nebude se 100% opakovatelností na stejném místě (jelikož může dojít v průběhu vkládání nýtu k jeho ohnutí), kobot si doteky nýt dokáže najít. Pokud by nýt byl hodně ohnutý, může kobota pracovník navést přes manuální režim.



Obrázek 18 - nýtovací hlavice kolaborativního robota [25]

Shrnutí

Kobot je schopen dělat monotónní práci, aniž by klesla jeho schopnost práci odvádět pečlivě. Dle zdroje došlo ke zvýšení rychlosti produkce jednoho rámu z 64 vteřin na 52 vteřin. Byla tedy zvýšena kvalita, efektivita a ergonomie na pracovišti. [25]

5.7 Nanášení uretanového lepidla

Ve firmě vznikl požadavek na automatizaci provozu při nanášení uretanového lepidla na skla do vozidel tak, aby byl zachován konzistentní provoz a kvalita.

Problematika

Firma se potýkala s problémem ohledně malých halových prostor. Nemohla si tedy dovolit umístit průmyslové roboty, které zaberou velkou část prostoru, kvůli zabezpečovacím systémům.

Řešení

Kolaborativní robot s nanášecem lepidla má před sebou umístěné dva stoly, na které se pokládají skla, na která bude nanášeno lepidlo.

Sklo umístí pracovník do přípravku na stole, aby bylo sklo přesně umístěné pro naučený program robota. Když je vše připravené, stačí robota spustit.



Obrázek 19 - nános polyuretanového lepidla na čelní sklo [26]

Shrnutí

Kolaborativní robotikou bylo docíleno plynulého chodu výroby částečnou automatizací, čehož by průmyslový robot nemohl dosáhnout. Díky kolaborativní robotice je možné minimalizovat pracovní prostor na minimum. [26]

5.8 Paletizační kolaborativní robot

Norská firma z potravinářského průmyslu hledala řešení ohledně automatizace na paletizaci krabicových produktů.

Původní činnost

Po dopravě jsou k zaměstnancům dopravovány plné krabice, které následně skládá na palety.

Problematika

Zdvihání poměrně těžkých krabic o velikém množství manuálně lidskému zdraví příliš nesvědčí. Firma má také omezené prostory, kde rovněž potřebuje, aby byla volná zem, pokud nebude prováděna paletizace. Dalším problémem je, že firma má rovněž omezený budget pro automatizaci paletizace.

Řešení

Na konec dopravníku je umístěný kobot s vakuovým koncovým efektořem. Ke krabici se tedy jednoduše přisaje, aby byl schopen ji zdvihnout. Na každé straně kobota (zleva, zprava) může být položena paleta. Pozice pro odložení palety je vyznačena zónou šedé barvy, která je namalována uvnitř červené zóny.

Jelikož byl požadavek zachovat volnou podlahu, nebyly použity žádné přípravky pro umístění palet. Polohu palety snímá tedy kamera, která je zavěšena na stropě. Tato kamera dává informaci o připravené prázdné paletě a rovněž o přivezené krabici dopravníkem k paletizaci. Skrze tuto kameru je spouštěn celý paletizační proces, není v tomto případě třeba nikde nic mačkat pro zahájení činnosti kobota.

Kobot také snímá váhu krabice. Dokáže tedy rozeznat, zda do jedné z krabic nebylo vloženo méně zboží, než by mělo být. Nastane-li takový případ, kobot na situaci upozorní.

Po naplnění palet se robot uloží do režimu spánku a minimalizuje tak svou velikost na 0.5 m².



Obrázek 20 - rovnání krabic na paletu [27]

Shrnutí

Kolaborativní robot zastupuje plnohodnotnou práci, kde bylo ušetřeno až 80 % prostoru, který by zabral průmyslový robot. Kobot dle zdroje denně zabalí v průměru 20 palet, což je 1700 krabic. [27]

5.9 Kobot kontrolor

V podniku pro výrobu podvozků zakomponovali kolaborativního robota pro finální kontrolu podstavy kolébky motoru, kde bylo nutné kontrolovat uchycení veškeré kabeláže a mít tak 100% jistotu správnosti, že v budoucnu nedojde k jejich poškození.

Původní činnost

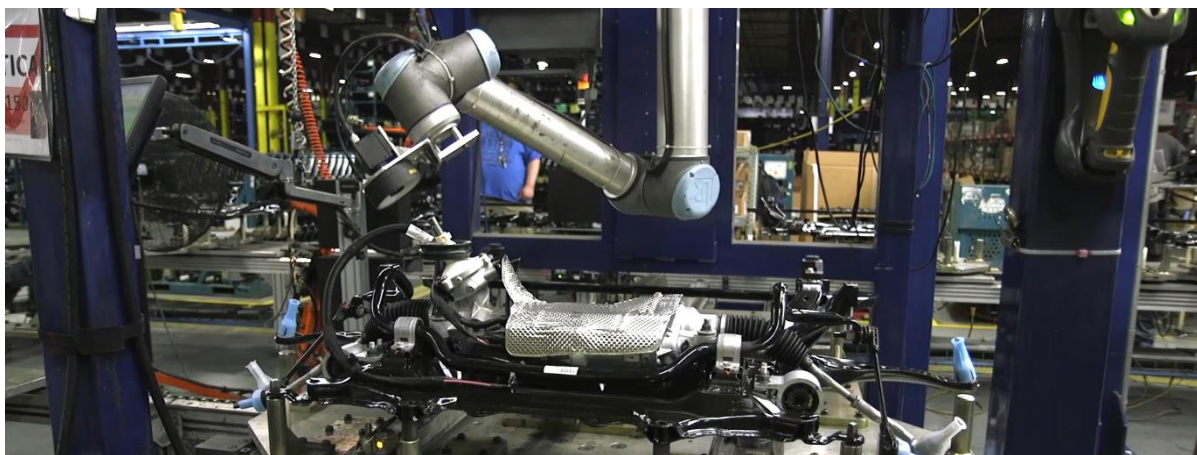
Na dopravníku přijela podstava do buňky se stacionárním multi-kamerovým systémem, který provedl revizi veškerého zapojení.

Problematika

Stacionární kamery byly schopny fungovat pouze na 80% přesnost, jelikož nebyly schopny zkontrolovat těsná místa, či prohlédnout složitěji viditelná místa. Rovněž kvalita dat z kamer byla nízké kvality.

Řešení

Na strop buňky byl připevněn kolaborativní robot, který je vybaven vision kamerou. Po příjezdu podstavy zahájí kobot revizi podle definovaných bodů programem, kde na každém z bodů vytvoří snímek kabeláže. Po dokončení kontrolního cyklu se kobot vrátí do výchozí pozice a čeká na další podstavu.



Obrázek 21 - optická kontrola zapojení kabeláže kolaborativním robotem

Shrnutí

Do již fungujícího provozu byl bezpečně zaveden kolaborativní robot, který docílil 100% přesnosti při kontrole. Došlo tak ke zvýšení efektivity. [28]

5.10 Kobot metrolog

V centru metrologie byl aplikován kobot, který je schopen obsluhovat tři metrologické stanice najednou. Produktivita pracoviště byla zvednuta na 90 % díky tomu, že je pracoviště schopno fungovat 24/7.

Problematika

Byl používán manuální nakládací systém, který byl často problematický a neflexibilní při změně produktu. Původní systém byl rovněž závislý na přítomnosti personálu, jelikož jeden ze strojů byl schopný ovládat pouze jeden zaměstnanec.

Řešení

Kolaborativní robot byl umístěn mezi tři technologie, které jsou CMM (Coordinate Measuring Machine), bezkontaktní měřící zařízení a drsnoměr.

Kobot nejprve naskenuje čárový kód každé součásti a na základě programu ji umístí do příslušného přístroje. Po dokončeném měření měřící přístroj vyšle kobotovi informaci o stavu součásti, zda je vyhovující či nikoliv, nebo zda je potřeba další inspekce. Na základě toho kobot díly roztřídí do příslušných přihrádek.



Obrázek 22 - obsluha CMM stroje [29]

Shrnutí

Kolaborativním robotem bylo docíleno maximální produktivity z původních 50 %. Kobot je schopen sám pracovat a rozhodovat na základě vyhodnocení měření. Nevznikají tak prostoje na pracovišti a není potřeba vykonávat repetitivní činnost. [29]

5.11 Obsluha lisu

Firma zabývající se výrobou regálů využila kolaborativního robota k odebrání a ukládání hotových plechů od lisu.

Původní činnost

Pracovník na 8hodinové směně odebírá vylisované plechy od lisu. Tyto plechy následně zakládá do bedny.

Problematika

Činnost je vykonávána 8 hodin denně. Jedná se o jednoduchou monotónní činnost v těsné blízkosti hlučného stroje. Činnost se tak stává i psychicky náročnou. Práce je poměrně nebezpečná, jelikož pracovník musí strkat ruce do těsné blízkosti lisu, odkud jsou odebírány již vyhotovené plechy. Je zde tedy potenciální riziko úrazu.

Řešení

K lisu byla postavena konstrukce pro uchycení kobotu. Kobot je vybaven koncovým efektem s vakuovými přísavkami, kterými je schopen odebírat plechy z lisu a ukládat je do bedny.

Kolaborativní robot je rovněž flexibilní vůči změně produkce. Kobot má již v sobě naprogramováno 10 různých výrobních cyklů, mezi kterými je možné přepínat.



Obrázek 23 - odběr plechů od lisu [30]

Shrnutí

Kolaborativní robotikou byla eliminována opakující se činnost a nebezpečí při práci. Původní obsluze lisu se tak snížila směna na lisu z 8 hodin na pouhou hodinu denně. Pracovník se tak může věnovat lépe finančně ohodnocené práci. [30]

5.12 Svářecí kobot

Firma zabývající se svářením ocelových konstrukcí různého typu. Firma disponovala svářecím robotem, který byl však nevhodný pro použití na malé svařence. Firma však řešila problém s nedostatkem certifikovaných svářečů a docházelo tak k častému opoždování na zakázkách. Problém pomohly vyřešit kolaborativní roboty.

Problematika

Do firmy chodila spousta poptávek, které však nemohla přijímat kvůli nedostatku pracovních sil. Pro splnění některých zakázek bylo dokonce potřeba daleko více svářečů, než kolik bylo ve skutečnosti k dispozici.

Firma měla prostor pro 40 certifikovaných svářečů, z toho však bylo obsazeno pouhých 7 pozic. Vzhledem k lokalitě firmy nebylo možné počítat s plným obsazením pozic.

Řešení

Na pracoviště byly zavedeny kolaborativní roboty, které jsou schopny vytvořit jakýkoliv svár. Ke kolaborativnímu robotovi je přiveden svářecí drát a plyn. Jako koncový efektor je svářečka.

Kobotovi pak už jen stačí ukázat, kde má svářet, a o zbytek se již postará speciální mobilní open source aplikace, díky které se vše nastaví podle požadovaných parametrů sváru. Programování kobota na sváření může provádět i necertifikovaný operátor, jelikož certifikovaná je samotná aplikace a robot také. Po vytvoření programu kobota lze s robotem kolaborovat či jej nechat pracovat samostatně.



Obrázek 24 - sváření kolaborativním robotem [31]

Shrnutí

Zavedením kolaborativní robotiky firma může začít nabírat pracovníky, kteří již nejsou certifikovanými svářeči. Sváření menších dílů kobotem firmu vyjde o polovinu levněji, než by ji stál zkušený svářeč. Zkušené svářeče si tak může soustředit na větší díly. Na pracovišti se tak rozšířila výrobní kapacita, efektivita a došlo k vytvoření nových pozic s menšími nároky. [31]

5.13 Lepení s kolaborativním robotem

V továrně pro výrobu doplňků pro interiér se poohlíželi po lepším řešení na skládání dveřních koulí.

Původní činnost

Koule se lepily epoxidovým lepidlem manuálně, kdy se do těla koule nanese lepidlo, na které se následně položí zrcátko. Na zrcátko se opět nanese lepidlo a jako poslední díl se položí skleněná hlava koule.

Problematika

Docházelo tak občas ke špatně nanesenému množství a konečný produkt byl pak buď ulepený, nebo špatně slepený. Proces byl navíc pomalý, zaměstnanci tak museli pracovat přesčas.

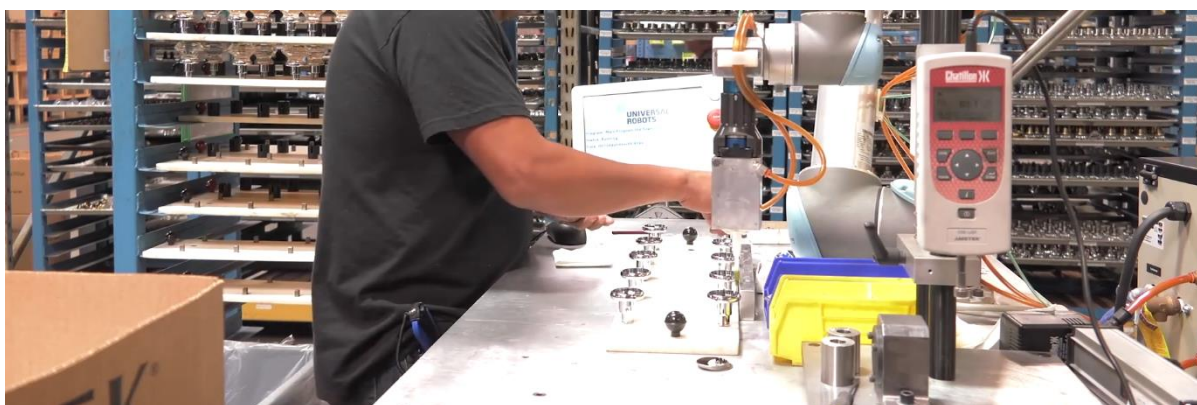
Rovněž se zde vyrábí mezi 40-60 produkty, které se dynamicky mění, bylo potřeba flexibilní řešení pro rychlou změnu programu.

Řešení

Na pracovním stole je pozice pro vyměnitelný přípravek. Přípravek se bere z regálu s již vyskládanými těly koule, která se uchytí ke stolu dvěma šrouby, aby byl přípravek vždy na stejném místě.

Kobot začne po spuštění programu nanášet lepidlo do vyskládaných těl a pracovník za kobotem skládá jednotlivé díly dovnitř, dokud není celý výrobní proces dané koule dokončen.

Pro všechny produkty byly vytvořeny programy lepení, takže při jejich změně stačí jednoduše přepnout program na řídicím panelu kobota z jednoho produktu na jiný. Pracoviště zůstává, jediné, co se mění, je program a výrobek.



Obrázek 25 - nanášení lepidla [32]

Shrnutí

Došlo ke snížení zmetkovitosti a velikému růstu produktivity. Zaměstnanci tak už nemusí pracovat přesčas. [32]

5.14 Kolaborativní robot obsluhující CNC stroj

České firmě zabývající se CNC obráběním přišla nabídka na velkou zakázku, u které by nepomohlo zvýšit výrobní kapacitu nákupem nových strojů a náborem více zaměstnanců, jelikož firma byla málo efektivní. S tímto problémem jim pomohly kolaborativní roboty.

Původní činnost

Stroje obsluhovali pracovníci, kteří měli na starost vkládání a odebrání obrobku.

Problematika

U stroje musel neustále někdo být, aby zajistil výměnu obrobku, která trvala pokaždé jinak dlouho.

Řešení

K obráběcím strojům byl přidělen kolaborativní robot s patřičným koncovým efektem podle dílu, se kterým kobot manipuluje. Kolaborativní robot je naprogramován tak, aby centrum bylo schopno sám obsluhovat bez přítomnosti člověka.

Kobot si je tedy schopen sám otevírat dveře centra a provádět tak výměnu obrobku, je-li obrábění dokončeno. Po dokončeném obrábění je kobotovi dán signál z obráběcího centra, aby provedl výměnu obrobku. Veškeré signály jsou prováděny přes digitální I/O (Input/Output). Pracovník daného obráběcího centra tak pouze dohlíží na doplňování polotovary a kvalitu obrobků.



Obrázek 26 - obsluha CNC stroje [33]

Shrnutí

Implementací kolaborativních robotů byla produkce navýšena až o 40 % a není potřeba neustálý dohled nad obráběcími stroji ohledně výměny obrobku. [33]

5.15 Leštič povrchů

Při produkci subwooferů vznikla poptávka po pracovně náročných produktech, kvůli kterým bylo nutné zavést kolaborativní robotiku.

Původní činnost

Subwoofer byl upnut do přípravku, se kterým jde otáčet po 90 stupních kolem horizontální osy. Pro vytvoření lesklého povrchu subwooferu bylo nutné manuálně nanášet několik vrstev laku, kdy se mezi jednotlivými vrstvami muselo provádět broušení a leštění pomocí ručních nástrojů poháněných vzduchem. Tento cyklus se opakoval, dokud nebylo dosaženo dokonalosti.

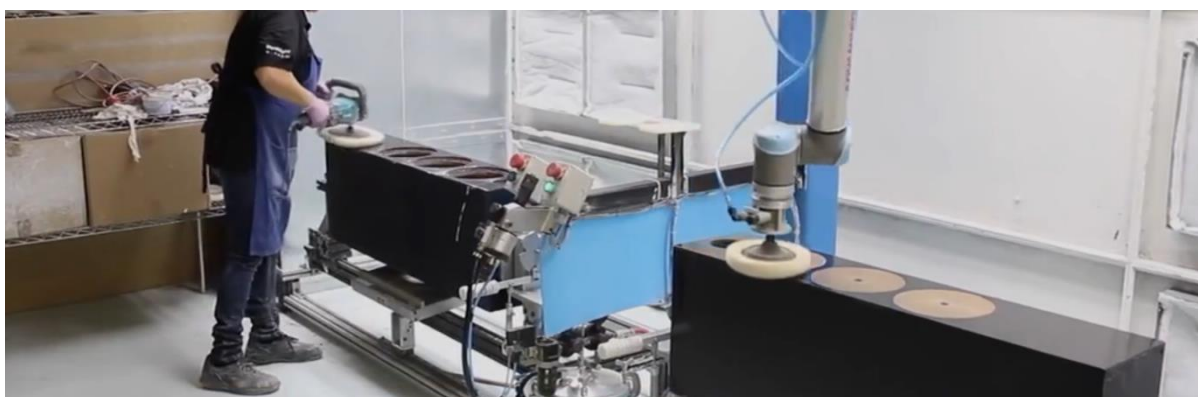
Problematika

Firma se potýká s nedostatečným počtem zkušených lidí, kteří by se byli ochotni ujmout takto zodpovědné práce, při které je potřeba hodně citu a zručnosti. Při špatném pohybu může dojít k poškození povrchu subwooferu, který již pak nelze opravit.

Řešení

Na pracoviště byl přidán kolaborativní robot, který byl umístěn nad střed přípravku pro subwoofery, má tak plný rozsah v celé délce a šířce výrobku. Kobot je dále opatřen pneumatickou leštičkou, se kterou provádí leštění povrchu.

Po upnutí obrobku se stiskne tlačítko pro spuštění kobota. Po spuštění si kobot nejprve nechá na zastavený leštící kotouč nanést z automatizovaného dávkovače jemnou abrazivní pastu, po nadávkování kotouč roztočí a začne plnit úkol. Stejně si tak i kobot nechává dávkovat pastu v průběhu leštícího cyklu.



Obrázek 27 - leštění povrchu [34]

Shrnutí

Kolaborativním robotem byla zvýšena produkce o 50 % a kvůli schopnosti „citu“ kolaborativních robotů, nedochází k přehřívání laku, který se tak ničil. [34]

6 Návrh kolaborativního pracoviště

Zadaným předmětem pro montáž je flash disk. Mým cílem je vytvořit modulární pracoviště, kde se na montáži podílí člověk s kolaborativním robotem.

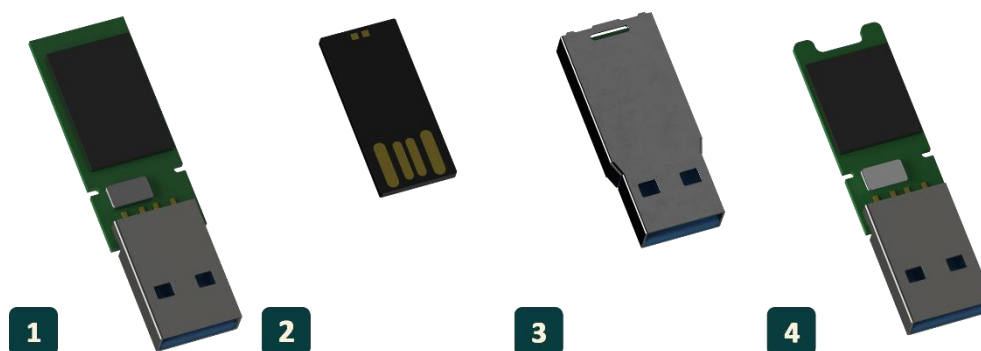


Obrázek 28 – postup návrhu

Pro návrh kolaborativního pracoviště je nejprve nutné učinit analýzu předmětu montáže a jeho optimální návrh pro montáž. Poté následuje návrh a volba vybavení pracoviště a návrh přípravků pro montáž.

6.1 Analýza předmětu montáže

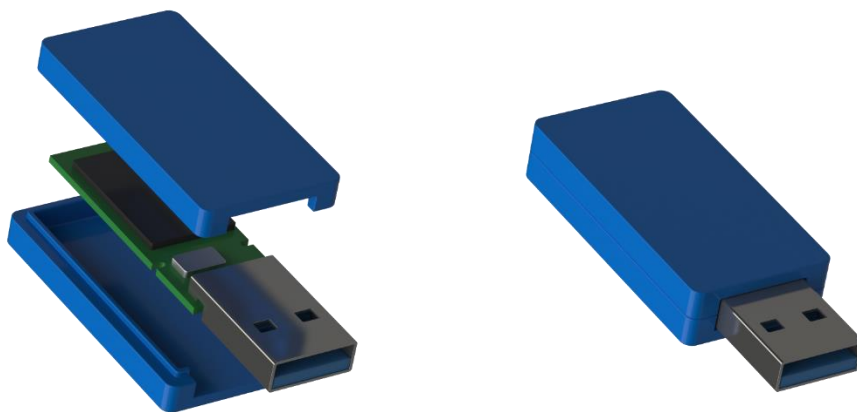
Výstupem pro toto pracoviště, jak již bylo zmíněno, je flash disk. Jelikož počítám s využitím kolaborativního robota při montáži, je nutné se zamyslet z kolika dílů se bude onen produkt skládat a jak díly budou do sebe montovány. Kolaborativní robot bude montáž provádět jinak, než kdyby ji prováděl člověk. Díly by do sebe tedy měly zapadat snadno a s minimálním využitím sil.



Obrázek 29 - varianty modulů

Pro návrh flash disku je k dispozici několik variant modulů, které se odlišují rozměry, cenou, momentálně však i dostupností.

Nejprve jsem navrhl prototyp pouzdra (dále jen „v.1“) pro modul (viz. Obrázek 29 - č.1). Toto pouzdro (viz. Obrázek 30) sloužilo jako odrazový můstek pro zvážení možností montáže a způsobu výroby pouzdra.



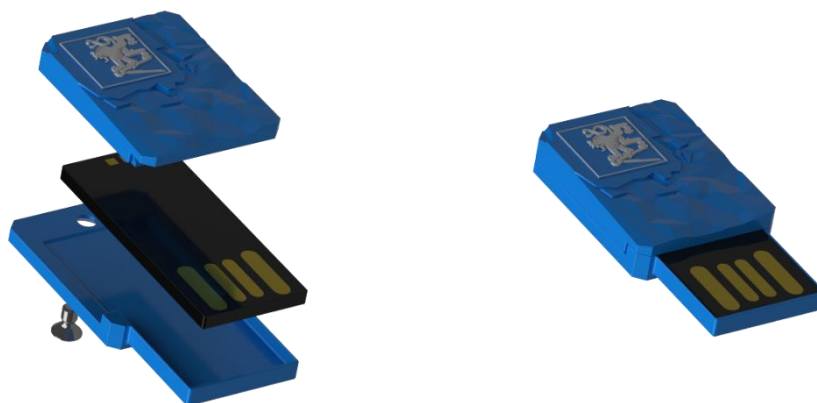
Obrázek 30 - Prototyp flash disku v.1

Pro výrobu pouzdra jsem zvolil aditivní technologie. Konkrétně technologii FDM (Fused Deposition Modeling), která je dostupná na Fakultě strojní. Tištěné pouzdro bude následně zajištěno pomocí šroubového spoje. Původně byl brán v úvahu i gravírovaný plíšek, který by se vkládal do pouzdra, jakožto ozdoba flash disku. Avšak od gravírovacího stroje jsem nakonec upustil.

6.2 Návrh předmětu montáže

Po zvážení požadavků na výrobu pouzdra jsem začal navrhovat pouzdro (dále jen „v.2“) pro nejmenší z modulů (viz. Obrázek 29 - č.2), který byl kvůli dobře se jevící dostupnosti ideální volbou.

Konstrukce je navržena tak, aby ji mohl provádět kolaborativní robot. Díly k sobě přilnou pomocí pacek, které slouží jako pojišťovací mechanismus proti rozložení. Díly tak do sebe stačí pouze zasunout a zajistit na opačném konci pomocí šroubového spoje.

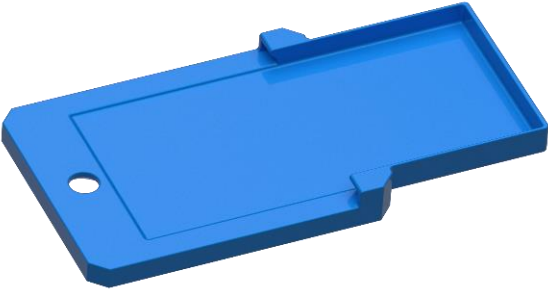
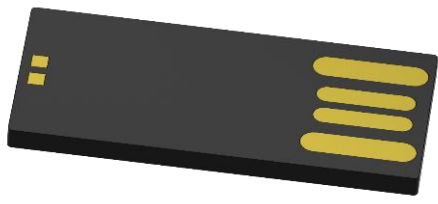




Obrázek 31 - návrh flash disku v.2

Návrh v.2 (viz. Obrázek 31) však s sebou přinášel několik problémů. Modul kvůli jeho velikosti vyžaduje velice malý šroub, který by při montáži mohl působit problémy. Pravděpodobně by se šroubek nedařilo robotem uchytit. Dalším problémem jsou momentální limity technologie FDM. Mechanismus pro spojení vrchní a spodní části pouzdra jsou příliš malé. Docházelo by pravděpodobně ke špatnému

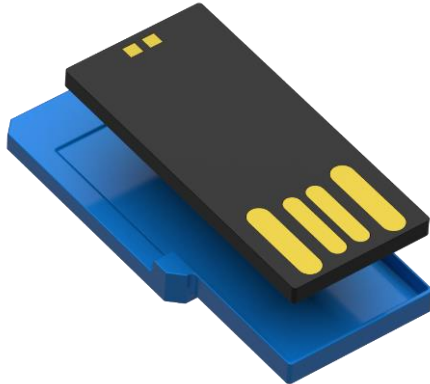

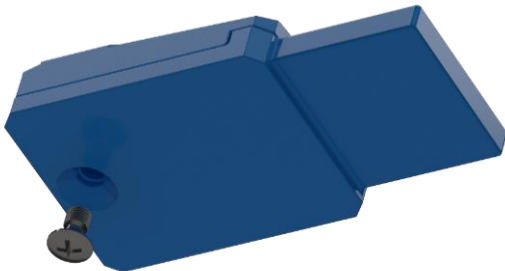
lícování pouzdra a kvůli jeho tloušťce i k pokroucení během jeho tisku. Technologie FMD by rovněž nebyla schopna vytisknout pouzdro v plném detailu.

Tabulka 3 - kusovník v.2

Označení součásti	Název	Počet kusů	Náhled
A1	Spodní část pouzdra	1	
B1	Modul	1	
A2	Vrchní část pouzdra	1	
C1	Šroub M1,6x3	1	

Výše zmíněné problémy jsou poměrně snadno řešitelné pomocí optimalizace designu. Objevil se zde však problém, který optimalizace nevyřeší, a to dostupnost modulu. Modul nakonec nebyl k dostání, čímž nebylo možné v.2 otestovat a zoptimalizovat.

Tabulka 4 - montážní list v.2

Číslo operace	Popis činnosti	Náhled
10	Vložení modulu (B1) do vybrání v pouzdře (A1).	
20	Nasunutí vrchní části pouzdra (A2) na spodní část pouzdra.	
30	Vložení šroubu (C1) do díry a jeho utažení.	

Po tom, co jsem se dozvěděl o nedostupnosti modulu pro v.2, se naskytly další alternativy modulů, které jsou k sehnání (viz. Obrázek 29 - č.3, č.4). Průběžným prototypováním vznikl spolehlivý design, pro který bude vhodné nadále navrhovat přípravky pro pracoviště. Výsledkem prototypování a průběžného upravování rozměrů vznikl návrh flash disku pro modul (viz. Obrázek 29 - č.4) ve formě raketky (dále jen „v.3“) (viz. Obrázek 32).



Obrázek 32 – návrh flash disku v.3

Modul je zasunut do pouzdra ze zadní části flash disku a následně přikryt patkou s výstupkem pro napěchování modulu do pouzdra. Patka je zajištěna dvěma šroubky, které mají uschované otvory v „tryskách“ pouzdra (viz. Obrázek 32).

Tabulka 5 - kusovník v.3

Označení součásti	Název	Počet kusů	Náhled
A1	pouzdro	1	
B1	Modul	1	
A2	Patka pouzdra	1	
C1	Šroub M2,9x9,5	2	
A3	Víčko	1	

Konstrukce flash disku je ideální pro automatizovanou montáž kolaborativním robotem. Kvůli konstrukci nevyžaduje nadbytečné přehmaty a pozicování dílů, aby mohl vzniknout jeden celek.

Tabulka 6 - montážní list v.3

Číslo operace	Popis činnosti	Náhled
10	Vložení modulu (B1) do pouzdra (A1).	
20	Nasazení patky (A2) na pouzdro.	
30	Vložení šroubů (C1) do děr a jejich utažení.	
40	Nasunutí víčka A3.	

Pro volbu vhodného flash disku jsem stanovil určitá kritéria (viz. Tabulka 7). Prototyp v.1 jsem do porovnávací tabulky nezahrnoval, jelikož neobsahuje žádné spojovací mechanismy a nebyla zde příliš řešena estetičnost. Nejvhodnější varianta je označena v tabulce červeným rámečkem.

Tabulka 7 – srovnání návrhů flash disků

POROVNÁNÍ VARIANT		
KRITÉRIA	V2	V3
DOSTUPNOST MODULŮ	NEDOSTUPNÉ	DOSTUPNÉ
SMONTOVATELNOST ROBOTEM	DOBŘÁ	DOBŘÁ
VYROBITELNOST POMOCÍ FMD TECHNOLOGIE	KOMPLIKOVANÁ	SNADNÁ
NÁROKY NA PŘESNOST PŘI MONTÁŽI	VYŠŠÍ	PŘIJATELNÉ
POČET DÍLŮ	4	6

O výběru nejvhodnější varianty rozhoduje hlavně dostupnost modulů. Proto je jednoznačným výhercem flash disk v.3. Pokud by tomu však tak nebylo, můžeme porovnat konstrukční řešení v.2 a v.3 (viz. Tabulka 7). I přesto vyhrává v.3.

Shrnutí

Pro výrobu pouzdra jsem se rozhodl zvolit 3D tisk, kde bude sloužit šroubový spoj jako pojišťovací mechanismus proti rozložení. Postupným testováním různých designů pouzder jsem zvolil nejvhodnější návrh s ohledem na dostupnost modulů. Jedná se o flash disk v.3.

6.3 Návrh montážního pracoviště

V této kapitole budu psát o zvoleném vybavení pro pracoviště. Nejprve se budete moci dočíst o zvoleném kolaborativním robotovi a proč jsem ho zvolil. Následně budu psát o návrhu pracovního stolu pro pracoviště. Posledním krokem jsou pak návrhy přípravků, které jsou nutné pro fungování pracoviště.

Kolaborativní robot

Pro vytvoření pracoviště jsem se rozhodl vybrat kolaborativního robota YuMi IRB 14 000 (dále jen YuMi) od firmy ABB (viz. Obrázek 33). Kobota YuMi jsem však nezvolil jen kvůli tomu, že je označován za kolaborativního. Hlavní odlišností kobota YuMi jsou dvě ramena v jednom těle, které lze bez problému synchronizovat. Dále má YuMi i svůj základní koncový efektor s vyměnitelnými prsty. Tento efektor je ideální pro drobné montáže. Díky vybavenosti kobota YuMi koncovými efekty, které jsou kolaborativní, není nutné investovat do kolaborativních koncových efektorů od jiných výrobců.



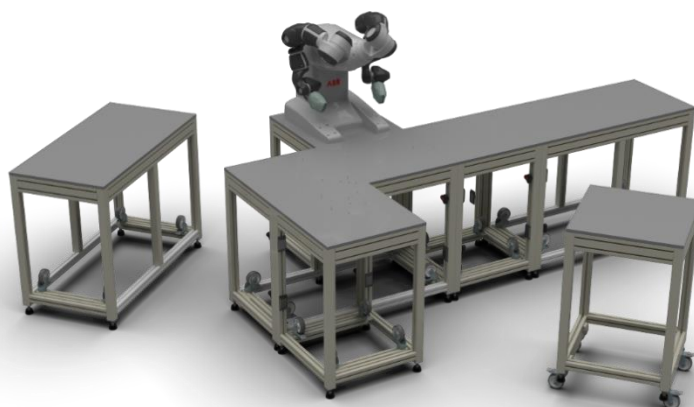
Obrázek 33- kolaborativní robot IRB 14000 YuMi

Návrh stolu

Jelikož koboti jsou považovány za stroje flexibilní, bylo by na škodu je umístit na neflexibilní pracoviště. Proto jsem se rozhodl pracoviště udělat modulární. To znamená, že pracoviště bude možné snadno přemístit a přebudovat, aniž by se musel YuMi přenášet a znovu připevňovat k jinému nedomulárnímu pracovišti. Za účelem vytvoření modulárního pracoviště vzniklo více variant, ze kterých byla následně vybrána ta nejvhodnější.

Puzzle stoly

Tento návrh byl založen na spojování stolků různých velikostí k sobě. Na každém stolku by se nacházely různé přípravy a vybavení přišroubované k desce stolku. Mohlo by tak vzniknout pracoviště podle momentálních potřeb. YuMi by se nacházel na samostatném stole.



Obrázek 34 - vizualizace puzzle stolů

Spojení stolů je řešeno pomocí svěrného spoje. Do vyvrtaného otvoru v noze stolu je vložen přípravek „T“ tvaru s válcovou nohou, kde je vytvořen vnější závit. Na válcovitý tvar je nasunut další stůl, kde je následně provedeno zašroubování pomocí rukojeti s vnitřním závitem (viz. Obrázek 35).



Obrázek 35- řešení spoje Puzzle stolů

Každý stůl je vybaven výškově nastavitelnými nožičkami a sklopnou lištou s kolečky pro usnadnění případné manipulace pracovištěm.

Tento druh pracoviště je však prostorově náročný na skladování nepoužívaných stolů a v případě přesunu pracoviště je poměrně náročné seřízení výšky nožiček. Vhodné uplatnění tohoto pracoviště by se však našlo u rozsáhlejších montáží.

Stůl s rastrem

Pracovní deska stolu je velice podobná svářečským stolům, kde jsou vyvrtány stejně velké díry vždy se stejnou roztečí. Jedná se tak o desku s rastrem (viz. Obrázek 36). Přímo k tomuto stolu je upevněn i robot YuMi. V desce se nachází vyříznutý otvor pro jeho zasazení.

Rastr stolu slouží pro přesné uchycení potřebného vybavení pracoviště za pomoci šroubového spoje, který nám umožňuje snadnou a rychlou výměnu vybavení pracoviště. Není to však jediná výhoda, kterou tento stůl nabízí. Bude-li pracoviště přebudováno z montáže A na pracoviště pro montáž B, nedojde tak ke zničení pracoviště A. Je-li vytvořena například výkresová dokumentace k rozmístění vybavení pracoviště A, není problém jej znovu opakovaně vytvořit.



Obrázek 36 - stůl s rastrem

Stůl s vyměnitelnými deskami

Pro tento koncept jsem změnil pouze desku stolu. Zbytek je tedy ve srovnání s rastrovým stolem zachován. Jelikož pro tento případ není vybavení pracoviště připevňováno přímo ke stolu, není nutné mít vysoký počet děr, které by byly nevyužity.

Vybavení je připevňováno na plastové desky o různých velikostech. Tyto desky jsou navrženy tak, aby bylo možné kombinovat různé velikosti desek podle potřeb pracoviště. Aby bylo možné desky přichytit k pracovní desce stolu, jsou do každé plastové desky vyvrtány otvory pro šroub se zápusťnou hlavou. Jak jsem již zmiňoval, u tohoto stolu (viz. Obrázek 37) jsem zásadně zmenšil počet děr. Díry jsou proto vyvrtány na takových místech, aby do nich bylo možné zašroubovat co nejvíce různých velikostí desek.

Hlavní výhodou tohoto pracoviště je rychlá změna pracoviště na jiné, aniž by muselo být rozebráno pracoviště předchozí. Pro změnu pracoviště postačí pouze změnit program YuMiho a vyměnit desky pro požadovanou montáž. Tímto způsobem si můžeme postupně vytvářet sortiment různých montáží, kdy jsme pak schopni téměř okamžitě reagovat na změnu požadavku montáže s vynaložením minimálního úsilí na přebudování. Často používané vybavení pracoviště se může uložit přímo pod stůl, kde je pro ně vytvořen úložný prostor.

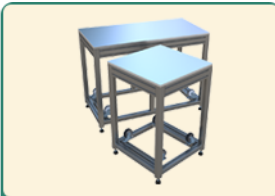
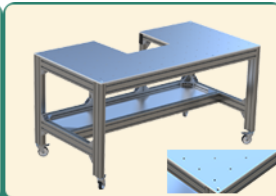
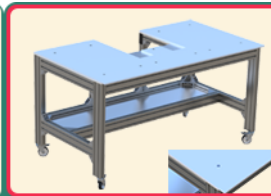















Pro případnou manipulaci jsem stůl umístil na otočná kola. Stůl se tak může bez problémů využívat pro prezentační účely montáží, či účely edukativní.



Obrázek 37 - Stůl s výměnnými deskami

Pro porovnání stůlů jsem vytvořil tabulku (viz. Tabulka 8). Hodnocení je vyobrazeno pomocí obdélníků. Čím více zelených obdélníků, tím lépe. Nejvhodnější varianta je označena v tabulce červeným rámečkem.

Tabulka 8 - srovnání návrhů stůlů

POROVNÁNÍ VARIANT				
KRITÉRIA		PUZZLE	RASTR	DESKY
MODULARITA STOLU				
SKLADNOST				
RYCHLOST SEŘÍZENÍ STOLU PO MANIPULACI				
RYCHLOST PŘESTAVĚNÍ PRACOVIŠTĚ				
SCHOPNOST ROZŠÍŘIT PRACOVIŠTĚ				

Počítám s tím, že pracoviště bude putovní a nebude sloužit jen pro jeden typ montáže. Proto se stává nejvhodnější variantou stůl s vyměnitelnými deskami, který zaručuje snadnou manipulaci a modularitu.

Shrnutí

Pro kolaborativní pracoviště jsem navrhl tři různé varianty stůlů. Z navržených variant jsem zvolil stůl s vyměnitelnými deskami.

Přípravky na montáž

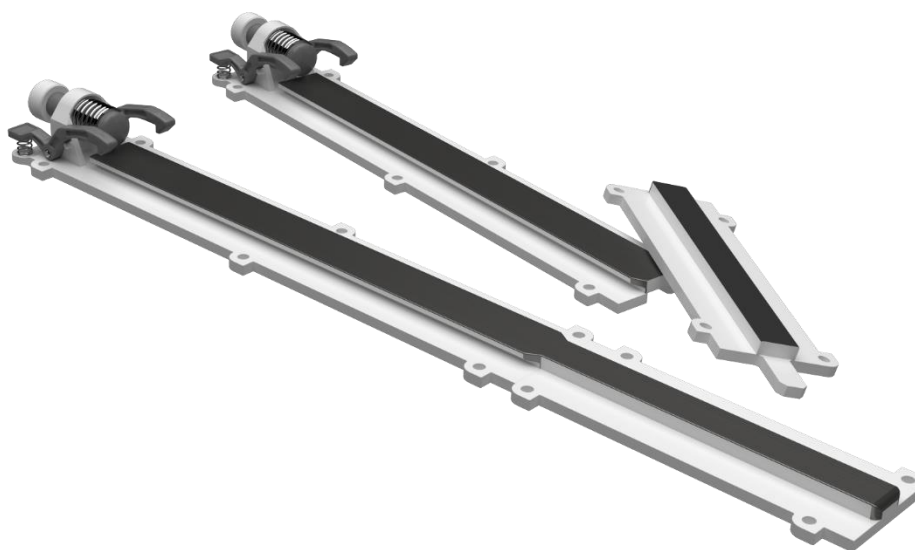
Jelikož se na této montáži má podílet kolaborativní robot YuMi, je vhodné ba dokonce i nutné tomu pracoviště přizpůsobit. Vhodně navržené přípravky mají zásadní vliv na schopnost vytvořit finální produkt.

Stůl byl navržen, aby působil modulárně. Je-li to však možné, je vhodné udělat univerzální přípravky či alespoň jejich část pro případ, kdy se bude jednat o tu samou montáž, jen trochu jiného výrobku.

Jako první budu navrhovat přípravky na odběr dílů, pro které jsem si stanovil kritéria. Tato kritéria jsou následující:

- univerzálnost
- možnost rychlého doplnění
- přípravek vhodný pro kobota, ale i člověka
- vhodně polohovaný díl pro odběr

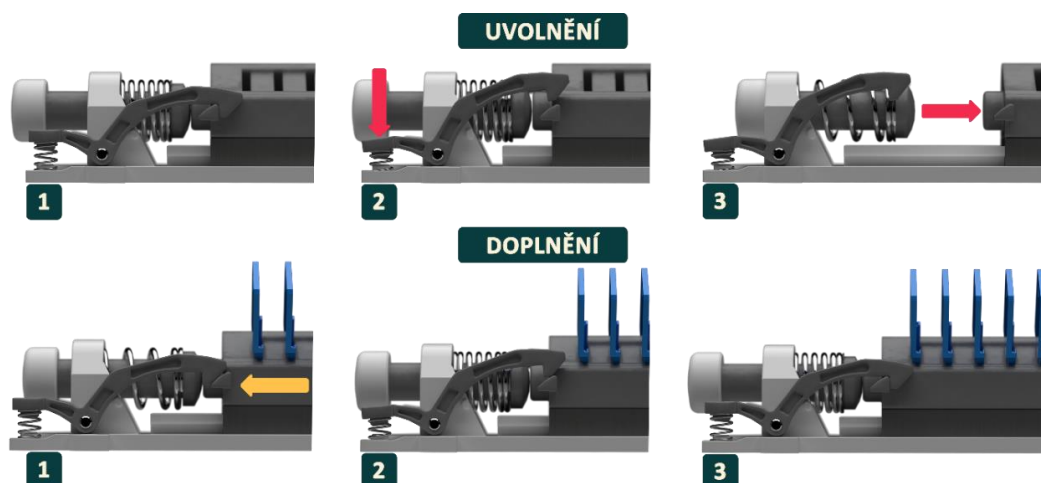
Ovšem ještě před samotným návrhem přípravků mě přivedla hned první dvě kritéria k nápadu na menší zlepšení tohoto pracoviště. Tímto zlepšením je pojezdová lišta pro přípravky (viz. Obrázek 38).



Obrázek 38 - Pojezdová lišta

Umožní zvýšit využitelnost vyměnitelných desek stolu, jelikož lišty budou fungovat univerzálně a tím dojde k rozšíření možností pro jejich využití. Zároveň budou umožňovat rychlou výměnu prázdných přípravků za plné.

Pro rychlou výměnu jsem lištu vybavil malým vyhazovacím mechanismem, který nalezne uplatnění především při automatizované montáži. Tento mechanismus slouží pro vysunutí prázdného přípravku pomocí pružinového trnu. K zajištění trnu jsou zde dvě páčky, které zároveň slouží i k jeho odjištění (viz. Obrázek 39).



Obrázek 39 – Mechanismus výměny

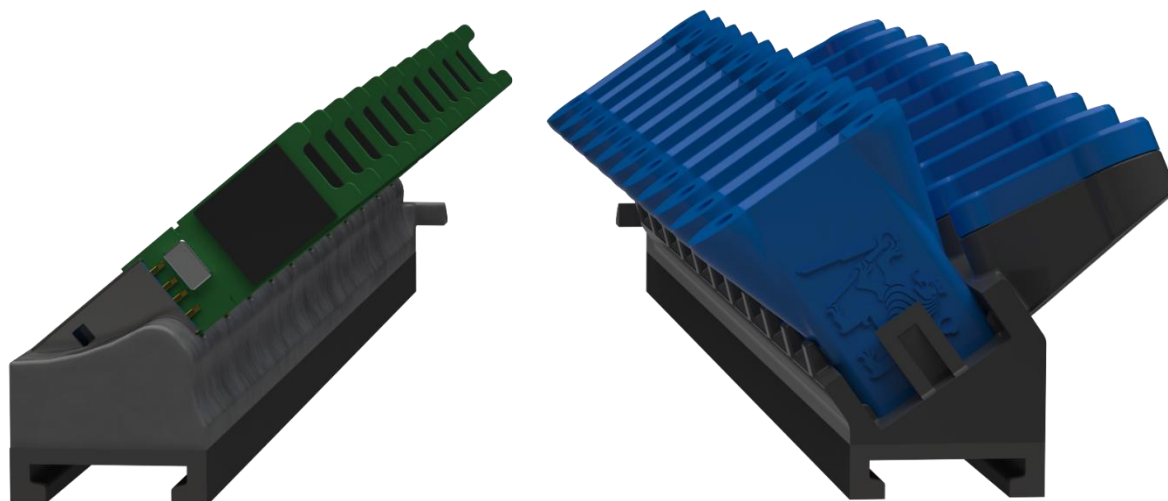
Smyslem tohoto zařízení je usnadnit výměnu přípravku, ale zároveň i indikovat operátorovi potřebu jeho výměny. V případě, kdy dojdou díly v přípravku, jej YuMi odjistí a přejde na zásobník plný.

Přípravky, které se do těchto lišt nasouvají, jsou v tomto případě přípravky na držení jednotlivých dílů flash disku. Jeden pro součásti pouzdra a jeden pro držení modulů. Každý z těchto přípravků je opatřen lištou, která je protikusem pro lištu pojezdovou, opěrnou plochou pro pružinový trn a výstupky pro zajištění přípravku pomocí páky na pojezdové liště (viz. Obrázek 40).



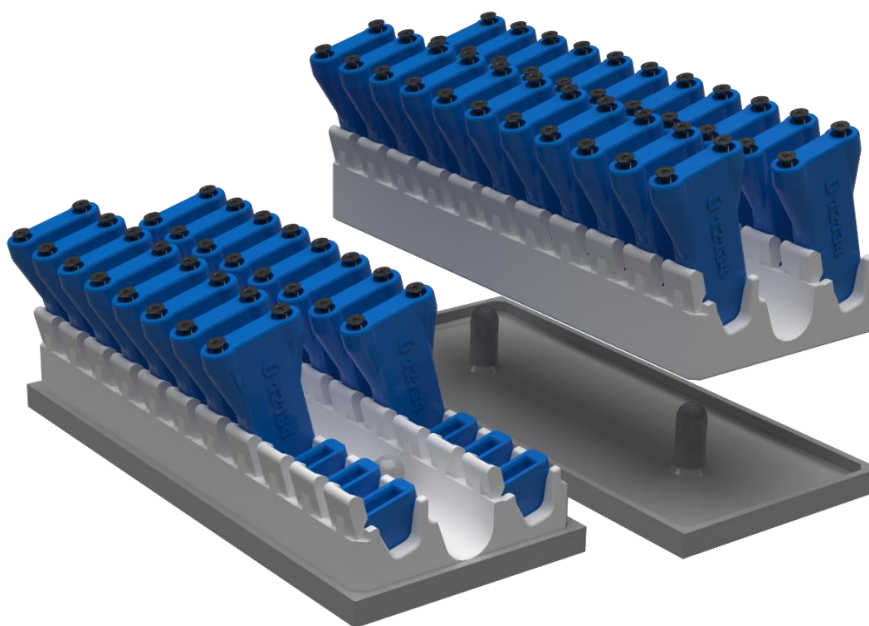
Obrázek 40 - Prvky přípravku a pojezdové lišty

Přípravek na pouzdra pojme 22 dílů, zatímco přípravek na moduly, pojme dílů pouze 11. Není tomu však tak, že přípravek na moduly má poloviční kapacitu. Přípravek na pouzdra je totiž nositelem 11 pouzder a 11 patek flash disku. V každém z těchto přípravků jsou díly nakloněny směrem k operátorovi provádějící montáž pro snazší odběr. Smysl orientace dílů v přípravku je takový, aby nedocházelo k nadměrným přehmatům a manipulaci při montáži (viz. Obrázek 41).



Obrázek 41 - Uspořádání dílů v přípravku

Smontované flash disky jsou odkládány do přípravku, kde jsou u dna nachystána víčka. Dojde tak při vkládání hotového flash disku i k jeho zavíčkování. Tato víčka jsou do přípravku vkládána operátorem (viz. Obrázek 42).



Obrázek 42 - přípravek pro odkládání hotových flash disků

Odkládací přípravek dokáže pojmout 22 smontovaných flash disků. Tento přípravek bude také využívat operátor pro utahování šroubků.

Dopravník

Zásobování šroubků jsem se rozhodl vyřešit pomocí vibračního zásobníku. Po zásobníku však není požadováno, aby nepřetržitě vibroval, protože odběr šroubků bude dosti nepravidelný. Původně jsem zamýšlel, že signály do vibračního zásobníku bude dávat YuMi přes I/O, k čemuž jsem se snažil vymyslet mechanismus, který by uvolňoval vždy jen jeden šroubek. Takové řešení by však nefungovalo bezchybně pro můj uvažovaný způsob odběru šroubků.

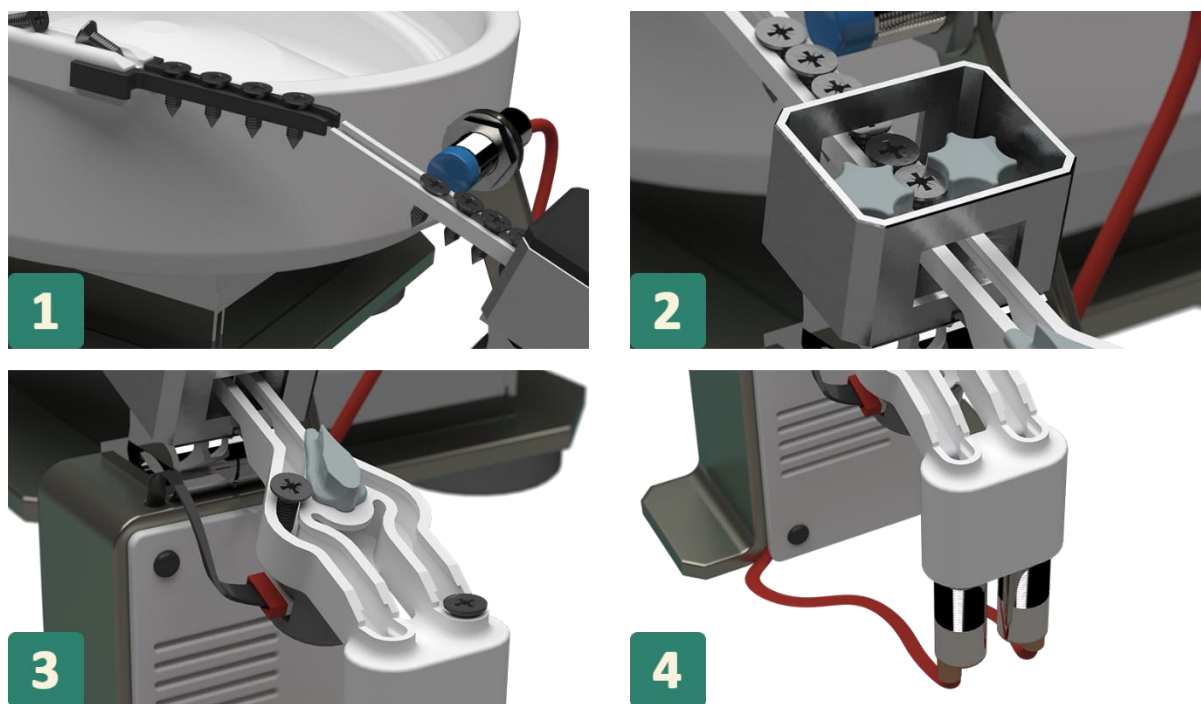
Má představa je taková, aby z dopravníku vždy vypadly dva šroubky. Každý na svou odběrovou pozici, tak, aby šroubky bylo možné odebírat pod hlavou. To bude umožňovat vložení šroubků do flash disku při jednom cyklu, aniž by došlo k prodloužení času montáže.

Pro správné fungování jsem se rozhodl využít PLC systému, který nebude sbírat signály od YuMiho, ale bude fungovat nezávisle. Aby však PLC fungovalo správně, je nutné zajistit způsob, jakým budou sbírána data, jakým způsobem bude na tato data reagovat, a zároveň přizpůsobit i samotný konstrukční koncept zásobování (viz. Obrázek 43).



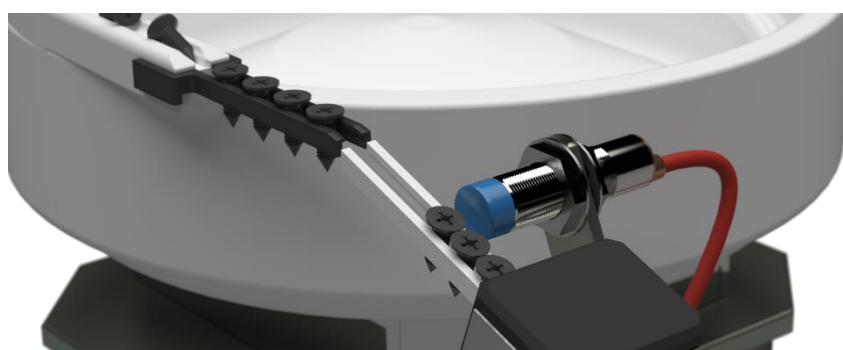
Obrázek 43 - vibrační dopravník

Nejprve bych začal hlediskem konstrukčním. Protože potřebuji, aby šroubky směřovaly závitem směrem dolů, připevnil jsem na vibrační zásobník krátkou lištu se žlábkem (viz. Obrázek 44 - č.1). Dokud jsou tedy šroubky na této liště, jsou posouvány vibracemi od zásobníku. Na konci lišty šroubky spadnou na nakloněnou lištu, která šroubky dopravuje do domečku s ozubenými koly (viz. Obrázek 44 - č.2), které šroubky po jednom kusu vysílají na třídící mechanismus. Třídící mechanismus (viz. Obrázek 44 - č.3) jsem zasadil na nakloněnou rovinu s drážkami, kde putují šroubky. Mechanismus se natáčí buď na levou či pravou stranu pomocí elektromotorku a usměrňuje tak, na jakou odběrovou pozici šroubek půjde.



Obrázek 44 - konstrukční prvky zásobování

Sběr dat je zde zapotřebí realizovat pomocí proximních senzorů. Nejprve tedy potřebujeme senzor, který bude informovat o dostatku či nedostatku šroubků. Na základě této informace bude spínán či vypínán vibrační zásobník. Ideální pozice pro tento senzor je někde v polovině délky nakloněné lišty (viz. Obrázek 45). Signál sepnutí vibračního bubnu je dáván vždy v cyklech. Například: při nedostatku šroubků na rampě zapni vibrační buben na 5 vteřin.



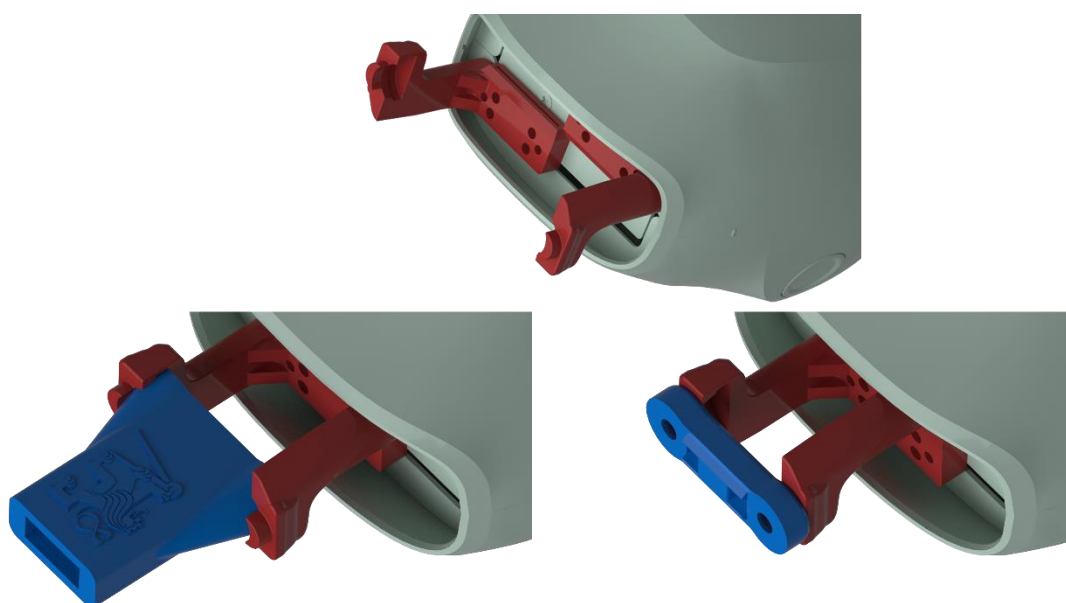
Obrázek 45- senzor zásoby šroubků

Další dva proximní senzory je nutné umístit na pozici odběrových pozic (viz. Obrázek 44 - č.4). Z těchto senzorů jsou sbírána data pro domek s ozubenými koly, ale zrovna tak i pro třídící mechanismus. Na základě těchto dat je učiněno rozhodnutí, kdy má být spuštěn šroubek. Třídící mechanismus na tu stranu, kde je hlášena prázdná pozice. To vše se děje v časovém cyklu, jelikož mezi časem vpuštění šroubku a časem, kdy jej lze detekovat na pozici odběru, je značná časová prodleva. Docházelo by tak ke vpuštění více šroubků, než bylo potřeba.

Prsty

Prsty jsou nedílnou součástí pro přesný odběr při automatizované montáži. Jelikož YuMi bere jinak tvarované předměty do levého gripperu než do gripperu pravého, jsou proto i odlišné prsty. Pro finální tvar prstů není ovšem rozhodující jen tvar předmětu, který je s nimi uchopován. Rozhodující je také prostor, kam s těmito prsty budeme potřebovat sáhnout.

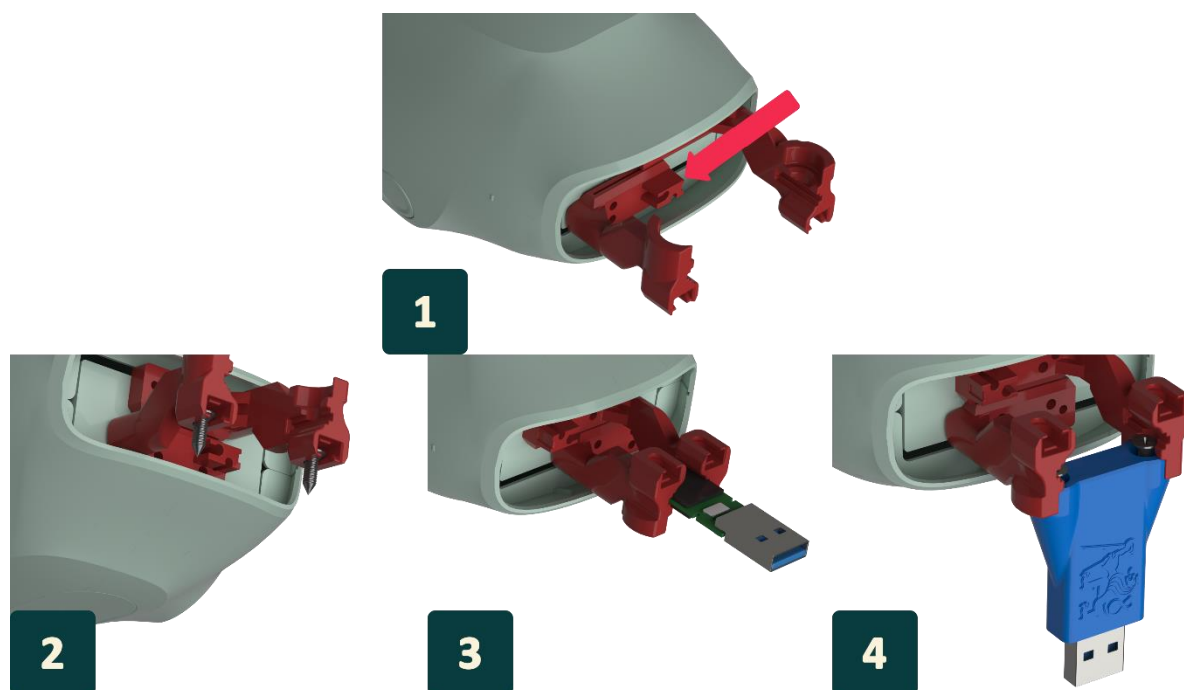
Prsty pro levý gripper (z pohledu YuMiho) slouží pro odběr dílů pouzdra flash disku a patky. Aby bylo možné pouzdro přesně uchopit, rozhodl jsem se využít jeho negativní tvar (viz. Obrázek 46). Kdybych ovšem takovým způsobem sbíral patku, nebylo by ji možné následně nasadit na pouzdro. Proto je jí nutné brát za otvory.



Obrázek 46 – prsty levého gripperu

Prsty pravého gripperu (z pohledu YuMiho) jsou určeny pro odběr modulů a šroubků. Pro odběr šroubků jsem přizpůsobil špičky prstů tak, aby je bylo možné odebírat z vibračního zásobníku (viz. Obrázek 47 – č.2).

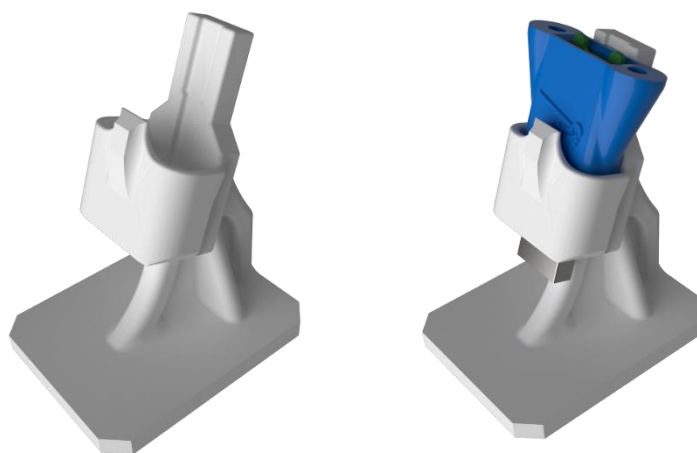
Pro přesné uchopení modulu jsou na vnitřní straně prstů drážky. To znamená, že modul bude uchopován prsty z boků (viz. Obrázek 47 – č.3). Po vložení modulu do pouzdra je jej potřeba zatlačit. Od toho je ve spodní části prstů navržen výstupek, kterým modul YuMi dotlačí dovnitř. Umožní to tak jeden konzistentní pohyb při vkládání modulu (viz. Obrázek 47 – č.1). Prsty pravého gripperu rovněž slouží pro manipulaci s již smontovaným, ale ještě nesešroubovaným flash diskem, který přenáší do odkládacího přípravku (viz. Obrázek 47 – č.4).



Obrázek 47 - prsty pravého gripperu

Přípravek pro montáž

Posledním přípravkem, který se na pracovišti vyskytuje je montážní přípravek (viz. Obrázek 48), který zajišťuje přesnou polohu při montáži. Na tomto přípravku se odehrává veškerá montážní činnost prováděná kolaborativním robotem YuMi.



Obrázek 48 - přípravek pro montáž

Šroubování

Utažení šroubků v pouzdře flash disku je možné zrealizovat buď manuálně robotem YuMi, či za pomoci elektrického šroubováku, který bude rovněž obsluhovat YuMi jako nástroj.

Manuálním způsobem můžeme uskutečnit například utahování šroubku pomocí bitu, který YuMi uchopí prsty. Zde je však problém v tom, že YuMi má omezený rozsah rotace gripperu. Tato metoda je sice nejjednodušší, ale rovněž také nejméně efektivní.

Další možností je návrh manuálního šroubováku, kde YuMi točí klikkou. Takový přípravek je ovšem důležité navrhout tak, aby na něm byla zaručená opakovatelnost po použití. Například, aby klikka nástroje byla vždy vrácena do výchozí polohy.

Nejefektivnější variantou je navrhout elektrický šroubovák, který YuMi uchopí prsty. Takový návrh je však již mimo rozsah zadání mé bakalářské práce. Spouštění elektrického šroubováku by bylo pravděpodobně prováděno přes I/O skrze robota YuMi, na základě jeho programu.

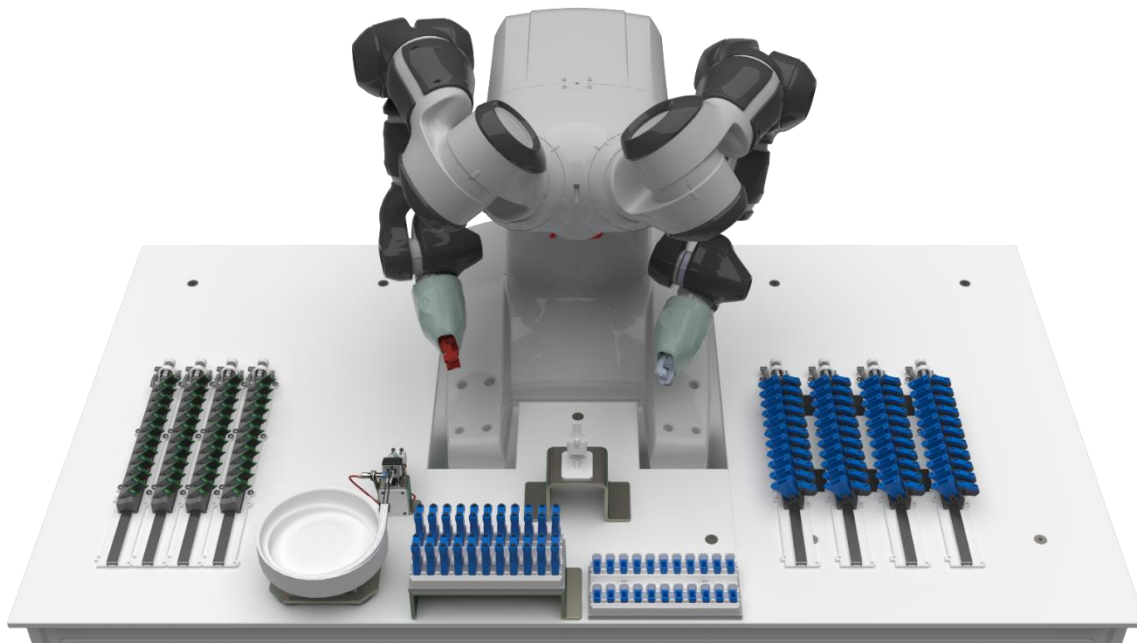
Momentálně nejefektivnější variantou je svěřit šroubování do rukou operátora. Operátor bude utahování provádět pomocí aku šroubováku. Zvolil jsem kompaktní aku šroubovák od výrobce Makita (viz. Obrázek 49).



Obrázek 49 - Aku šroubovák Makita DF030DWE [35]

7 Kolaborativní pracoviště

Pro správné rozložení pracoviště si je nejprve potřeba ujasnit, které úlohy vykonává operátor a které kolaborativní robot YuMi. Na základě toho budeme schopni vytvořit funkční ergonomické pracoviště.



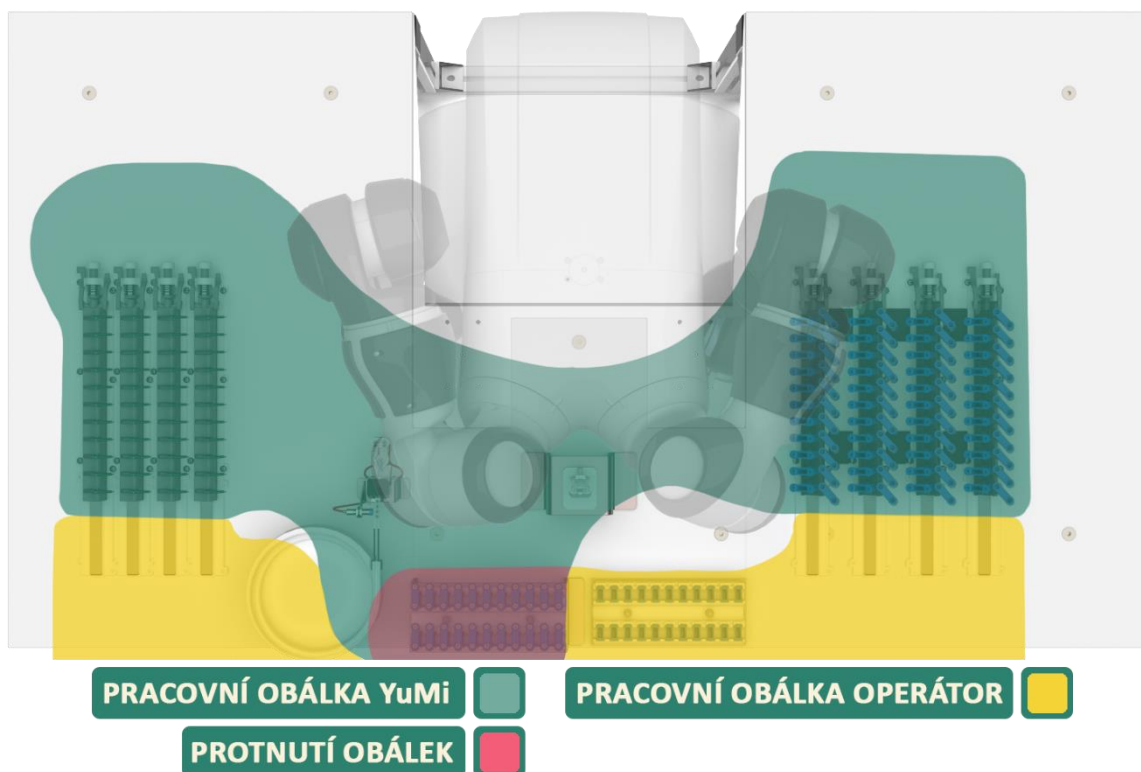
Obrázek 50 - kolaborativní pracoviště

Funkce operátora na tomto pracovišti je zajistit zásobování pracoviště a utahování šroubků flash disku. To znamená, že má na starosti výměnu prázdných přípravků za plné, zásobování šroubků a odběr smontovaných flash disků na utažení šroubků. Na druhé straně kolaborativní robot YuMi zajišťuje manipulační a montážní činnost.

Důležité je rozlišit přípravky, které vyžadují lidskou interakci a které nikoliv. Na základě této informace víme, které přípravky mají být blíže k operátorovi a které naopak mají být blíže k robotu YuMi (viz Obrázek 51).

Přípravky, které vyžadují lidskou interakci jsem se rozhodl dát spíše na okraj pracovní obálky YuMiho, protože veškeré zásobování bude vykonáváno za běhu pracoviště. Těmito přípravky jsou nosiče součástí potřebných pro montáž a odkladiště smontovaných flash disků. U nosičů je potřeba zohlednit jejich pojezdovou lištu, aby před nimi byl prostor.

Vibrační zásobník jsem umístil také blízko operátora, aby měl kontrolu nad zásobou šroubků a případně je byl schopen snadno a rychle doplnit. Naopak přípravky na montáž nevyžaduje lidskou interakci. Proto je soustředěn uvnitř pracovní obálky kolaborativního robota YuMi.

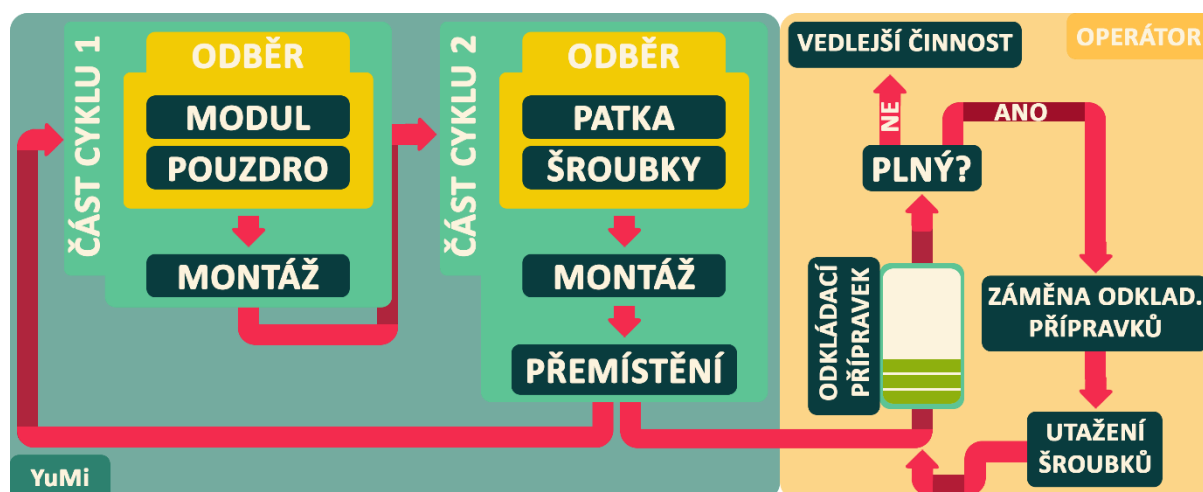


Obrázek 51 - znázornění pracovních obálek v rámci stolu

Když známe rozmístění přípravků na pracovišti, je možné popsat průběh montáže na tomto pracovišti, který bude vysvětlen v následující podkapitole.

7.1 Popis průběhu montáže

Na grafickém znázornění (viz. Obrázek 52) můžeme vidět průběh montáže na tomto pracovišti.

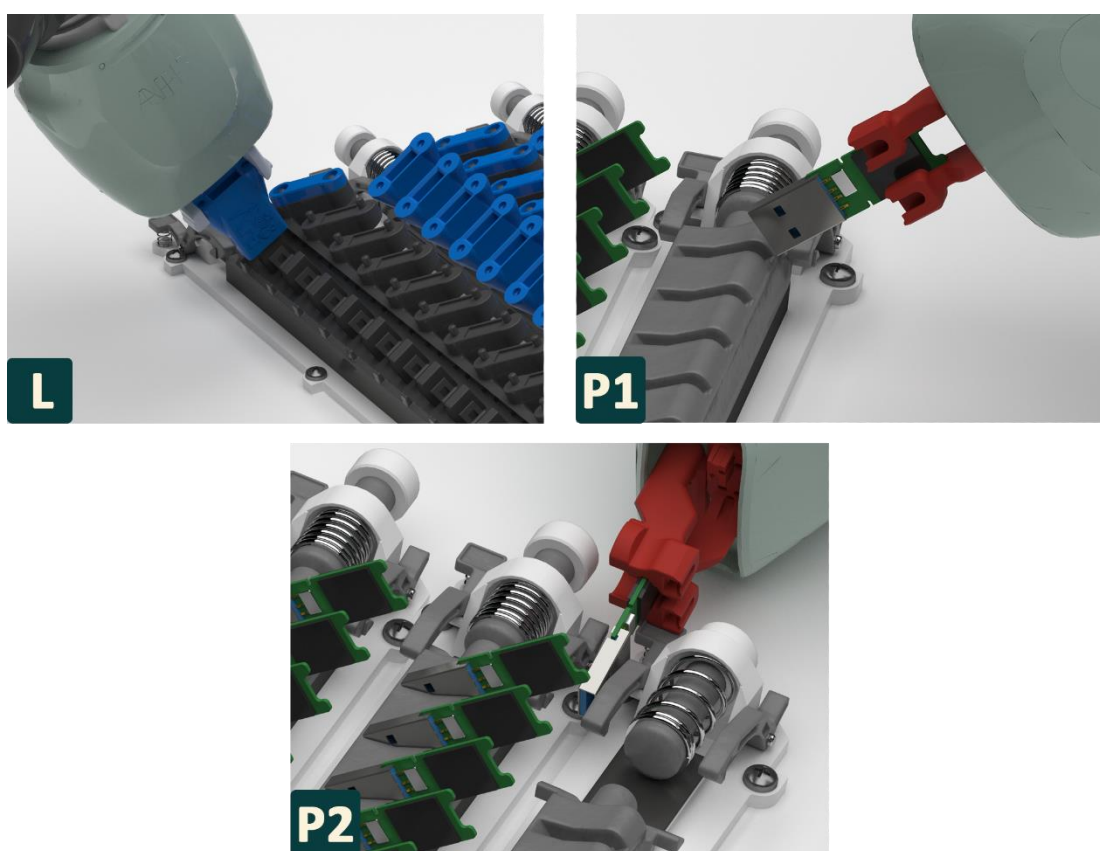


Obrázek 52 -znázornění průběhu montáže na pracovišti

Pracovní cyklus YuMiho jsem rozdělil pro přehlednost do dvou částí. Ze znázornění průběhu montáže je vidět, jak práce operátora závisí na činnosti robota YuMi. Aby nedocházelo k prostojům operátora,

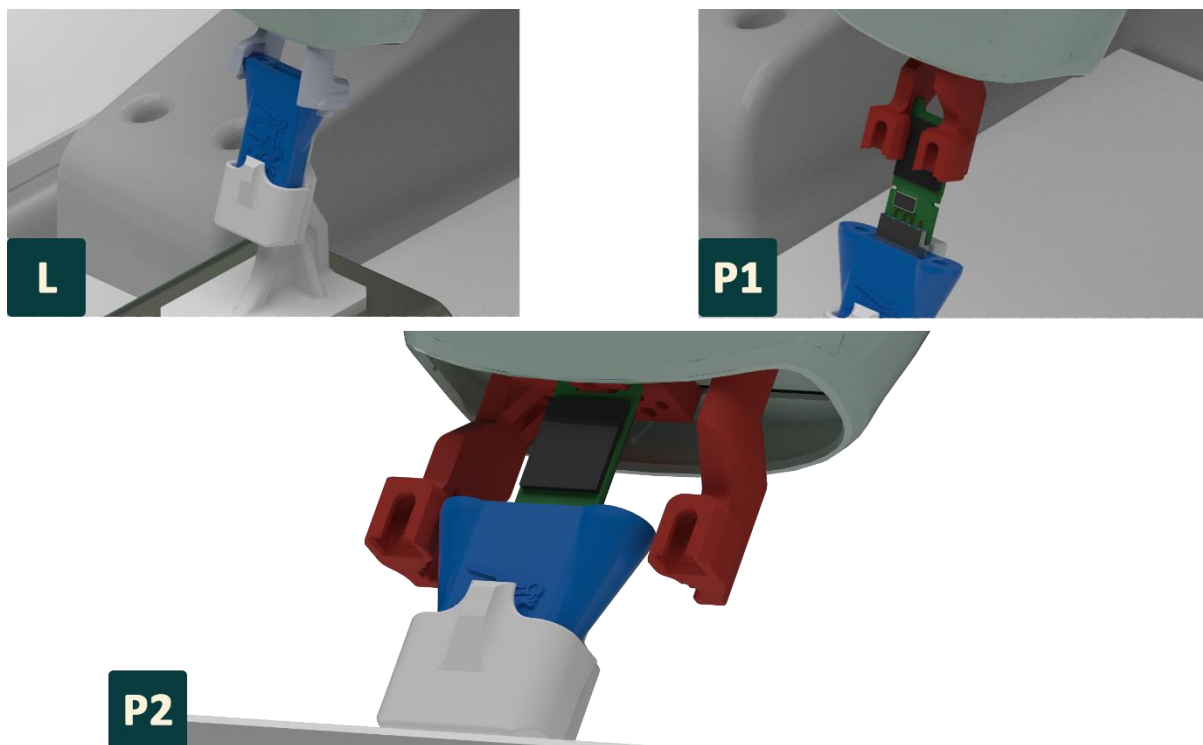
jsou naplánovány vedlejší činnosti jako je: doplnění dílů potřebných k montáži do přípravků, doplnění šroubků či zajištění přítomnosti dílů pro montáž.

Pracovní cyklus začíná vlevo (viz. Obrázek 52), tedy první částí pracovního cyklu. Nejdříve však uvažujme, že v přípravcích máme od každého dílu poslední kus. Strany bereme z pohledu YuMiho. Pracovní cyklus začíná současně pro pravé a levé rameno. Levým ramenem dojde k přípravku s pouzdry a patkami, kde si prsty uchopí pouzdro (viz. Obrázek 53 - L) a přenese jej na montážní přípravek. Mezi tím pravé rameno dojde k přípravku s moduly, kde jej uchopí do prstů a následně stiskne bokem prstů páčku na pojezdové liště (viz. Obrázek 53 – P1, P2). Dojde tak k vysunutí prázdného přípravku. S modulem se rameno přesune k montážnímu přípravku.



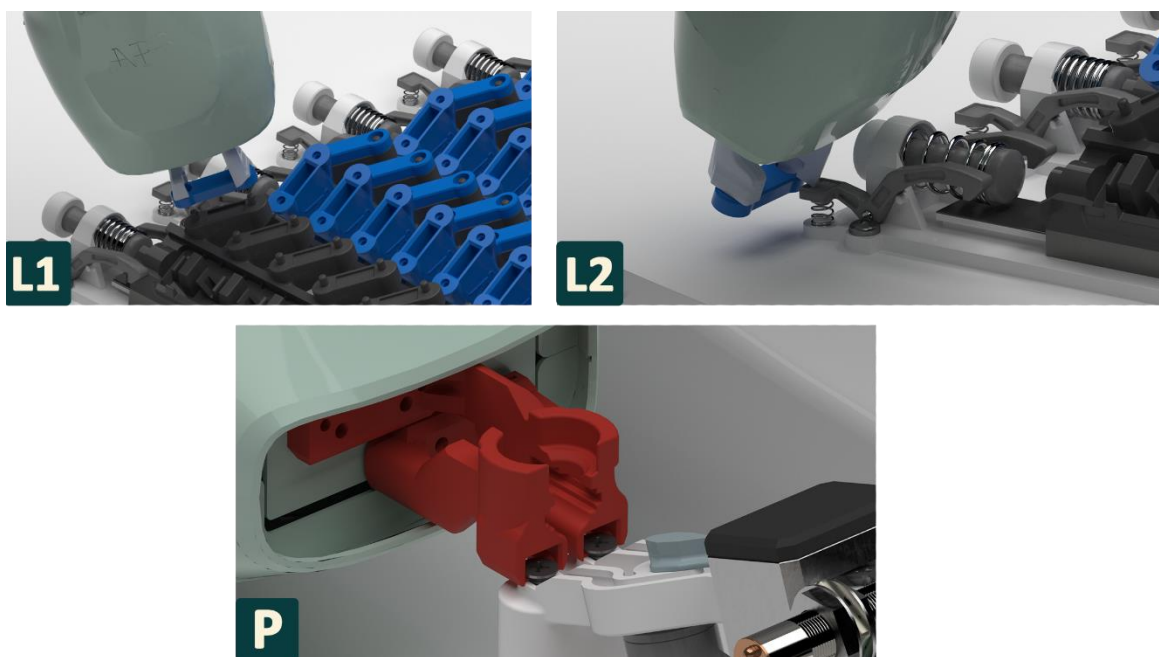
Obrázek 53 - Pracovní cyklus 1. část – odběr

Levým ramenem je vloženo pouzdro do montážního přípravku (viz. Obrázek 54 - L), následně je vložen modul do pouzdra, ovšem není zcela zasunut. YuMi modul prsty upustí a začne na něj z horní části tlačit výstupkem, aby modul zcela zapadl (viz. Obrázek 54 - P1, P2).



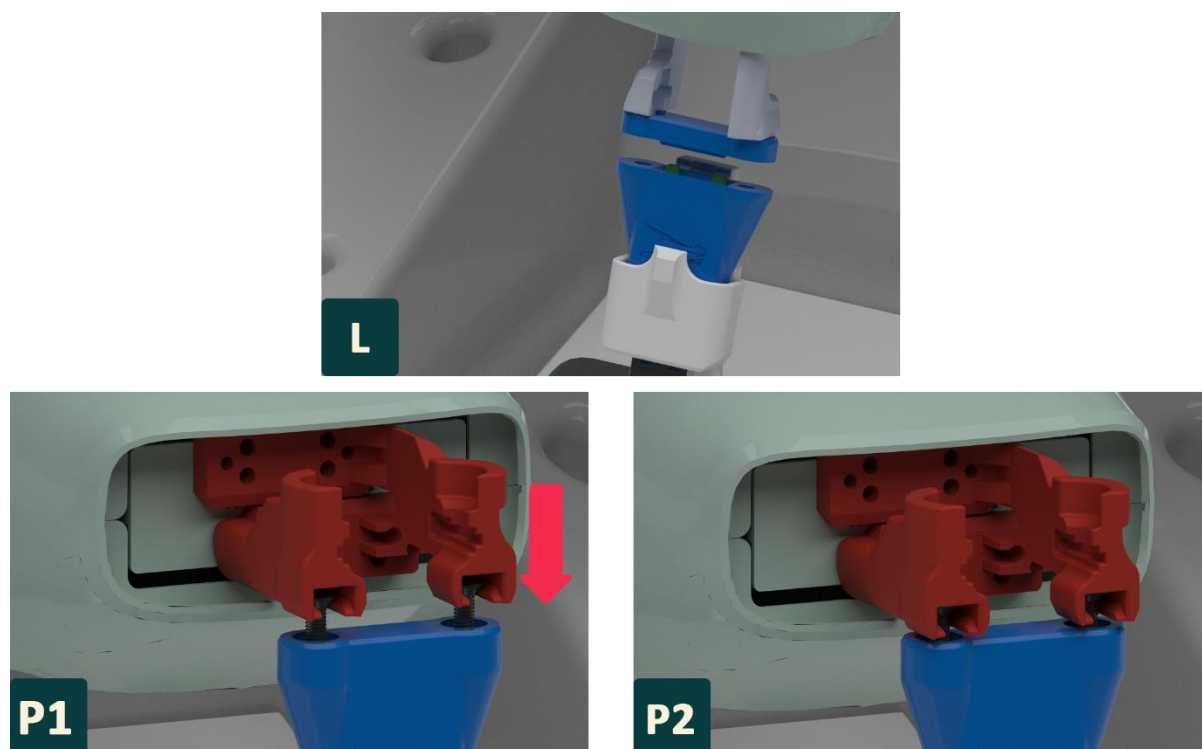
Obrázek 54 - pracovní cyklus 1. část – montáž

Následující pracovní cyklus opět běží současně na pravé i levé straně. Levé rameno jede pro patku, kterou prsty uchopí za otvor a následně bokem prstů stiskne páčku na pojezdové liště, aby došlo k vysunutí prázdného přípravku (viz. Obrázek 55 – L1, L2). Ramenem dojede k montážnímu přípravku. Pravé rameno jede pro šroubky, které jsou zde již připravené na odběrovém místě u vibračního dopravníku. Špičkami prstů je uchopí a odnese k montážnímu přípravku (viz. Obrázek 55 – P).



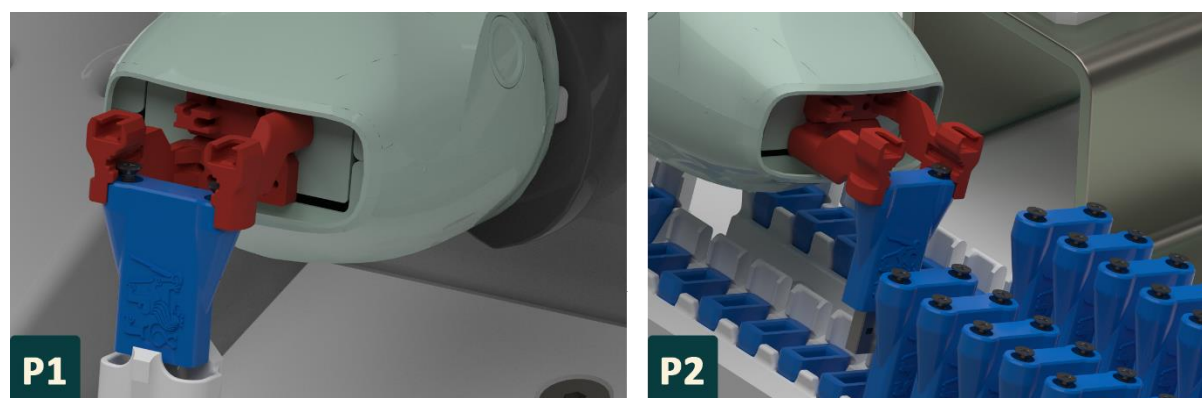
Obrázek 55 -pracovní cyklus 2. část – odběr

Nejprve levým gripperem umístí patku na montovaný flash disk v přípravku (viz. Obrázek 56 - L), pak následuje vložení šroubků pomocí pravého gripperu. Šroubky jsou do otvorů zasunuty a mírně vtlačeny, aby při pozdější manipulaci nehrozilo jejich vypadnutí (viz. Obrázek 56 – P1, P2).



Obrázek 56 - pracovní cyklus 2. část – montáž

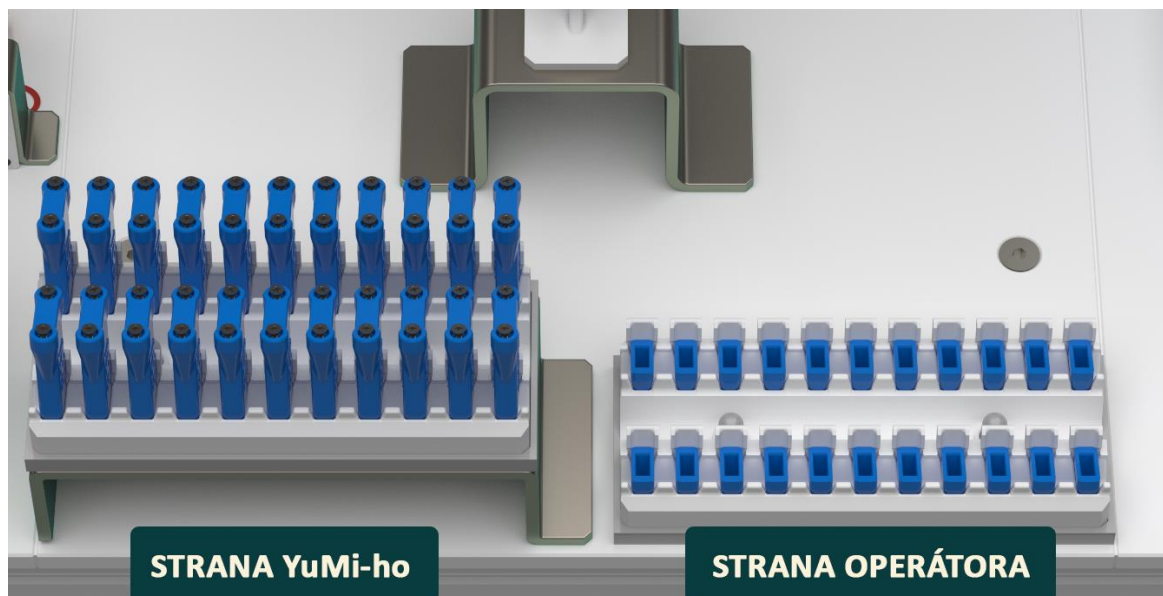
Když jsou šroubky zatlačeny, otočí YuMi pravým gripperem o 180°, aby mohl smontovaný flash disk uchopit a přenést na odkládací přípravek (viz. Obrázek 57), kde flash disk obdrží poslední součást a to víčko. Víčka jsou v přípravku již nachystána operátorem. Flash disk tedy stačí do přípravku vložit robotem YuMi a mírně zatlačit.



Obrázek 57 - přenos smontovaného flash disku na odkládací přípravek

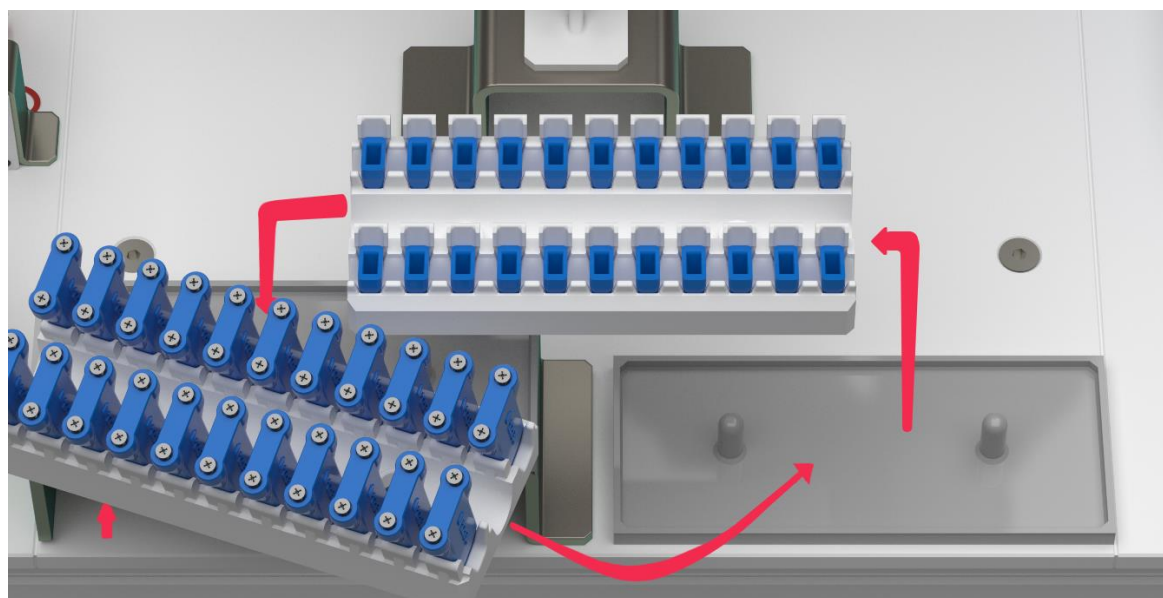
Pracoviště je navrženo tak, že YuMi operuje (z pohledu operátora) na vyvýšeném přípravku na levé straně, zatímco operátor operuje na odkládacím přípravku na straně pravé (viz. Obrázek 58).

Na tomto odkládacím přípravku operátor buď provádí utažení šroubků pomocí elektrického utahováku, či vyplňuje přípravek víčky.



Obrázek 58 - rozložení

Když je přípravek pro odkládání smontovaných flash disků již plný, operátor jej zamění za „prázdný“ s vyskládanými víčky (viz. Obrázek 59).



Obrázek 59- prohození přípravků

Přípravek, který je přemisťován ze strany YuMiho na stranu operátora, je o otočen o 180°, aby byly šroubky nakloněné k operátorovi. Může je tak operátor utahovat přímo v přípravku.

Pracoviště je navrženo tak, aby si operátor při práci nepřekážel s kolaborativním robotem YuMi.

Mohou tak provádět montáž flash disků na stejném stole.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout montážní pracoviště. Nejprve jsem zanalyzoval předmět montáže, kterým byl flash disk. Následně jsem pro tento předmět navrhl montážní pracoviště, které je modulární s kolaborativním robotem YuMi.

Nejdříve jsem provedl rešerši problematiky montážních procesů, zaměřenou na základní prvky automatizace, následně jsem zabýval robotikou. Rešerše byla zaměřena v oblasti robotiky na popis základních druhů robotů a bezpečnostní opatření, která se odvíjejí od typu interakce s člověkem. Na základě typového rozdělení interakce s člověkem jsem se zaměřil na roboty schopné přímé interakce, kterými jsou roboty kolaborativní. U těchto robotů jsem provedl srovnání s roboty průmyslovými. Objasnil jsem legislativní požadavky na úspěšnou implementaci kolaborativních robotů a nutná bezpečnostní opatření. Popsal jsem jeden ze způsobů implementace kolaborativních robotů, jak správně zanalyzovat kdy a na jakou činnost je aplikovat. Druhou část jsem zakončil rešerší zaměřenou na praktické využití kolaborativních robotů.

V praktické části jsem na základě zadaného předmětu montáže, kterým byl flash disk, provedl nejprve analýzu flash disku a zvolil jsem způsob výroby pouzdra pomocí aditivní technologie FDM. Pro flash disk jsem provedl návrh různých variant, ze kterých jsem zvolil jako nejvhodnější variantu v.3. Následně jsem provedl různé návrhy stolů, které jsem porovnal a na základě vlastních požadavků jsem zvolil nejvhodnější variantu, kterou byl stůl s výměnnými plastovými deskami. Poté jsem provedl volbu vhodného vybavení pracoviště a vytvořil jsem návrhy příslušných přípravků pro kolaborativní pracoviště. V závěru bakalářské práce jsem vysvětlil úlohy operátora a kolaborativního robota na pracovišti a zároveň jsem popsal rozložení pracoviště a jeho význam. Nakonec jsem popsal pracovní cyklus pracoviště.

Kvůli složité celosvětové situaci bohužel nebylo možné začít pracovat na realizaci popsaného pracoviště. Proto bych se v budoucnu rád touto problematikou zabýval ve své diplomové práci, ve které bych se chtěl věnovat realizaci pracoviště a jeho naprogramování.

9 Použitá literatura

- [1] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. První. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [2] TYPES OF AUTOMATION - Production and Operations Management. In: *Wisdom Jobs* [online]. Indie: Wisdom Jobs [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://www.wisdomjobs.com/e-university/production-and-operations-management-tutorial-295/types-of-automation-9679.html>
- [3] Advantages and Disadvantages of Automation in Manufacturing. In: *Vista Industrial* [online]. California: Vista Industrial, 2013 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <http://www.vista-industrial.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-automation-in-manufacturing/>
- [4] Advantages and disadvantages of automation. In: *Britannica* [online]. Britannica [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/automation/Advantages-and-disadvantages-of-automation>
- [5] Advantages and Types of Industrial Automation. *BP Automatization* [online]. Canada: BP Automation [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://bpautomation.com/advantages-and-types-of-industrial-automation/>
- [6] COPE, Kevin. What is the Automation Pyramid?. In: *Realpars* [online]. Realpars, 2018 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://realpars.com/automation-pyramid/>
- [7] What Are The Main Types Of Robots?. In: *RobotWorx* [online]. Ohio: RobotWorx [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots>
- [8] SHAKE, Mark. Ten Popular Industrial Robot Applications. In: *Jabil* [online]. Jabil [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.jabil.com/insights/blog-main/ten-popular-industrial-robot-applications.html>
- [9] Industrial Robots and Robot System Safety: Section IV. In: *United States Department of Labor* [online]. Washington: OSHA [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html#app_iv:4_1

- [10] JOSEPH LOH, Edison. *Working Safely With Industrial Robots: Safety Matters* [online]. In: . Singapore: WSH Council, s. 3 [cit. 2019-12-16].
- [11] *Definition and guidelines for collaborative workspaces* [online]. 2017, , 44 [cit. 2019-12-17].
Dostupné z: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b6bdb039&appId=PPGMS>
- [12] A Guide to Collaborative Robot Safety. In: *Tech Briefs* [online]. New York: Tech Briefs, 2019 [cit. 2019-12-16].
Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/features/articles/34385>
- [13] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2006/42/ES*. In: . ročník 2006.
- [14] ISO/TS 15066:2016(E). *Robots and robotic devices - Collaborative robots*. 1. Switzerland: ISO, 2016.
- [15] A Guide to Collaborative Robot Safety. In: *Tech Briefs* [online]. 2019 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/features/articles/34385>
- [16] What are the 4 Types of Collaborative Robots?. In: *RIA* [online]. RIA, 2019 [cit. 2020-01-01].
Dostupné z: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/What-are-the-4-Types-of-Collaborative-Robots/140>
- [17] GALIN, R. a R. MESHCHERYAKOV. *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2019: Review on Human–Robot Interaction During Collaboration in a Shared Workspace* [online]. Springer, Cham, 2019 [cit. 2019-12-17]. ISBN 978-3-030-26118-4. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-26118-4_7
- [18] GÓMEZ, S., Victor BECERRA, J. LLATA, E. GONZÁLEZ-SARABIA, C. TORRE-FERRERO a Juan PÉREZ-ORIA. Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments. *IEEE* [online]. 2017, , 20 [cit. 2019-12-16]. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2773127.
Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8107677/authors#authors>
- [19] Implementace kolaborativních robotů z pohledu legislativy. In: *ElektroPrůmysl.cz* [online]. Brno: ElektroPrůmysl.cz, 2019 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/implementace-kolaborativnich-robotu-z-pohledu-legislativy>

- [20] First HRC system at BMW Group's Dingolfing Plant. *KUKA* [online]. Germany: KUKA, 2017 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-hu/industries/loesungsdatenbank/2017/06/solution-systems-bmw-dingolfing>
- [21] HRC application in robot assembly. *KUKA* [online]. Germany: KUKA, 2019 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/09/solution-systems-hrc-robot-assembly>
- [22] Robot-assisted rehabilitation – ROBERT® and KUKA facilitate mobilization. *KUKA* [online]. Germany: KUKA, 2019 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2019/08/robert-from-life-science-robotics>
- [23] Siemens is relying on a flexible KUKA cell for human-robot collaboration in electric motor production. *KUKA* [online]. Germany: KUKA, 2015 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/07/solution-robotics-siemens>
- [24] The KUKA flexFELLOW installs pump wells. *KUKA* [online]. Germany: KUKA, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/07/solution-systems-bsh>
- [25] BMW – Human Robot Collaboration. *Reeco* [online]. United Kingdom: Reeco, 2018 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.reeco.co.uk/projects/bmw-mini-robotic-riveting/>
- [26] Collaborative Robot System for Applying Urethane to Automotive Glass – Esys Automation. *FANUC* [online]. North America: FANUC, 2017 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=B6SwSPa0IQ4>
- [27] Food industry palletizing cobot with vision system works in tight quarters. *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/nortura/>
- [28] Comprehensive Logistics - Quality inspection. In: *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/comprehensive-logistics/>

- [29] Collaborative Robots increase Productivity by 90%, Delivering 24x7 Manufacturing Capability at Carl Zeiss India. In: *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/carl-zeiss-india/>
- [30] Cobot technology improves safety and increases job satisfaction. In: *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/etalex/>
- [31] Weld Shop Addresses Trained Welder Shortage with Universal Robots Powered BotX Welder, Boosting Productivity and Profits. In: *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/pmi/>
- [32] How UR Cobots Optimize Glue Dispensing In Door Knob Assembly. In: *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/emtek/>
- [33] Family business with 50 employees automates machine tending without any external support - thanks to UR robots. In: *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/cnc-trčka/>
- [34] Universal Robots polishes Paradigm to 50% production increase. In: *Universal Robots* [online]. Universal Robots [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/paradigm-electronics/>
- [35] Aku šroubovák Makita DF030DWE 10,8V. *Makita* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.makita-eshop.cz/aku-vrtacky-makita/aku-sroubovak-makita-df030dwe-10-8v?gclid=Cj0KCQjwvIT5BRCqARIsAAwwD-T6v2KAN9K85FvmRtJ4Gn6rFy6begdKVHZfRxBccWGD-Z6QJu19Nn8aAp1jEALw_wcB