



Analýza možností využití kolaborativního robotu KUKA KMR iiwa

Bakalářská práce

Studijní program:

B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojní inženýrství

Autor práce:

Dominika Čadková

Vedoucí práce:

Ing. Ondřej Matúšek, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce:

Ing. Marcel Horák, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky





Zadání bakalářské práce

Analýza možností využití kolaborativního robotu KUKA KMR iiwa

Jméno a příjmení: **Dominika Čadková**
Osobní číslo: S16000040
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra sklářských strojů a robotiky
Akademický rok: 2019/2020

Zásady pro vypracování:

Kolaborativní roboty rozšiřují akční rádius průmyslové robotiky a jejich aplikace jsou v současné době charakteristickým rysem iniciativy Průmysl 4.0. Konvenční průmyslové roboty jsou jednoznačně odděleny od lidské obsluhy, mechanickým oplocením, optickými závorami či jinými snímači a při jakémkoli narušení pracovního prostoru je pohyb robotu zastaven. Naproti tomu kolaborativní roboty jsou určeny ke sdílení pracovního prostoru s lidmi. Předpokládá se, že v rámci bakalářské práce bude vytvořena pohybová úloha pro kolaborativní robot umístěný na mobilní platformě a osazený elektrickým chapadlem.

Úkolem Vaší BP bude:

1. Provést rešerši současného stavu a možností využití kolaborativních robotů.
2. Pro kolaborativní robot KUKA KMR iiwa 14 R820 a vybrané chapadlo s elektrickým pohonem realizovat návrh mezipříruby a úchopných prvků.)
3. V softwarovém prostředí KUKA Sunrise.OS připravit Java skript pro prezentační program robotu KUKA KMR iiwa.
4. Zhodnotit využitelnost kolaborativních robotů a omezení jejich aplikačního potenciálu pro průmyslovou sféru.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

výkresová dokumentace
30 – 40 stran textu
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, F. a M. HORÁK. *Konstrukce robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7. Učebnice vysokých škol. Technická univerzita v Liberci.
2. NOVOTNÝ, Fr. a M. HORÁK. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-195-5. Učebnice vysokých škol. Technická univerzita v Liberci.
3. Katalogy renomovaných výrobců robotů.
4. Podklady poskytované výrobcem robotu, např.:
http://www.oir.caltech.edu/twiki_oir/pub/Palomar/ZTF/KUKARoboticArmMaterial/Spec_LBR_iiwa_en.pdf
http://www.oir.caltech.edu/twiki_oir/pub/Palomar/ZTF/KUKARoboticArmMaterial/KUKA_SunriseOS_111_SI_en.pdf
5. Podklady a úlohy připravené na KSR.

Vedoucí práce:

Ing. Ondřej Matúšek, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce:

Ing. Marcel Horák, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Datum zadání práce:

1. listopadu 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

1. května 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. ledna 2021

Dominika Čadková

Anotace

Bakalářská práce se zabývá kolaborativní robotikou. Teoretická část stručně popisuje rozdíl mezi průmyslovým a kolaborativním robotem. Dále se zabývá současným stavem kolaborativních robotů na trhu a analýzou možností jejich využití. Praktická část bakalářské práce se věnuje konkrétnímu robotu KUKA KMR iiwa 14R820 a vybranému efektoru MEG 40 EC SCHUNK, kde se realizoval návrh přípojovací příruby a úchopných prvků. Součástí praktické části je připraven Java skript pro prezentační program vybraného robotu.

Klíčová slova

Kolaborativní robotika, aplikační potenciál cobotů, KUKA KMR iiwa 14R820, efektor MEG 40 EC SCHUNK, přípojovací příruba, úchopné prvky, programování

Annotation

The bachelor thesis deals with collaborative robotics. In the theoretical part there is briefly described the difference between industrial robot and collaborative robot. It also deals with the current state of collaborative robots on the market and analysis of the possibilities of their use. The practical part of the bachelor's thesis is devoted to a specific robot KUKA KMR iiwa 14R820 and a selected effector MEG 40 EC SCHUNK, where the design of the connecting flange and gripping elements was realized. Part of the practical part is a Java script for the presentation program of the selected robot.

Keywords

Collaborative robotics, application potential of cobots, KUKA KMR iiwa 14R820, effector MEG 40 EC SCHUNK, connecting flange, gripping elements, programming

Poděkování

„Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Matúškovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc a trpělivost při zpracování bakalářské práce. Dále bych tímto chtěla poděkovat Ing. Jiřímu Šafkovi, Ph.D. a Martinovi Váňovi za ochotu a čas strávený při 3D tisku a výrobě, za odborné konzultace děkuji Ing. Miloši Čadkovi. V neposlední řadě děkuji Bc. Tomášovi Jarkovskému za jeho čas a pomoc při programování robota a také katedře sklářských strojů a robotiky za umožnění této bakalářské práce.“

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
Úvod	9
1 Teoretická část	10
1.1 Kolaborativní robotika	10
1.2 Parametry robotů	12
1.3 Analýza trhu kolaborativních robotů	13
1.4 Aplikační potenciál pro průmyslovou sféru	18
2 Praktická část	23
2.1 Robot KUKA KMR iiwa 14 R820	23
2.2 Efektor MEG 40 EC SCHUNK	26
2.3 Návrh připojovací příruby	29
2.4 Návrh úchopných prvků	33
2.5 Prezentační program robotu KUKA iiwa	37
Závěr	42
Seznam použité literatury	43
Seznam příloh	50

Seznam použitých zkratk

CAD	computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CNC	číslicově řízený stroj
Cobot	kolaborativní robot
IFR	Mezinárodní federace robotiky
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
Pozn.	poznámka
PR	průmyslový robot
2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný

Úvod

Robotika je věda, která se zabývá designem, výrobou a aplikací robotů. Slovo robot se poprvé objevilo v literárním díle od jednoho z nejznámějších českých spisovatelů Karla Čapka.

Bakalářská práce se zabývá kolaborativní robotikou, která se rozvinula za účelem rozsáhlejší spolupráce robotů s lidmi. Kolaborativní roboty jsou čím dál tím více využívány v průmyslové sféře, už jenom z toho důvodu, že kolem sebe nemusí mít ochrannou klec. Bakalářská práce je rozdělena na dvě části - teoretickou a praktickou.

Teoretická část popisuje definici kolaborativního robota a porovnává jej s robotem průmyslovým. Dále pojednává o aktuálním trhu nabízených robotů, kde jsou největší zajímavostí autonomní mobilní roboty, které právě také spadají do skupiny kolaborativních robotů. V teoretické části je dále popsán současný stav využití kolaborativních robotů v průmyslové sféře.

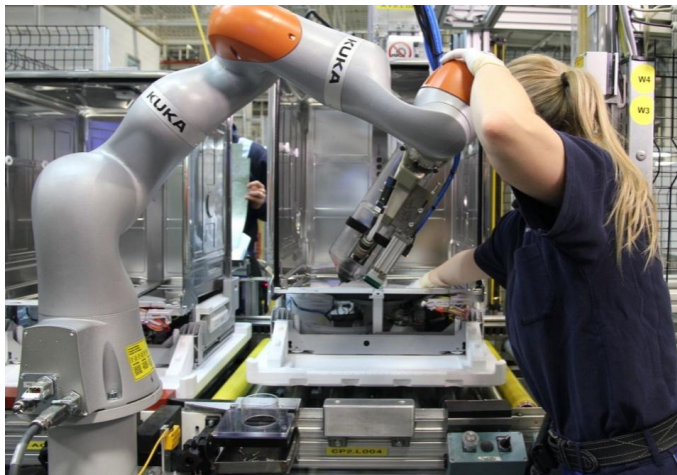
V praktické části bakalářské práce se pro vybraný robot KUKA KMR iiwa 14R820 a efektor MEG 40 EC SCHUNK s elektrickým pohonem realizoval návrh přípojovací příruby a úchopných prvků. Úchopné prvky jsou realizovány tak, aby neporanily člověka spolupracujícího s robotem. Praktická část se dále věnuje programování vybraného robota. Jsou zde popsány způsoby programování a zobrazeny části zdrojových kódů, které jsou detailněji vysvětleny. Dalším cílem práce je uskutečnit prezentační program robota KUKA KMR iiwa 14R820 v softwarovém prostředí Kuka Sunrise.

1 Teoretická část

V teoretické části je vysvětleno, co je to kolaborativní robot a jaký je rozdíl mezi průmyslovým a kolaborativním robotem. Tato část se dále věnuje základní terminologii a parametrům robotů obecně. Je zde provedena analýza aktuálního trhu s kolaborativní robotikou. Aplikační potenciál pro průmyslovou sféru je popsán na konci této kapitoly.

1.1 Kolaborativní robotika

Kolaborativní robot, také označován jako cobot, je typ průmyslového robota, který sdílí svůj pracovní prostor s lidmi. Je schopný s nimi spolupracovat efektivně a bez možného rizika nebezpečí. Konstrukce celého kolaborativního robota je stavěná tak, aby nikoho nezranila, tzn. zaoblené tvary bez ostrých hran. Na rozdíl od ostatních průmyslových robotů nedisponuje ochrannou klecí a je mnohem flexibilnější. Kolaborativní robot má schopnost rozpoznat jakoukoliv neobvyklou sílu, která působí na jeho kloub. Vzhledem ke způsobu naprogramování je schopen v daný okamžik zastavit stávající pohyb a neublížit tak osobě v blízkém okolí [1].



Obr. 1.1 - Ukázka práce na sdíleném pracovišti [3]

Hlavní důvod jejich vzniku je možnost spolupráce s lidmi na stejném nebo blízkém pracovišti. Kolaborativní robot je schopen vykonávat jednoduché či náročné a opakovatelné úkoly, mnohem lépe a přesněji než lidé. My lidé máme zase naopak výborné kognitivní schopnosti pro přizpůsobení se a náhlé změny. A právě díky spolupráci lidí s kolaborativními roboty je možno v průmyslu dosáhnout vyšší produktivity, kvality a rychlosti výroby [2, 3].

Poptávka na kolaborativní roboty každým rokem rapidně narůstá. Dle průzkumu IFR počet nainstalovaných kolaborativních robotů v roce 2018 stoupl na 14 000 jednotek. V současné době se odhaduje, že v roce 2025 se globálně nainstaluje 735 000 jednotek. Rychlá programovatelnost, vysoká úroveň bezpečnosti, relativně rychlá návratnost investice, i takto se dá definovat kolaborativní robot [4, 5].

V porovnání s ostatními průmyslovými roboty je kolaborativní robot značně menšího vzrůstu, má nižší maximální zatížení, ale na druhou stranu je obecně flexibilnější. Pro lepší přehlednost a především porovnání kolaborativního od průmyslového robota je zde uvedena tabulka 1.1 [6, 7, 8, 9].

Tab. 1.1 Porovnání kolaborativního robota a ostatních PR

KOLABORATIVNÍ ROBOT	VLASTNOST	PRŮMYSLOVÝ ROBOT
flexibilní	instalace	pevná
není nutná	ochranná klec	je nutná
sdílený	pracovní prostor	oddělený
flexibilní	pravidelnost úkonů	pravidelné, opakovatelné
bezpečná	interakce s lidmi	nebezpečná - nedoporučená
menší	maximální zatížení	velké

Kolaborativní robotika nabízí řadu výhod, jak pro podniky, tak pro zaměstnance těchto podniků. Největší výhodou je jejich flexibilita, kde je možnost kolaborativní roboty přizpůsobit velkým ale i malým změnám za poměrně krátký čas. Významnou nevýhodou může být vysoká počáteční investice, malé užitečné zatížení a například nižší rychlost pohybů [6, 7, 8, 9].

1.2 Parametry robotů

Pro správný výběr robota, je důležité se orientovat dle určitých parametrů, které uvádí výrobce. Zde je uveden souhrn základních parametrů, podle kterých se lze velmi snadno zorientovat.

Užitečné zatížení je váha manipulovaného předmětu, se kterou je kolaborativní robot schopen pracovat. Pokud je robot vybaven koncovým efektořem, je tato hodnota snížena o hmotnost efektořu [7, 8].

Pracovní prostor (maximální dosah) je prostor, ve kterém je robot schopen dosáhnout pomocí koncového členu. Pracovní prostor se zvětší přidáním efektořu a je závislý na kinematické struktuře robota [7].

Počet os je další důležitý faktor, který dává robotu větší či menší manipulační a pohybové možnosti. Počet os souvisí se stupni volnosti, kterými může robot disponovat [7, 8].

Opakovatelnost neboli dosahovaná přesnost, je hodnota takové přesnosti, se kterou jsou roboty schopny opakovaně dosáhnout zadané souřadnice či polohy. Tato hodnota klesá s hmotností manipulovatelného předmětu, proto je důležité se informovat od výrobce, na jakou hmotnost manipulovaného předmětu je schopen hodnotu opakovatelnosti garantovat [7, 8].

Hmotnost, označována také jako mechanická váha, je celková hmotnost robota bez jakéhokoliv zatížení. Současným trendem konstruktérů je, aby hmotnost pohybujících se součástí byla co nejnižší, ale při zachování požadované tuhosti a pevnosti [7, 8, 9].

Maximální rychlost pohybů je parametr závisející na okamžitém užitečném zatížení a na používaném druhu pohonu robota. Rychlost klesá se zvyšující se hodnotou manipulovatelného předmětu [7, 8, 9].

Jako další důležitý parametr by se samozřejmě mohla zařadit i cena, která se odvíjí i od způsobu a rozsahu vnímání. Vnímání je dáno různými typy senzorů, které mohou i nemusí být základní součástí robota. Jeden z nejdůležitějších parametrů u kolaborativních robotů je bezpečnost. Bezpečnost je velmi obsáhlé téma, které obsahuje spoustu norem a zároveň různých opatření pro zabezpečení pracoviště.

1.3 Analýza trhu kolaborativních robotů

Trh s výrobci kolaborativních robotů je velký a podíl zastoupení kolaborativních robotů v jejich prodeji každým rokem procentuálně vzrůstá. Mezi největší a nejznámější distributory se řadí například KUKA, FANUC, YASKAWA, ABB, UNIVERSAL ROBOTS. Kolaborativní robot může disponovat jedním nebo dvěma rameny. Jednoramenné kolaborativní roboty jsou na trhu zastoupeny častěji, mezi ně se například řadí KUKA LBR iiwa, FANUC CRX-10iA, ABB IRB 14050 Single-arm YuMi, dále YASKAWA HC10DT nebo UR3e od společnosti UNIVERSAL ROBOTS [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].



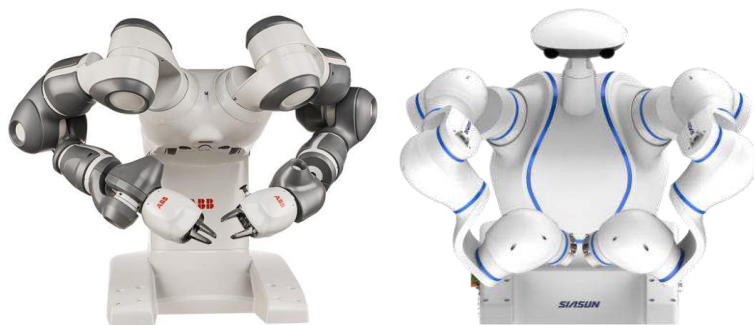
Obr. 1.2 - KUKA LBR iiwa [11], FANUC CRX-10iA [12], ABB IRB 14050 Single-arm YuMi [14]



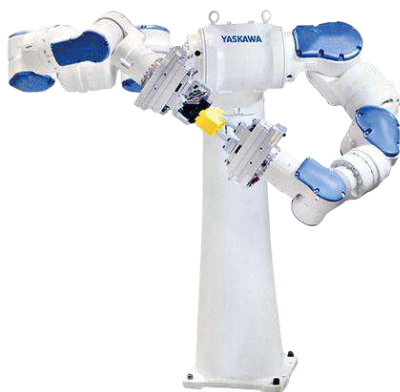
Obr. 1.3 - YASKAWA HC10DT [15], UR3e [16], NACHI CZ10 [17]

Jednoramenné kolaborativní roboty mají nejčastěji 6 os, ale například robot KUKA LBR iiwa a robot ABB IRB 14050 Single-arm YuMi disponuje 7 osami. Využití 6 os umožňuje natočení efektoru v jakémkoliv úhlu a to v prostoru kolem celého robota, což zlepšuje a zjednodušuje tvorbu trajektorie robota. Obrovská výhoda v použití 7 os vychází z možnosti změnit konfiguraci robota, při stejném natočení efektoru [19].

Dvouramenné roboty zvládají více úkonů najednou, což se dá velmi dobře využít například při montování součástek. Mezi takové kolaborativní roboty se řadí IRB 14000 YuMi od společnosti ABB a nebo SIASUN DSCR3. Oba mají 2x7 os, a hlavní rozdíl mezi nimi spočívá v užitečném zatížení každého ramene, kde YuMi má 0,5 kg a DSCR3 má 3 kilogramy. Značnou výhodou na trhu je robot od YASKAWA SDA5F, který disponuje až 15 stupni volnosti, protože má navíc rotaci kolem těla [14, 15, 18].



Obr. 1.4 - Robot IRB 14000 YuMi [14], SIASUN DSCR3 [18]



Obr. 1.5 - YASKAWA SDA5F [15]

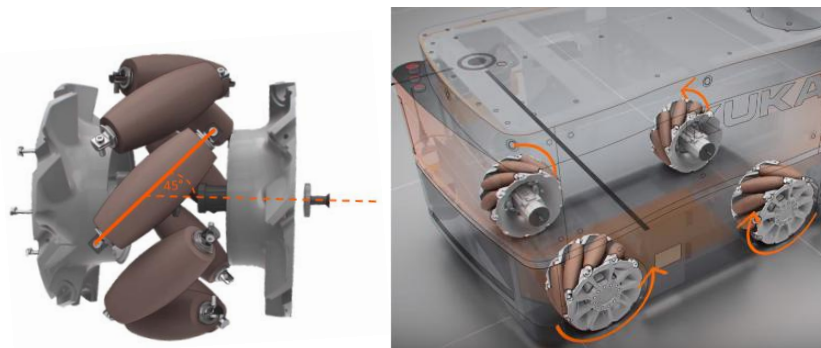
Další skupinou kolaborativní robotiky jsou autonomní mobilní podvozky. Mobilní autonomní robot je agilní, mezi jeho výhody patří lepší využití pracovního prostoru, snížení prostojů, snížení času potřebného k provedení jakýchkoliv změn. Jsou schopni se sami pohybovat v místnosti, bez značek či kabelů. Jsou způsobilý

si naskenovat místnost a vytvořit si vlastní mapu. Jednou z dalších vlastností těchto robotů je, že mobilní podvozek je schopen se autonomně pohybovat mezi dvěma rozdílnými pracovišti, kde může vykonávat rozdílnou činnost a přitom se spolehlivě vyhýbat překážkám. Největší nevýhodou mobilních robotů je dobíjení baterií nebo i to, že se obecně pohybují pomaleji, než roboty průmyslové, toto je dáno bezpečnostním nastavením robota. Pomalejší rychlost pohybu platí obecně pro všechny kolaborativní roboty [20, 21, 22].



Obr. 1.6 - Autonomní mobilní podvozek Waypoint MAV3K [21]

Existuje několik druhů robotických platform, které se dají rozdělit dle způsobu mobility. Nejčastější zastoupení má kolový podvozek, ale existují i roboty s pásovým podvozkem. Pásový podvozek se využívá především ve venkovním terénu. Kolový podvozek se skládá buď z obyčejných kol anebo z tzv. omni kol, což je největší trend dnešní doby. Obyčejná kola umožňují pohyb pouze dopředu a dozadu a z tohoto omezení vznikla kola omni. Tato kola umožňují robotu se pohybovat do více směrů. Omni kola vypadají jako normální kola, ale mají po obvodu válečky, které se mohou volně otáčet [23, 24, 25].



Obr. 1.7- Detailní pohled Omni kola [23], KUKA Omni kola [26]

Při analýze trhu mobilních podvozků bylo zjištěno, že je třeba při této problematice uvažovat několik základních požadavků na podvozek. Například celková nosnost podvozku, výdrž akumulátoru, počet a druh kol, rychlost pohybu platformy, ložná plocha a variabilita ložné plochy z pohledu upínání přípravků. Všechny tyto parametry se odvíjejí od funkce robota. Součástí těchto mobilních podvozků jsou bezpečnostní systémy, které obsahují lasery s pokrytím 360° a tím je mobilní robot schopen zcela zastavit, anebo se vyhnout překážce [26 - 29].



Obr. 1.8 - Omron: LD-105CT, LD-60, LD-90, LD-250, HD-1500 a flexibilní funkcionalita [28]

Robotické podvozky mají široké spektrum využití, po logistické operace až po organizaci v centrálním skladu. Podle maximální možné nosnosti se na trhu objevují autonomní mobilní podvozky od 60 kg do 1500 kg. Rychlost se pohybuje od 1 m/s až do 1,8 m/s. Autonomní podvozky jsou schopné dosáhnout daleko vyšších rychlostí, ale s ohledem na bezpečnost je jejich maximální rychlost 1,5 m/s [20 - 34].



Obr. 1.9 - HAN'S ROBOT AGV L1050 [30], HAN'S ROBOT AGV L810 [31]



Obr. 1.10 - MIR100, MIR250, MIR1000 [32]

Omni koly disponuje menšina nabízených podvozků na trhu, jsou to například KUKA a Waypoint. Doba výdrže baterií v běžném provozu se pohybuje okolo 5 až 13 hodin (MIR250), v závislosti na jejich kapacitě a na aktuální hmotnosti nesené mobilním podvozkem. Nabití lithium-iontových baterií trvá přibližně od jedné do dvou hodin [20 - 34].



Obr. 1.11 - SIASUN HSCR5 [33], SIASUN HCR20 [34]

Mobilní podvozek KUKA omniMove navíc disponuje speciálními zvedacími vřeteny, díky nim je robot schopen samostatně zvedat například karosérii automobilu [35].



Obr. 1.12 - Mobilní podvozek KUKA OmniMove [35]

1.4 Aplikační potenciál pro průmyslovou sféru

Aplikační potenciál kolaborativních robotů v průmyslové sféře má široké spektrum využití. Pro každou možnost využití je potřeba, aby daný kolaborativní robot disponoval efektozem, který slouží k tomuto typu operace. Největší omezení v průmyslové sféře, co se týče využití kolaborativních robotů, spočívá v jejich užitečném zatížení a především ve velikosti pracovního prostoru a rychlosti. Průmyslové roboty disponují například až pětmetrovým dosahem, s možností užitečného zatížení až do hmotnosti několik tun. Naopak z toho plyne další výhoda kolaborativních robotů, mohou být až 10x lehčí než průmyslový robot.

Níže je uvedeno několik operací, které nejčastěji kolaborativní roboty vykonávají. Důležitým faktorem při uvažování, co by robot mohl spravovat či dělat, jsou senzory a efektozem. Senzory většinou nejsou součástí základního balíčku robota, proto je nutné je dokoupit. Aktuálně se kolaborativní roboty nejvíce využívají na tyto operace: logistické operace jako například doprava materiálu, operace pick and place a montážní operace menších součástí [36, 37, 38].

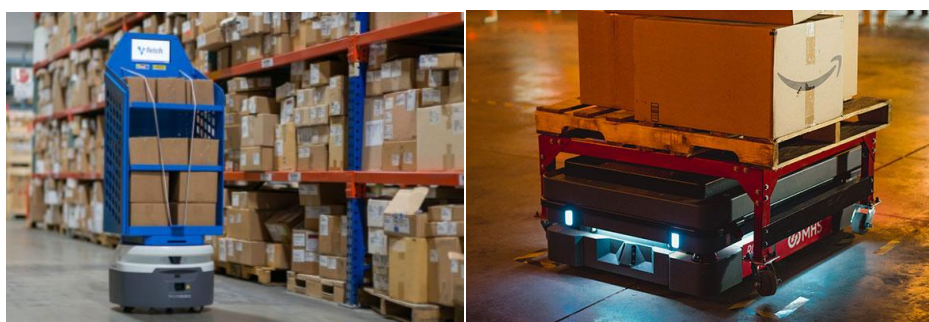


Obr. 1.13 - Schéma aplikačního potenciálu kolaborativních robotů pro průmyslovou sféru

Využití kolaborativních robotů na logistické operace ušetří čas, zvýší bezpečnost a efektivitu práce. Velká výhoda spočívá ve schopnosti robota ihned reagovat na okolní prostředí a jeho změny. Je schopen se vyhnout jakékoliv překážce na trase anebo dle potřeby ji dokonce i upravit. Kolaborativní roboty jsou způsobilý manipulovat i s křehkými produkty jako je sklo [35, 39, 40, 41].

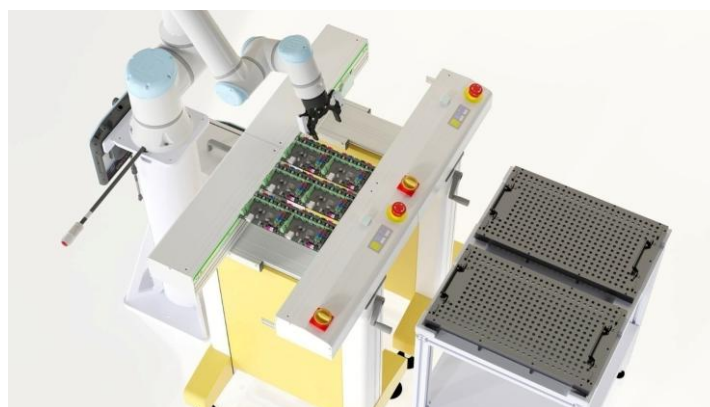


Obr. 1.14 - Mobilní plošina KUKA OmniMove s nosností 1500 kg [35]



Obr. 1.15 - Mobilní robot Fetch house [40], Mobilní robot MHS [41]

Operace pick and place, z překladu seber a umístí, je jedna z nejvíce využívanějších aplikací. Kolaborativní roboty jsou schopny tuto operaci opakovat s velikou přesností. Příklad této operace je zřejmý na následujícím obrázku jako osazování elektronických součástek na desku plošných spojů [36, 42, 43].



Obr. 1.16 - Operace pick and place – osazování desky [42]

Další skupinou využití kolaborativních robotů jsou technologické operace, jako je pájení, svařování, šroubování, lepení. U procesu lepení je zaručená rovnoměrně nanesená vrstva lepidla. Svařování je proces, který vyžaduje svářečskou schopnost a šikovnost, ta u těchto robotů není nutná. Na technologickou operaci šroubování jsou kolaborativní roboty vhodné hlavně kvůli jejich schopnosti regulace utahovacího momentu [43, 44].



Obr. 1.17 - Svařování kolaborativním robotem [45]

Kolaborativní roboty vybaveny určitým typem senzorů či kamerového systému mohou kontrolovat velikost výrobků, jakost povrchu, popřípadě správnou montáž výrobků. Jsou schopny obrobený díl zkontrolovat s CAD modelem. Inspekce kvality většinou vyžaduje pořizování snímků ve vysokém rozlišení, nejlépe ze všech úhlů. Proto je vhodné použít kolaborativního robota, který se pohybuje dle potřeby uživatele a vše precizně zachytí. Výhoda využití kolaborativních robotů spočívá ve vysoké přesnosti a spolehlivosti [43, 45].

Národní úřad pro letectví a kosmonautiku, zkráceně NASA, využívá kolaborativní roboty k inspekci trupů letadel, za využití infračervené termografie. Výhoda spočívá v jistotě stoprocentní kontroly trupu a v možnosti zpětného porovnání stavu trupu v průběhu jeho životnosti [46].



Obr. 1.18 - Kontrola trupu letadla NASA [46]

Pro paletizování a balení výrobků jsou nutné kamery, vhodné pro lokalizaci palet a dále speciální vakuové uchopovače s vlastním kompresorem. Využívá se takový systém, kde má robot vedle sebe umístěné dvě palety. Nejprve zaplní první paletu, pak poté začne zakládat druhou. Další pracovník, nebo mobilní podvozek, mezitím připravenou paletu odveze [37, 43, 47, 48].



Obr. 1.19 - Paletizace [48]

Kolaborativní roboty mohou obsluhovat CNC stroje, vstřikovací stroje, lisy a například i obráběcí stroje. Po naprogramování jsou schopný zmáčknout tlačítko start, zavřít a otevřít dveře stroje. Při delším strojním času může robot obsluhovat několik strojů najednou, což zvyšuje produktivitu. Je zde i možnost využití kolaborativních robotů pro zakládání nástrojů a polotovarů do CNC obráběcích strojů. V tomto případě se používají efektory, vybaveny ofukovací tryskou pro očištění svěraku, aby docházelo k plnému dosednutí obrobku do čelistí [37, 42, 49].



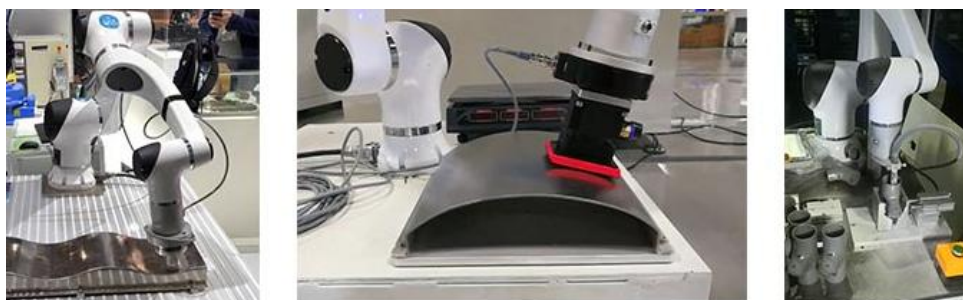
Obr. 1.20 - Obsluha CNC stroje [42], Zakládání polotovaru do stroje [49]

V automobilovém průmyslu našly kolaborativní roboty využití při montování tlumících textilních vložek do dveří, kdy se využívá jejich schopnosti udržet konstantní tlak. Dalším příkladem montážní operace může být skládání elektrické zásuvky nebo telefonů [50, 51].



Obr. 1.21 - Montáž dveří BMW [50], Montáž elektrické zásuvky [52]

Dokončovací operace jako je broušení, leštění, lakování a další většinou zdlouhavé operace je další typ operací, které mohou kolaborativní roboty vykonávat. V porovnání s lidmi, roboty nepotřebují zaškolení k dosažení vynikající kvality, která bude předvídatelná. Kolaborativní robot je schopen dokončovat zakřivené plochy pomocí regulace síly nebo aplikovat konstantní velikost krouticího momentu. Stříkání forem na boty, je další příklad dokončovací operace, kterou kolaborativní robot může vykonávat [43, 53, 54].



Obr. 1.22- Leštění zakřivených ploch [53]

Proces bin picking v českém jazyce jako automatizované odebírání dílů, je vybírání neuspořádaných dílů z boxů a organizované umístění na již předem definované místo či například na dopravníkový pás [55].



Obr. 1.23 - Ukázka automatizovaného odebírání dílů [55]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část pojednává o zvoleném robotu a efektoru, pro které se realizoval návrh připojovací příruby a úchopných prvků. Následně se v této části práce popisuje programování robotu a příprava prezentačního programu.

2.1 ROBOT KUKA KMR iiwa 14 R820

Robot KUKA KMR iiwa 14R820 se skládá ze dvou robotů - mobilní plošina KMR iiwa a robot LBR iiwa 14 R820. Tento autonomní robot se vyznačuje lehkou konstrukcí, vysokou flexibilitou, vysokou citlivostí a bezpečností.



Obr. 2.1- Robot KUKA KMR iiwa 14 R820 [56]

Mobilní plošina váží 390 kg, a je schopná unést až 200 kg. V tomto případě, kdy je součástí i robotická paže LBR iiwa, je plošina schopna nést 170 kg. Pohyb plošiny je zajištěn na speciálně vyvinutých kolečkách, díky nimž je schopna jet jakýmkoliv směrem a rotovat o 360°. Výrobce udává přesnost polohování ± 5 mm, bez ohledu jeli vzdálenost od pracoviště 5 nebo 150 metrů. Součástí autonomní mobilní plošiny jsou laserové skenery, pomocí kterých je plošina schopná monitorovat své okolí a včas se vyhnout nebo zcela zastavit před překážkami [56].

Další výhodou je nezávislost platformy, neboť vozidlo je opatřeno přídatnými lithium-iontovými bateriemi. Ostatní parametry, jako jsou například rozměry, jsou shrnuty v tabulce číslo 2.1 [56].

Tab. 2.1 - Technické údaje mobilní platformy KMR iiwa [56]

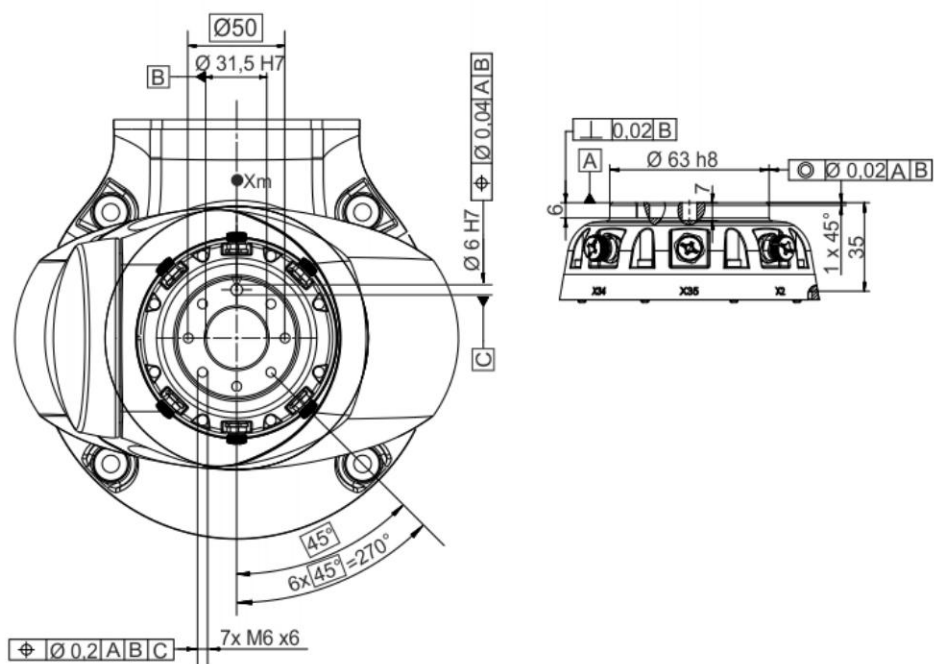
MOBILNÍ PLOŠINA KMR IIWA	
Výška	700 mm
Délka se skenery a s bezpečnostní zónou	1 080 mm
Šířka se skenery a s bezpečnostní zónou	630 mm
Váha	390 kg
Přesnost polohování	± 5 mm
Maximální zatížení	170 kg / 200 kg bez ramene LBR iiwa
Maximální rychlost v podélném směru	3,6 km/h
Maximální rychlost v příčném směru	2 km/h

Kolaborativní robot LBR iiwa 14 R820 disponuje senzory kloubových momentů, díky nimž je schopný reagovat na jakýkoliv kontakt a náraz. Maximální užitečné zatížení činí 14 kg. Pracovní prostor je tvaru měsícového prstence. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce číslo 2.1. Tento robot má integrované, citlivé senzory momentů ve všech 7 osách, což je výhodné pro preciznější typy montáží. Programuje se pomocí dotykového ovládacího panelu, který využívá technologii Java k sekvenčnímu programování. Sekvenční programování je programování, které probíhá řádek po řádku ve zdrojovém kódu [56].

Tab. 2.2 - Technické údaje robota LBR iiwa 14 R820 [56]

LBR IIWA 14 R820	
Užitečné zatížení	14 kg
Počet os	7
Dosah	820 mm
Opakovatelnost	± 0,015 mm
Hmotnost	29,5 kg

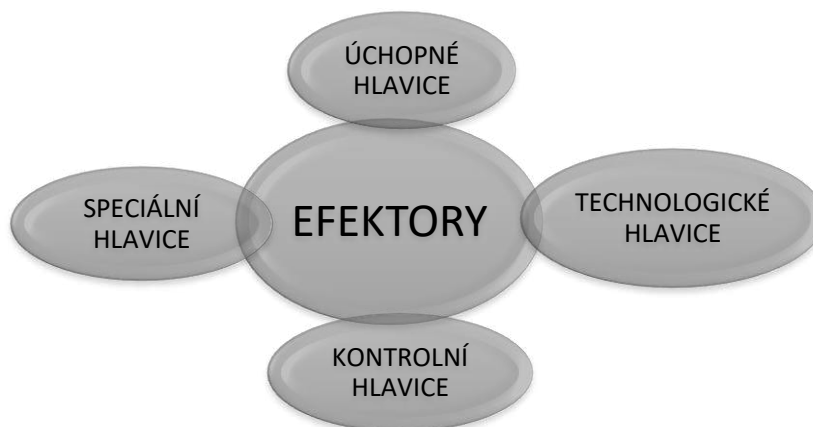
Připojovací rozhraní robota LBR iiwa 14 R820 je zobrazeno v následujícím obrázku. Příruba má k dispozici přívod energie v elektrickém nebo pneumatickém provedení. Schéma vrtaných děr odpovídá normě DIN ISO 9409-1-50-7-M6.



Obr. 2.2- Rozměry příruby media flange electrical [57]

2.2 Efektor MEG 40 EC SCHUNK

Koncový efektor anebo pracovní hlavice je člen na konci průmyslového robota. Efektor slouží k uchopování předmětů, manipulaci předmětů, technologickým operacím nebo kontrolním operacím. Dle způsobu aplikace se efektor dají rozdělit na úchopné hlavice, technologické hlavice, kontrolní hlavice a speciální hlavice. Nejvíce se využívají efektor s elektrickým či pneumatickým pohonem [8, 58].



Obr. 2.3 - Rozdělení efektorů dle jejich aplikace [58]

Elektrické pohony potřebují pro své fungování pouze zdroj elektrické energie, oproti tomu pneumatické pohony musí mít k dispozici stlačený vzduch. Ne vždy je ale prostředí vhodné pro efektor s elektrickým pohonem, například v místech silného magnetického či elektrického pole. Výhoda elektrického pohonu spočívá v možnosti přesné regulaci úchopné síly, rychlosti, zrychlení a také v detekci uchopení součásti bez nutnosti dalších senzorů [59, 60].

Pneumatické pohony mají vysoké poměry síly k hmotnosti efektoru. Díky této efektivitě je efektor co o velikosti menší a lehčí a tím se dá lépe využít celkové užitečné zatížení robota. Výhoda tohoto způsobu pohonu spočívá v levnější cenové relaci a také v rychlejší době odezvy na otevírání a zavírání čelistí. Pozice čelistí efektoru jsou obvykle otevřené anebo zavřené a neexistuje mezi nimi žádná další poloha, což může být jedna z nevýhod při uchopování dílů různých velikostí. U pneumatického pohonu se velmi těžce programuje úchopová síla, hodí se tedy pro těžké součásti, které vyžadují velkou sílu uchopení. Další nevýhodou může být infrastruktura, která je potřeba k provozu – stlačený vzduch z lahve nebo kompresoru [58 - 61].

Efektor MEG 40 EC od společnosti SCHUNK je elektrický paralelní uchopovač, který lze zařadit do skupiny úchopných hlavic. Hodí se pro uchopování převážně menších dílů s doporučenou hmotností 200 gramů. Pro kolaborativní robotiku není tento efektor vhodný, ale byl vybrán jako použitelný kompromis. Kolaborativní efektor by měl disponovat zaoblenými hranami a určitou sensorikou, vhodnou na spolupráci s člověkem. Měl by být vyroben nejlépe z plastu. Z tohoto důvodu se efektor dají upravit například využitím pěnového polyetylenu, který se omotá na hrany efektoru.



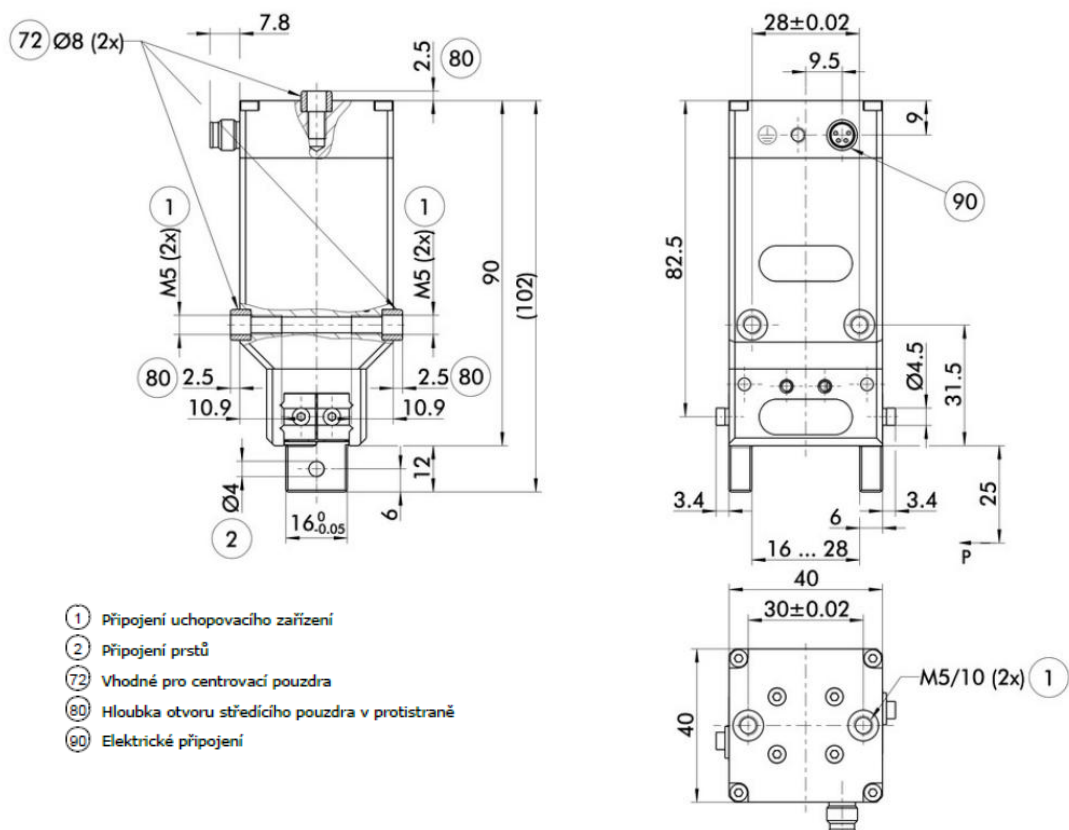
Obr. 2.4 - MEG 40 EC SCHUNK [62]

Poháněn je krokovým motorem s vřetenem. Pro napojení prstů chapadla neboli úchopných prvků, slouží základní čelist. V tabulce číslo 2.3 jsou uvedeny důležité technické údaje. Zvolený efektor je vhodný na malé a lehké díly, z důvodu malé doporučené hmotnosti dílu a malého rozpětí sevření či rozevření prstů, což může být bráno i jako nevýhoda [62].

Tab. 2.3 - Technické údaje MEG 40 EC [62]

MEG 40 EC	
Minimální uchopovací síla	35 N
Maximální uchopovací síla	40 N
Doporučená hmotnost obrobku	0,2 kg
Maximální přípustná délka prstu	40 mm
Maximální přípustná hmotnost každého prstu	0,08 kg

Připojovací rozhraní efektoru slouží k připojení na připojovací přírubu ramene robota. Cílem bakalářské práce je návrh připojovací příruby a úchopných prvků, z tohoto důvodu je zde pro ukázkou uvedena výkresová dokumentace vybraného efektoru, ze které se při návrhu vycházelo.



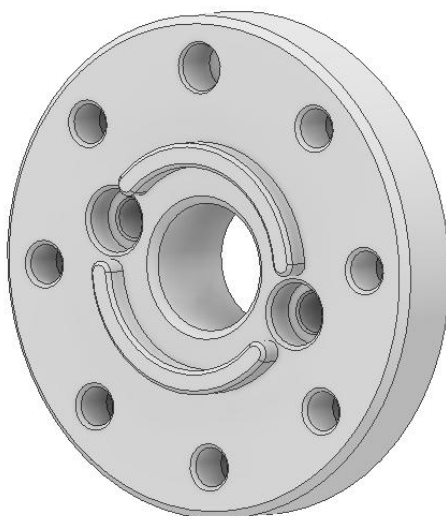
Obr. 2.5 - Výkresová dokumentace MEG 40 EC [62]

2.3 Návrh připojovací příruby

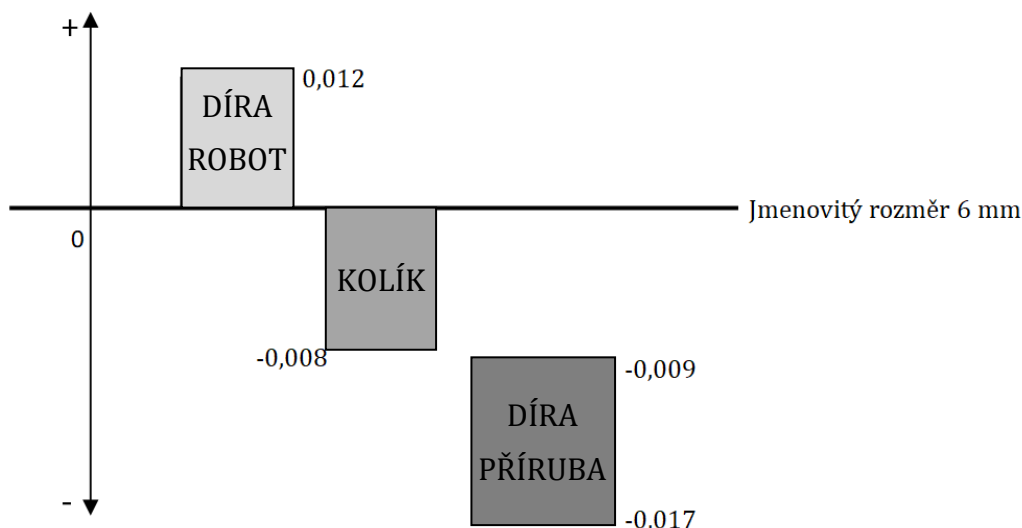
Pro výše zmiňovaný robot se realizoval návrh připojovací příruby, která spojuje konec robota LBR iiwa 14 R820 a elektrický efektor MEG 40 EC. Základní návrh připojovací příruby vycházel z daných rozměrů od výrobce. Kde hlavní kritéria návrhu jsou přesnost, opakovatelnost a bezpečnost spojení.

Přesnost spojení je zajištěna osazením na přírubě o průměru 31,5 mm s výrobní tolerancí h7, díky kterému dochází k volnému vložení do díry v přírubě ramene robota s tolerancí H7. Správné natočení příruby je zaručeno válcovým kolíkem o průměru 6 milimetrů s výrobní tolerancí h6. Válcový kolík je normalizovaný díl s označením válcový kolík h6 6x12 DIN 6325. Ten je zalisován do díry v připojovací přírubě. Rozměr díry v přírubě robota je průměr 6 mm o výrobní toleranci H7 (6H7), tedy dochází k volnému uložení kolíku a této příruby. K uložení s přesahem dochází mezi kolíkem a připojovací přírubou, kde je zvolena výrobní tolerance P6. Toleranční pole pro připojení kolíku je zobrazeno na obrázku 2.7. Bezpečnost připojení je zaručena sedmi šrouby o velikosti M6 x 14.

Po změření středících otvorů v efektoru byla zjištěna výrobní tolerance H7 pro průměr díry 8 mm. Pro zaručení volného uložení v efektoru byla navržena výrobní tolerance h7 pro středící pouzdra, tím je zaručena opakovatelnost a přesnost spojení. Pouzdra jsou zalisována do díry o průměru 8 mm s tolerancí P8 v připojovací přírubě. Dva šrouby M5x15 zaručují bezpečnost připojení příruby k efektoru.

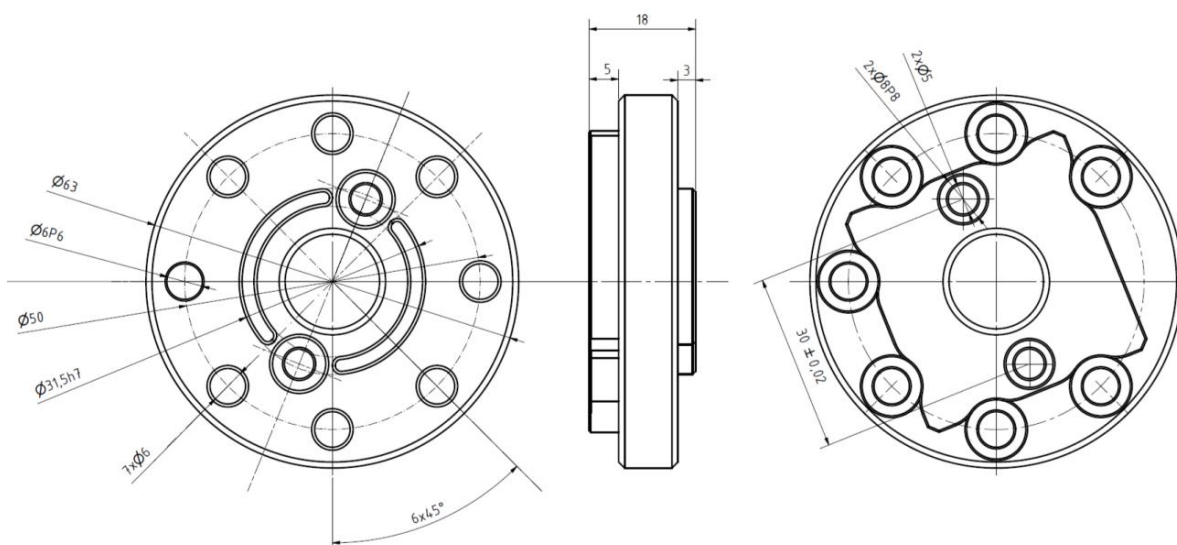


Obr. 2.6 - Pohled připojovací příruby ze strany připojení k robotu



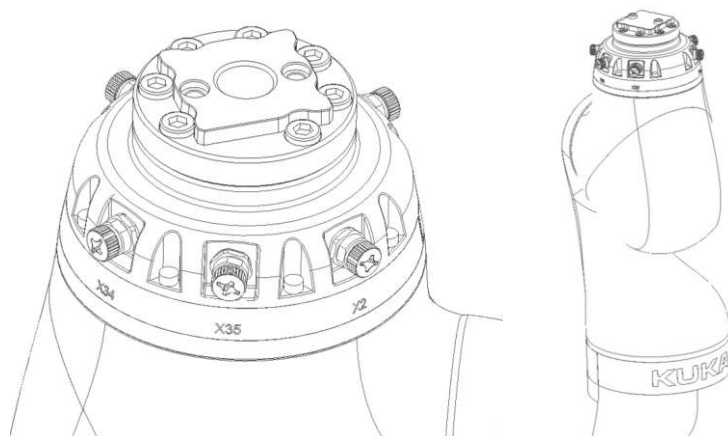
Obr. 2.7 – Toleranční pole – robot 6H7, kolík 6h6, příruba 6P6

Zvolený materiál na výrobu je hliníková slitina EN AW 2030, vybraný z důvodu velmi dobré obrobitelnosti a vynikající odolnosti proti korozi. Další kritérium pro výběr tohoto materiálu je i jeho nízká hmotnost v porovnání s ocelí. V návrhu připojovací příruby se uvažovalo s co nejmenší hmotností dílu, proto se zrealizovalo odlehčení dílu uprostřed průchozí dírou, která je velmi jednoduchá i na výrobu. Veškeré otvory a hrany jsou opatřeny zkosením, z důvodu rizika ostrých hran a také z estetického hlediska. Na obrázku 2.8 je zobrazena připojovací příruba pouze se základními rozměry a tolerancemi. Veškeré ostatní rozměry jsou zdokumentovány ve výkresu, který je v příloze dokumentu.



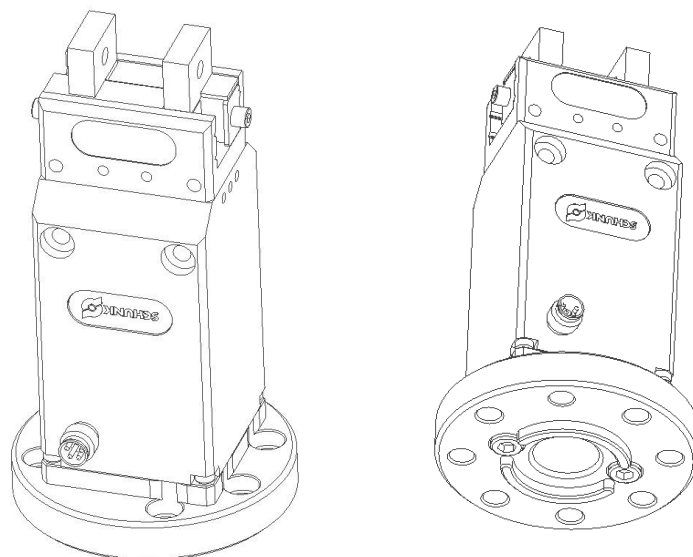
Obr. 2.8 - Připojovací příruba - základní rozměry

Návrh přípojovací příruby byl zkonzultován s technologem, který ji po sléze vyráběl metodami třískového obrábění na soustružnickém a frézovacím centru. Příruba je relativně jednoduchá na výrobu, vzhledem k použité výrobní technologii. Kdyby zde nebyla možnost výroby na CNC strojích, přírubu lze stále vyrobit i pomocí konvenčních strojů, pouze za provedení jednoduchých úprav. Úpravy by spočívaly v zjednodušení složitosti jednotlivých prvků a dle dostupnosti nástrojů.

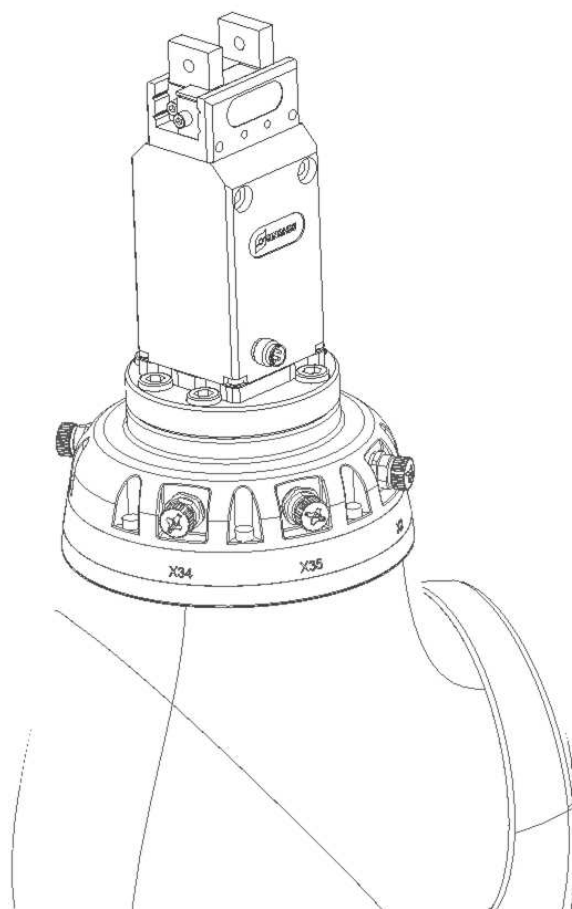


Obr. 2.9 - Přípojovací příruba a robot LBR iiwa 14R820

Konečná hmotnost dílu je 88 gramů, což je velmi působivé a žádané, zároveň díky použitým metodám byla zachována relativně nízká cena výroby. Na obrázku 2.9 je zobrazena sestava robota LBR iiwa 14R820 a přípojovací příruba a na následujícím obrázku je zobrazena sestava příruby s efektoem.



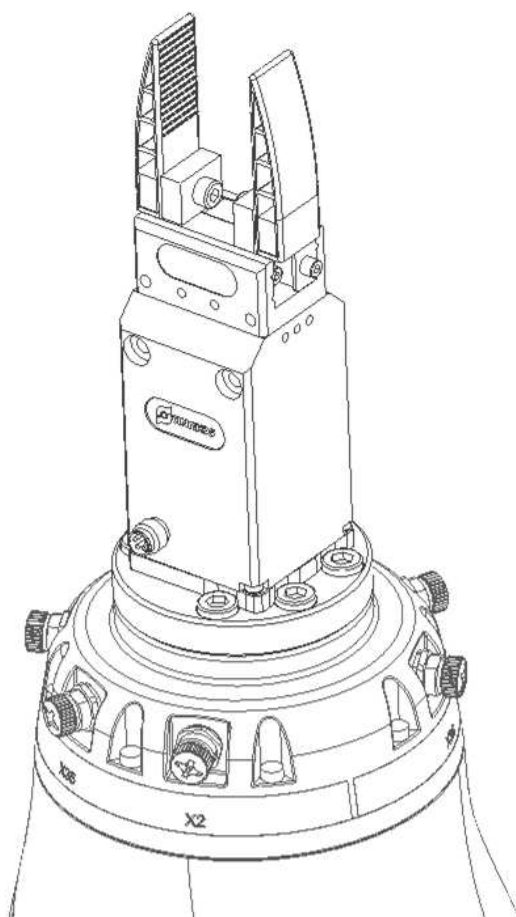
Obr. 2.10 - Přípojovací příruba a efektor



Obr. 2.11 – Sestava - robot, připojovací příruba a efektor

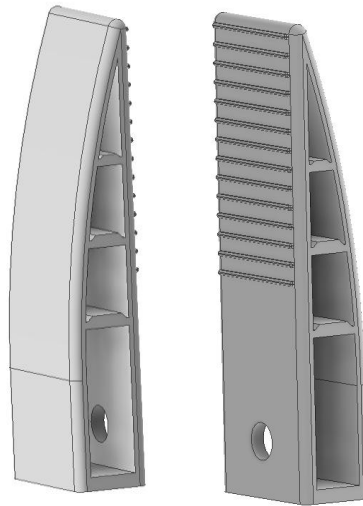
2.4 Návrh úchopných prvků

Návrh úchopných prvků vycházel z technických parametrů vybraného efektoru MEG 40 EC. Cílem je vytvořit takové prsty, které by při kontaktu s člověkem jej nezranili.



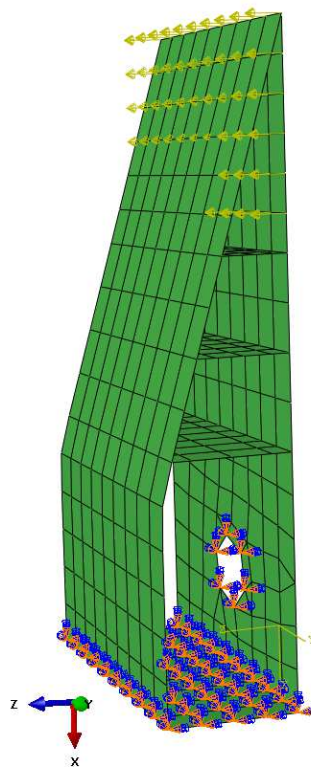
Obr. 2.12 – Kompletní sestava

Návrh se odvíjel od rozměrů daným výrobcem efektoru, kde klíčové rozměry jsou rozměry pro upnutí. Montáž na efektor je provedena pomocí šroubu a matice. Celková výška prstu je 50 mm, šířka je 16 mm a délka 8,25 mm. Tuhost úchopného prvku zvyšuje počet žeber.



Obr. 2.13 – CAD model úchopného prvku

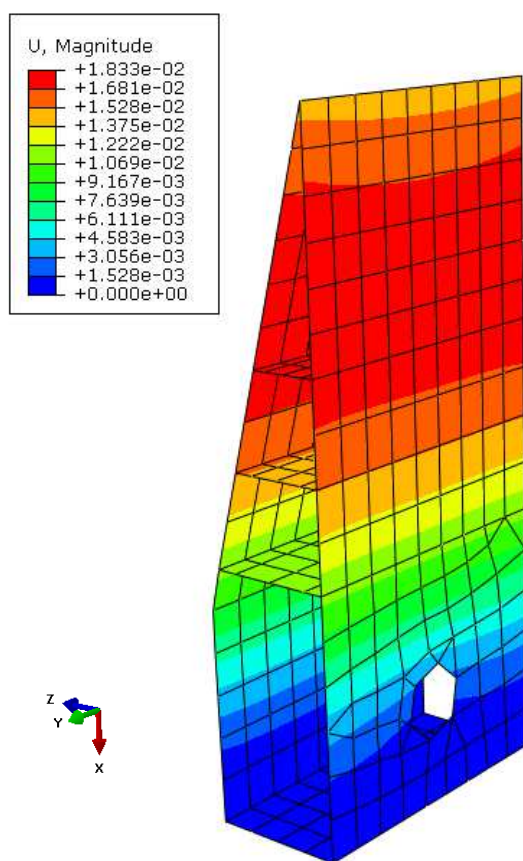
Pro provedení návrh se pro případnou další studii uskutečnila pevnostní a deformační analýza pomocí metody konečných prvků. Pro tuto bakalářskou práci se použil softwarový program Abaqus/CAE. Z vytvořeného CAD modelu pomocí procesu diskretizace vznikla síť konečných prvků, která je zobrazená na následujícím obrázku.



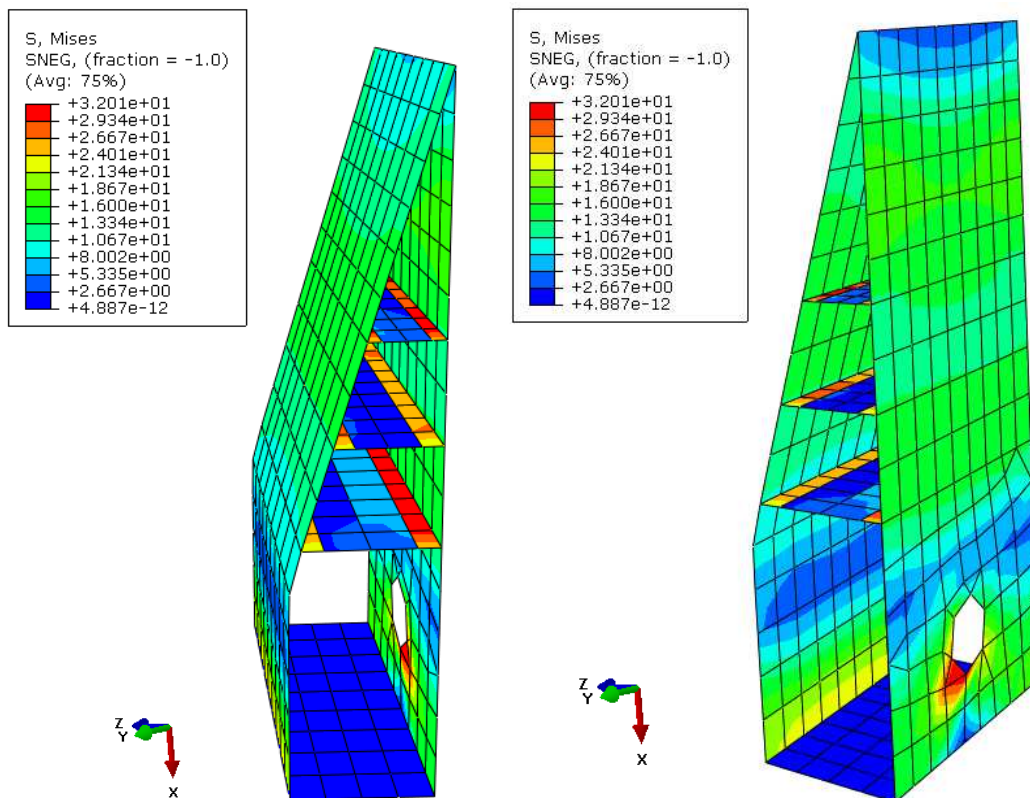
Obr. 2.14 - Síť konečných prvků a okrajové podmínky silové a geometrické

Dalším krokem bylo nutné definovat vlastnosti modelu jako je materiál, typ prvku, okrajové podmínky geometrické a okrajové podmínky silové. Materiál se pro demonstrování zvolil ocel. Typ prvku shell – skořepina. Geometrické okrajové podmínky popisují, jakým způsobem je model uchycen v prostoru. Úchopný prvek je pomocí matky a šroubu připevněn k efektoru a spodní částí se opírá o efektor. V místě dotyku a v otvoru se zamezilo ve všech směrech posunutí a natočení. Silové okrajové podmínky jsou pouze v místě dotyku úchopného prvku s tělesem. Zde se nastavila síla o velikosti 30 N, která demonstruje zatížení o hmotnosti 300 gramů.

Výsledná deformace a posunutí je znázorněna na následujících obrázcích. Hodnota maximálního posunutí je 0,02 mm. Maximální hodnota napětí Von Mises dosahuje 33 MPa.

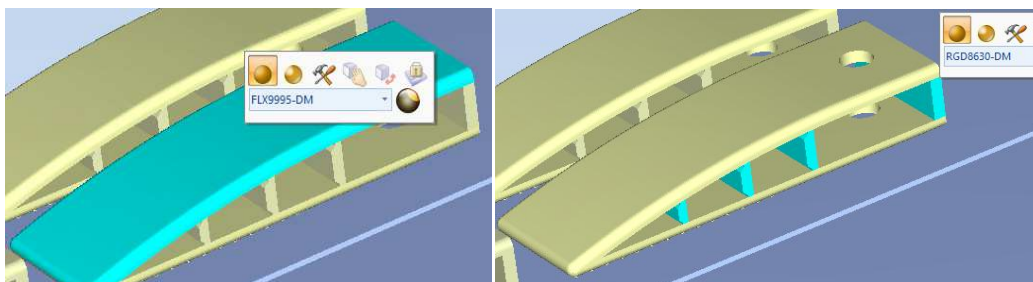


Obr. 2.15 - Průběh posunutí



Obr. 2.16 - Průběh napětí

Výroba úchopných prvků probíhala za pomoci 3D tisku na tiskárně Objet Connex 500, která využívá technologie Polyjet Matrix. Tato technologie umožňuje tisk prototypů ze dvou druhů materiálů. Pro správnou funkčnost úchopných prvků je žádané, aby byly dostatečně elastické, proto se při výrobě zvolil materiál FLX995-DM, který se chová jako pryž. Žebra úchopných prvků jsou vytištěna ze simulovaného polypropylenu RGD8630-DM, který je tužší. Výsledná hmotnost úchopného prvku je 3 gramy. Výrobce efektoru má uvedenou maximální hmotnost prstu 80 gramů.



Obr. 2.17 - Zvolení materiálu při 3D tisku

2.5 Prezentační program robotu KUKA iiwa

V této části se práce zabývá přípravou prezentačního programu. Existuje několik způsobů, jak lze robota naprogramovat. Nejprve je důležité představit, co všechno je součástí robotického systému. Jednotlivé základní komponenty jsou následující: manipulátor, řídicí systém KUKA Sunrise Cabinet, ruční ovladač KUKA SmartPAD a další příslušenství jako jsou propojovací kabely [63].

Na následujícím obrázku je zobrazen zjednodušený robotický systém. Pod číslem 2 je ruční ovladač KUKA SmartPAD, pod číslem 3 je robot LBR iiwa a číslo 5 je řídicí systém. Mezi jednotlivými komponenty jsou propojovací kabely.

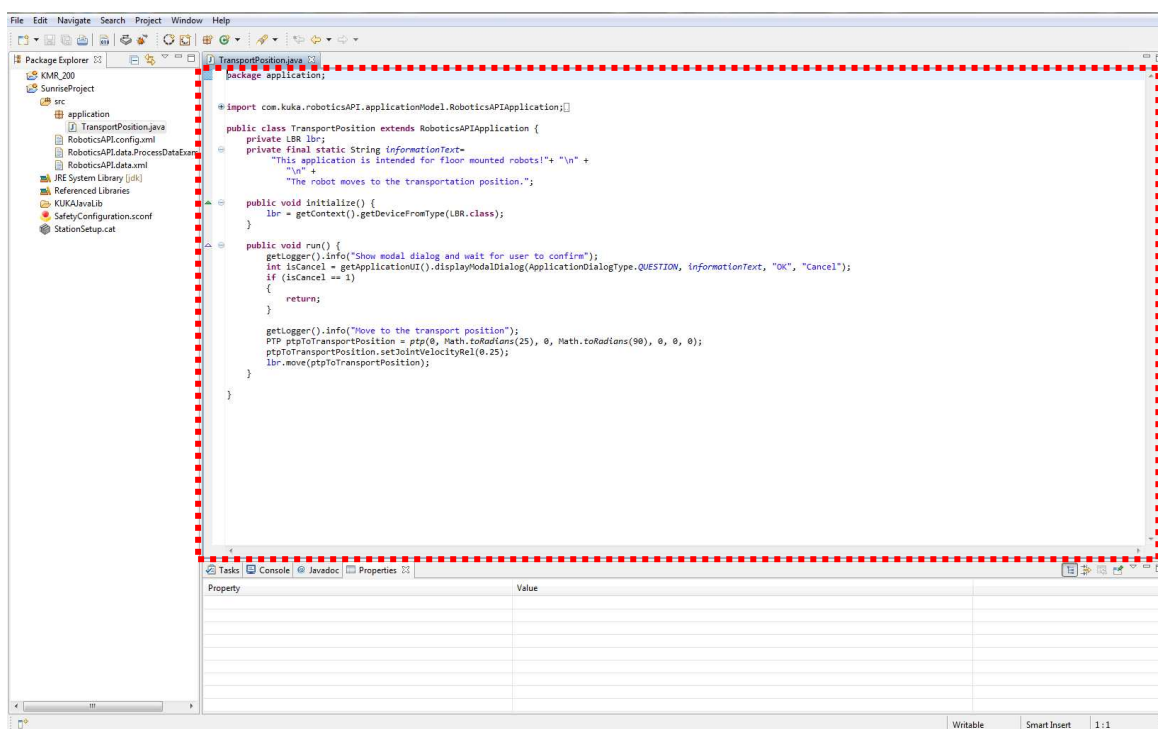


Obr. 2.18 - Přehled robotického systému [63]

Komponenty softwaru jsou celkem tři. Operační systém KUKA Sunrise.OS 1.14, vývojové prostředí KUKA Sunrise.Workbench 1.14 a WorkVisual 5.0. Operační systém je systémový softwarový balíček pro průmyslové roboty, ve kterém je programování striktně odděleno od řízení operátorů. Tento způsob má nevýhodu v menších úpravách aktuálního programu robota, kde pomocí smartPADu není uživatel schopen upravit program a potřebuje k tomu další zařízení jako je notebook. V některých situacích tento způsob programování může být velmi zdlouhavý.

Existuje několik způsobů, jak lze robota naprogramovat či pouze rozhybat. Nejjednodušší způsob, je pomocí chytrého ručního ovladače KUKA SmartPAD. Na tomto smartpadu lze ovládat, popřípadě zobrazit informace, potřebné pro obsluhu stanice. To umožňuje například ruční pohyb, seřízení os, založení a učení frames. Frames jsou body v prostoru, které se mohou použít jako cílový bod pohybu a využijí se při programování robotu. Dále pomocí ručního ovladače se spouští a ukončují aplikace robotu a aplikace na pozadí.

Aplikace robotu se programuje offline ve vývojovém prostředí KUKA Sunrise.Workbench, který využívá programovací jazyk Java. Uživatelské rozhraní je vidět na následujícím obrázku, kde je nejdůležitější oblast editace, označená červeným rámečkem, protože právě zde se píše zdrojový kód.



Obr. 2.19 - Uživatelské rozhraní KUKA Sunrise.Workbench

Struktura aplikace robotu se odvíjí od programovacího jazyku Java a je následující. První je tzv. balík (package), což je zjednodušeně umístění programu. Dále ve zdrojovém kódu následuje import knihoven a tříd, ve kterých jsou uloženy veškeré funkce a další informace. Poté následuje záhlaví aplikace robotu a sekce deklarace. V sekci deklarace je metoda inicializace a metoda run. V metodě inicializace se přiřazují počáteční hodnoty k datovým polím a v metodě run začíná samotné programování pohybů robotu. Na následujících stránkách jsou zobrazeny

vybrané ukázky z programování robotu KUKA KMR iiwa 14 R820 a následně je popsán prezentační program.

Programování robotu LBR iiwa 14 R820 se provádí pomocí již předem definovaných bodů (frames), které si uživatel sám vytvoří pomocí ručního navádění robotu díky smartpadu. Tyto body se pak nahrají zpět do KUKA Sunrise a napíše se zdrojový kód, ve kterém se vytvořené body (frames) použijí. Pak je na uživateli, jaký způsob pohybu zvolí mezi jednotlivými body. Na výběr je pohyb lineární, z bodu do bodu, pohyb po kružnici a další. Níže je zde uvedena část zdrojového kódu pohybu robotu LBR iiwa 14 R820 mezi pozicí domov, bodem P1 a bodem P2 s pohybem lineárním.

```
55 public void run() {  
56     gripper.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Pohyb/Domov")));  
57     gripper.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Pohyb/P1")));  
58     gripper.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Pohyb/P2")));  
59 }
```

Pro nastavení rychlosti pohybu robotu se musí zavést nová proměnná typu double a poté pomocí již vytvořené metody od KUKA zvané setCartVelocity je možné rychlost nastavit. Jednotky proměnné jsou milimetry za sekundu - 100 mm/s. Pokud se rychlost nenastaví, robot příkaz provede nejvyšší možnou rychlostí. Takto podobným způsobem je možnost nastavit i zrychlení.

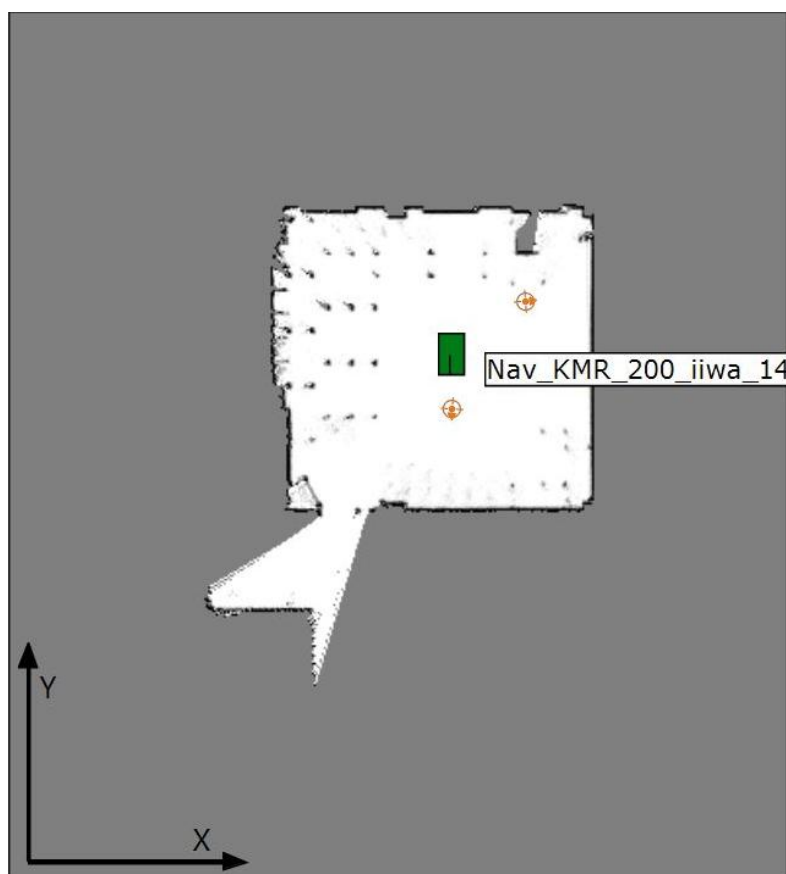
```
47 public void run() {  
48     double rychlostPohybu = 100;  
49  
    gripper.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Pohyb/Domov")).setCa  
    rtVelocity(rychlostPohybu));
```

Pohyb mobilního podvozku lze realizovat manuálně pomocí smartpadu a nebo pomocí programování v Kuka Sunrise. Existují 3 druhy pohybů, které lze naprogramovat. Relativní pohyb, pohyb podél virtuální čáry a autonomní pohyb. U relativního pohybu se platforma pohybuje vždy lineárně. Souřadnice zadané uživatelem jsou relativní k souřadnému systému mobilního podvozku. Souřadnice se zadávají ve směru X, Y a je zde i rotace okolo osy Z, která se udává v radiánech.

V další ukázce zdrojového kódu mobilní podvozek popojede ve směru osy X o 5 metrů.

```
100 public void run() {  
101     double smerX = 5;  
102     double smerY = 0;  
103     double rotace = 0;  
104     kmp.lock();  
105     kmp.execute(new RelativeMotion(smerX, smerY, rotace));  
}
```

Autonomní pohyb mobilní platformy vychází z naskenované mapy robotem. Platforma se přesune na místo určené na mapě. Pohyb se provede, pouze pokud je místo na mapě přístupné. Zajímavostí je, že přesnou dráhu pohybu robota nelze předpovídat. Na následujícím obrázku je mapa naskenované místnosti, ve které se demonstroval prezentační program robota. Jsou zde pro ukázkou zobrazeny dva body. Pokud se výchozí pozice robota označí jako pozice PHome, pak pohyb mezi těmito třemi body se dá zapsat následovně.



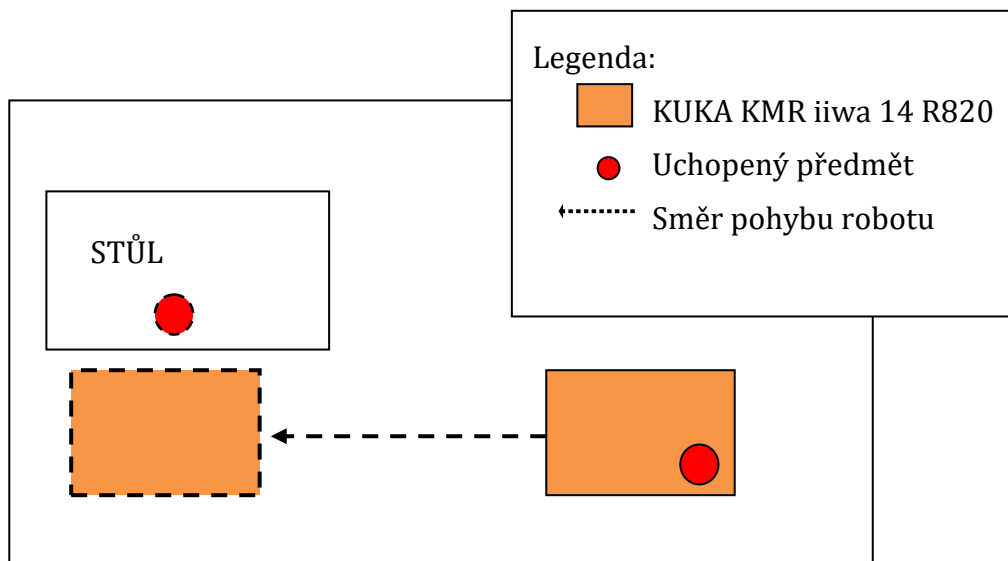
Obr. 2.20 - Mapa místnosti s vytvořenými body pozic


```

86 public void run() throws Exception {
87     try{
89         kmp.lock();
90         kmp.execute(new
            VirtualLineMotion(locationData.get(1,"PHome"),locationData.get(5,"P1"
            ));
91         kmp.execute(new
            VirtualLineMotion(locationData.get(1,"P2"),locationData.get(5,"P1")))
            ;
92         kmp.execute(new
            VirtualLineMotion(locationData.get(1,"P1"),locationData.get(5,"PHome"
            )));

```

V rámci bakalářské práce byl připraven prezentační program, který má za úkol zvednout lahev s lepidlem a převést ho na jinou pozici, kde jej odloží. Graficky znázorněno na následujícím obrázku. Zdrojový kód programu je zobrazen v příloze bakalářské práce. Součástí bakalářské práce je i video záznam, který je součástí elektronické přílohy.



Obr. 2.21 - Schéma prezentačního programu robotu

Závěr

Bakalářská práce je věnována kolaborativní robotice a jejímu současnému stavu. Dvě důležité informace, získané v porovnání s průmyslovým robotem jsou následující. Kolaborativní robot nedisponuje ochrannou klecí, oproti průmyslovému, a rychlost pohybu je vždy pomalejší. Cílem teoretické části byla rešerše aktuálního trhu s kolaborativními roboty a aplikační potenciál pro průmyslovou sféru. Bylo zjištěno, že se na trhu objevují dva typy kolaborativních robotů - jednoramenné a s větším zastoupením dvouramenné roboty. Součástí skupiny kolaborativních robotů jsou autonomní mobilní podvozky, kde jejich nejdůležitějším parametrem je jejich nosnost. Na trhu se objevuje mobilní robot s nosností až 1,5 tuny, což je velmi překvapivé. U současného stavu využití kolaborativních robotů v průmyslové sféře bylo zjištěno, že nejčastěji se kolaborativní roboty využívají pro logistické operace, operace pick and place a pro montáž menších součástek. Dalším cílem bakalářské práce bylo zhodnotit omezení aplikačního potenciálu kolaborativních robotů pro průmyslovou sféru. Myšlenkou kolaborativních robotů není nahradit současné konvenční roboty, ale odhalit nové příležitosti automatizace. Největším omezením těchto robotů, mimo rychlosti pohybu, je oblast detekce a systémy vidění - sensorika.

Praktická část bakalářské práce obsahuje návrh připojovací příruby, kterou je spojen robot s efektozem. Připojovací příruha je vyrobena metodami třískového obrábění z hliníku, a její celková hmotnost činí 88 gramů. Dále se praktická část věnuje návrhu úchopných prvků, které jsou vyrobeny na 3D tiskárně. Jejich hmotnost je celkem 6 gramů, pro porovnání maximální dovolená hmotnost každého prstu, dle vybraného efektoru, je 80 gramů. Tento výsledek se považuje za více než splňující. Součástí práce byl vytvořen i FE model úchopných prvků, který se může využít pro další případné studie.

Praktická část dále detailněji popisuje způsob programování vybraného robotu, kde jsou dva způsoby programování. Ruční navádění pomocí chytrého ovladače a offline programování. Offline programování se odehrává ve vývojovém prostředí KUKA Sunrise za pomoci programovacího jazyku Java. V této části práce jsou uvedeny a popsány části zdrojových kódů, které sloužily k přípravě prezentačního programu. Vytvoření prezentačního programu robotu bylo cílem bakalářské práce, který se úspěšně splnil. Kód programu a video dokumentace je v příloze této bakalářské práce.

Seznam použité literatury

- [1] Robot: poznej stroje budoucnosti. Přeložil Jozef KOVAL. Praha: Euromedia Group, 2019. Universum (Euromedia Group). ISBN 978-80-7617-820-5.
- [2] BEAUPRE, Mike. Collaborative Robot Technology and Applications. RIA [online]. KUKA Robotics, c2008-2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf
- [3] Post-COVID-19 Economy: “Robots Create Jobs”. IFR.org [online]. Frankfurt: IFR, 2020, May 14 2020 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/post-covid-19-economy-robots-create-jobs>
- [4] IFR presents World Robotics Industrial Robots. In: IFR [online]. Shanghai, Frankfurt: IFR, 2019, Sep 18 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-investment-reaches-record-16.5-billion-usd>
- [5] Collaborative robots: global sales 2018-2025. Statista.com [online]. Statista Research Department, 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/748128/estimated-collaborative-robot-sales-worldwide/>
- [6] Universal-robots: Přednosti kolaborativních robotů. Universal Robots A/S, o.z. [online]. Praha 13: Universal Robots 2020 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/o-universal-robots/kolaborativn%C3%AD-roboti-p%C5%99ednosti-kolaborativn%C3%ADch-robot%C5%AF/>
- [7] COBOTS EBOOK: Collaborative Robots Buyers Guide [online]. ROBOTIQ, c 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.edig.nu/assets/images/content/COBOT-EBOOK-FINAL6.pdf>
- [8] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [9] FANUC: The Factory Automation Company [online]. Praha: FANUC Czech, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>
- [10] NEW LIGHTWEIGHT ROBOT FROM FANUC OFFERS EXTREME RELIABILITY AND SAFETY: EASY PROGRAMMING – VERSATILE APPLICATIONS. Easy engineering [online]. WIRE Entertainment, (c) 2020, July 13, 2020 [cit. 2020-11-29].

- Dostupné z: <https://easyengineering.eu/new-lightweight-robot-from-fanuc-offers-extreme-reliability-and-safety-easy-programming-versatile-applications/>
- [11] FANUC: The Factory Automation Company [online]. Praha: FANUC Czech, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>
- [12] KUKA AG [online]. Augsburg: KUKA, c2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>
- [13] Produkty KUKA. In: ALL ROBOTS: INTEGRACE KOLABORATIVNÍCH A PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ [online]. ALL ROBOTS, c2019 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://www.allrobots.cz/wp-content/uploads/2019/03/KUKA_LBR_IIWA_14_0001-1.png
- [14] ABB Robotika[online]. ABB, c2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://new.abb.com>
- [15] YASKAWA CZECH [online]. Yaskawa Europe, c2020 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.cz.yaskawa.eu.com/>
- [16] Universal Robots A/S, o.z. [online]. Praha 13: Universal Robots, c2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs>
- [17] NACHI CZ10 [online]. NACHI Europe, c 2011 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.nachirobotics.eu/cz10/>
- [18] DVOURAMENNÝ KOLABORATIVNÍ ROBOT DSCR3. <https://www.siasun.cz/> [online]. Praha 10: SIASUN Robot & Automation CO. [cit. 2020-09-22]. Dostupné z: <https://www.siasun.cz/produkty/dscr3-2-ramena/>
- [19] How Many Axes Should My Robot Have? Robotiq [online]. Québec: Robotiq, Dec 08, 2015 [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/how-many-axis-my-robot-should-have>
- [20] OWEN-HILL, Alex. How to Decide If You Need a Mobile Cobot. Robotiq [online]. Canada: Robotiq, 2012, Dec 19, 2018 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/how-to-decide-if-you-need-a-mobile-cobot>
- [21] MAV3K™ — Industrial Strength, OmniDirectional, Autonomous Mobile Robot. Waypoint Robotics [online]. Waypoint Robotics, c2020 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://waypointrobotics.com/mav3k-autonomous-mobile-platform>

- [22] Vše o průmyslu [online]. TRADEMEDIA INTERNATIONAL, © 2020, listopad 25, 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/mobilni-roboty-agv/mobilni-robot-snizuje-naklady-na-prepravu-ve-schneider-electric.html>
- [23] Basics: What Types of Mobile Robots are There? RobotShop [online]. RobotShop, c 2020, 17/09/2018 [cit. 2020-09-02]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/community/tutorials/show/basics-what-types-of-mobile-robots-are-there>
- [24] Wheeled Robots. ROBOT PLATFORM [online]. ROBOT PLATFORM, c2010 - 2020 [cit. 2020-09-21]. Dostupné z: http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification_of_Robots/Types_of_robot_wheels.html
- [25] KUKA omniMove _drive technology. Robotek [online]. Product Presentation Mobile Robotics | IBD – Team Mobile Robotics, 03.2016 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <http://robotek.no/filer/dokumenter/4-Brattvag-02.11.2016.pdf>
- [26] KUKA Omnidirectional Autonomous Mobile Robots to Work in Narrow Areas. RobotGlobe [online]. RobotGlobe, c2020, May 27, 2016 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <http://robotglobe.org/kuka-omnidirectional-autonomous-mobile-robots-work-narrow-areas/>
- [27] Mobile Cobots. Dimalog [online]. Helsinki, [2020] [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.dimalog.com/mobile-cobots/>
- [28] Autonomní mobilní robot. Omron [online]. Omron Corporation, ©2020 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/autonomous-mobile-robot>
- [29] YASKAWA: Collaborative Robot HC Series. In: Yaskawa India [online]. c2020, Japan October 2018 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: https://www.yaskawaindia.in/Collaborative_Robots/Collabrative.pdf
- [30] AGV jednotka 150 kg. ALL [online]. ALL ROBOTS, © 2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.allrobots.cz/produkty/hans-robot/agv-jednotka-150-kg>
- [31] AGV jednotka 75 kg. Allrobots [online]. ALL ROBOTS, © 2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.allrobots.cz/produkty/hans-robot/agv-jednotka-75kg>

- [32] Mobile robots. Mobile industrial robots [online]. Mobile Industrial Robots A/S, ©2019 - 2020 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/>
- [33] SIASUN hybridní cobot HSCR5. Siasun [online]. Praha: Allrobots [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.siasun.cz/produkty/hscr5-hybridni/>
- [34] SIASUN hybridní cobot HCR20. Siasun [online]. Praha: Allrobots [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.siasun.cz/produkty/hcr20-hybridni/>
- [35] KUKA mobilní plošina 1500. Kuka [online]. KUKA, © 2020 [cit. 2020-12-19]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/mobilita/mobiln%C3%AD-plo%C5%A1iny/kmp-1500>
- [36] Application Use. Cobots [online]. cobots.ie, © 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://cobots.ie/about/why-collaborative-robots/application-use/>
- [37] Aplikace. Allrobots [online]. Praha: ALL ROBOTS, © 2019 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: <https://www.allrobots.cz/aplikace/>
- [38] Application Use [online]. In: . Ireland: cobots.ie, © 2020 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: <https://cobots.ie/about/why-collaborative-robots/application-use/>
- [39] The Mobile Cobots Are Coming. Modern machine shop [online]. Gardner Business Media, © 2020, 10/24/2016 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: [https://www.mmsonline.com/blog/post/the-mobile-cobots-are-coming\(2\)](https://www.mmsonline.com/blog/post/the-mobile-cobots-are-coming(2))
- [40] WILLIAMS |, Andrew. How Autonomous Mobile Robots Are Changing the Logistics Landscape. In: Robotics Business review [online]. WTWH Media LLC., © 2020, June 6, 2018 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: <https://www.roboticsbusinessreview.com/supply-chain/autonomous-mobile-robots-changing-logistics-landscape/>
- [41] MHS Announces Expanded Autonomous Mobile Robot Capabilities. In: Supply Chain 247 [online]. Peerless Media, June 24, 2020 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: https://www.supplychain247.com/article/mhs_announces_expanded_autonomous_mobile_robot_capabilities
- [42] Robotika za časů koronaviru. TZB [online]. Topinfo, c2001-2020, 2. 6. 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/20750-robotika-za-casu-koronaviru>

- [43] Six use cases for collaborative robots. Control Engineering [online]. Downers Grove, c2020, DECEMBER 9, 2019 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z:
<https://www.controleng.com/articles/six-use-cases-for-collaborative-robots/>
- [44] Lepení a svařování s pomocí kolaborativních robotů. Robotiq [online]. Hustopeče: AQUAMID, c2020 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z:
<http://www.robotiq.cz/Pou%C5%BEit%C3%AD-robot%C5%AF/Lepen%C3%AD-a-sv%C3%A1%C5%99en%C3%AD>
- [45] ROBOTS, Universal. Our UR5 cobot in welding action. In: Instagram [online]. universalrobots, 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z:
<https://www.instagram.com/p/B0beijPFQ1g/>
- [46] Robotic Inspection To Allow Safer & More Cost Effective Aircraft Manufacturing Processes. In: Metrology [online]. E-Zine Media, 2020, February 19, 2018 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://metrology.news/robotic-inspection-to-allow-safer-more-cost-effective-aircraft-manufacturing-processes/3%20Metrology%20and%20Quality%20News%20-%20Online%20Magazine.html>
- [47] Balení a paletování pomocí kolaborativních robotů. Robotiq [online]. Hustopeče: AQUAMID, c2020 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z:
<http://www.robotiq.cz/Pou%C5%BEit%C3%AD-robot%C5%AF/Balen%C3%AD-a-paletov%C3%A1n%C3%AD>
- [48] The EasyPalletizer and PALLY blending well together. In: EasyRobotics [online]. EasyRobotics ApS, 2020c [cit. 2020-05-25]. Dostupné z:
<https://www.easyrobotics.biz/news/categories/news/>
- [49] Fusion OEM Doubles Production Capacity in CNC Machining Operations. Universal Robots [online]. Odense: Universal Robots A/S, c2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z:
<https://www.universal-robots.com/case-stories/fusion-oem/>
- [50] Collaborative robot at the assembly line. In: BMW GROUP [online]. Munich, Germany, 2017, 26.06.2017 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z:
<https://www.press.bmwgroup.com/global/photo/detail/P90264514/bmw-group-plant-spartanburg:-collaborative-robot-at-the-assembly-line-06/2017?language=en>

- [51] Application Examples. SMART SERIES YASKAWA [online]. Yaskawa America, Inc.- Motoman Robotics Div. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: <https://smart.motoman.com/en-us/applications#details>
- [52] YuMi manufacturing sockets at ABB's plant in the Czech Republic. *Abb.com* [online]. Zurich, Switzerland, Copyright 2020 ABB, 2017-04-24 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://new.abb.com/news/detail/62029/yumi-manufacturing-sockets-at-abbs-plant-in-the-czech-republic>
- [53] Application. Han's robot [online]. Shenzhen: shenzhen han's robot co, copyright ©2017- 2022 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.hansrobot.net/application/>
- [54] CROWE, STEVE. UR10 cobot polishes Paradigm to 50% production increase. In: Collaborative Robotics Trend [online]. The robot report, c2020, JUNE 15, 2020 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.cobottrends.com/ur10-cobot-polishes-paradigm-to-50-production-increase/>
- [55] Pick-it M. In: Pick-it [online]. Pick-it N.V., c2020 [cit. 2020-06-2]. Dostupné z: <https://www.pickit3d.com/product/pick-it-m>
- [56] Mobile robotics KMR iiwa: KUKA. KUKA [online]. Kuka, c2017 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_kmriiwa_en.pdf?rev=cca9122203a64572bd15791550ca08c2
- [57] Robot Option Media Flange. TWiki [online]. c1999-2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: http://www.oir.caltech.edu/twiki_oir/pub/Palomar/ZTF/KUKARoboticArmMaterial/Option_Media_Flange_en.pdf
- [58] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-195-5
- [59] How to Choose Between Electric and Pneumatic Actuators and Grippers. Assembly [online]. BNP Media, ©2020, March 8, 2016 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/93300-how-to-choose-between-electric-and-pneumatic-actuators-and-grippers>
- [60] HESSLER, Walt. Cost-Effective Pneumatic Grippers for Electric Robots. Phd [online]. PHD, 2014 ©, Monday, October 14, 2019 [cit. 2020-12-19]. Dostupné z:

<http://www.phdinc.com/phdblog/post/cost%20effective-pneumatic-grippers-for-electric-robots>

- [61] BOUCHARD, Samuel. Pneumatic robotic grippers vs electric grippers. ROBOTIQ [online]. Robotiq, c 2012, May 05, 2016 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/52673/Pneumatic-robotic-grippers-vs-electric-grippers>
- [62] Produktinformation Kleinteilegreifer MEG 40. In: SCHUNK [online]. SCHUNK GmbH & Co., 2020, 2019-09-16 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0026010.PDF>
- [63] Operating and Programming Instructions for System Integrators: KUKA Sunrise.OS 1.14, KUKA Sunrise.Workbench 1.14. 14.08.2017 (Version: KUKA Sunrise.OS 1.14 SI V1). Germany, KUKA Roboter GmbH., © Copyright 2017.

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1: Výkresová dokumentace

Výkres sestavy: BP_CADKOVA_01

Připojovací příruba: BP_CADKOVA_02

Středící pouzdro: BP_CADKOVA_03

Matice: BP_CADKOVA_04

PŘÍLOHA 2: Skript prezentačního programu robotu

PŘÍLOHA 3: CD médium - 3D modely ve formátu step

- Výkresová dokumentace ve formátu PDF
- Skript prezentačního programu ve formátu TXT
- Video záznam ve formátu AVI