

# **Tvorba výukových materiálů pro robota ABB IRB 14000 YuMi**

Creation of teaching materials for the ABB IRB 14000 YuMi robot

Dominik Harik

---

Bakalářská práce  
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Dominik Harik**  
Osobní číslo: **A19590**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Inteligentní systémy s roboty**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Tvorba výukových materiálů pro robota ABB IRB 14000 YuMi**  
Téma práce anglicky: **Creation of Teaching Materials for the ABB IRB 14000 YuMi Robot**

## Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s konkrétním typem robota, vývojovým prostředím, jeho začleněním v robotické lince a souvisejícím technickým vybavením.
2. Navrhněte několik úloh s různou složitostí, využívající vybavení a možnosti konkrétního robota/pracoviště.
3. Implementujte úlohy do vývojového prostředí robota, včetně 3D modelů rozšiřujících přípravek, v případě, že jste nějaké použili.
4. Provedte testy jak v 3D simulaci ve vývojovém prostředí, tak na reálném robotu.
5. Vytvořte ke každé úloze podrobný a ucelený manuál s názornými vizualizacemi.
6. Ověřte manuály v praxi a vyhodnoťte jejich použitelnost.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0.
2. JAZAR, Reza N. Theory of applied robotics: kinematics, dynamics, and control. 2nd ed. New York: Springer, ©2010. ISBN 1441917497.
3. CATSOULIS, John. Designing embedded hardware. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005. ISBN 9780596007553.
4. Product manual IRB 14000: 0.5/0.5 IRC5. Rev D. Sweden: ABB AB, 2016, 458 s. 3HAC052983-001.
5. Operating manual IRB 14000: RobotWare 6.09. Rev. F. Sweden: ABB AB, 2019, 458 s. 3HAC052986-001.
6. PAGÁČ, Marek. Učebnice SolidWorks. V Brně: Vydavatelství Nová média, [2020]. ISBN 978-80-270-8730-3.

Vedoucí bakalářské práce:

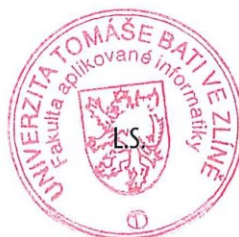
**Ing. Jiří Zátopek**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

**doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. ledna 2022

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Dominik Harik v.r.  
.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce, je vytvořit výukové materiály pro robota ABB IRB 14000 YuMi, který je součástí robotické laboratoře na FAI UTB ve Zlíně. Byly vytvořeny 3 úlohy s různou obtížností, které by měl student pomocí detailně zpracovaného manuálu zvládnout naprogramovat a odzkoušet. Zároveň se student seznámí se základní teorií o robotech a jejich konkrétních částí.

Klíčová slova: robotika, průmyslový robot, kolaborativní robot, programování, YuMi-IRB14000, RobotStudio

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis is focused on creating teaching materials for the ABB IRB 14000 YuMi robot, which is part of the robotics laboratory at FAI UTB in Zlín. Three tasks have been created in various difficulty, which should student manage to make thanks to detailed manuals, which will help the student with programming and testing the tasks. The student is also introduced to the basic theory about robot and their parts.

Keywords: robotics industrial robot, collaborative robot, programming, YuMi-IRB14000, RobotStudio

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Zátopkovi za ochotu, cenné rady a připomínky, které vedly ke zdárnému konci vypracování této práce.

Velké díky však patří i mé rodině, která mě podporovala při mém studiu a poskytla mi zázemí a možnost studovat.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ POJMY</b> .....	<b>10</b>
1.1 ROBOTIKA .....	10
1.2 ROBOT.....	10
<b>2 STAVBA PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ</b> .....	<b>11</b>
2.1 ČLÁNEK .....	11
2.2 KLOUB .....	12
2.3 MANIPULÁTOR .....	13
2.4 ZÁPĚSTÍ.....	14
2.5 KONCOVÝ EFEKTOR .....	14
2.5.1 Typy gripperů.....	15
2.5.1.1 Vakuový gripper .....	15
2.5.1.2 Hydraulický gripper.....	15
2.5.1.3 Pneumatický gripper.....	16
2.5.1.4 Servo-elektrický gripper .....	16
2.5.1.5 Magnetický gripper.....	17
2.6 AKČNÍ ČLEN .....	18
2.6.1 Střídavé motory .....	18
2.6.2 Stejsnosměrné motory .....	18
2.6.3 Servomotory .....	19
2.6.4 Krokové motory .....	19
2.7 PŘEVODOVKY.....	19
2.7.1 Planetová převodovka .....	20
2.7.2 Cykloidní převodovka.....	20
2.7.3 Harmonická převodovka .....	21
2.8 SENZORY .....	22
2.8.1 2D vizuální čidla .....	23
2.8.2 3D vizuální čidla .....	23
2.8.3 Čidla síly/točivého momentu .....	23
2.8.4 Čidla detekce kolizí.....	23
2.9 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM .....	24
<b>3 ROZDĚLENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ</b> .....	<b>25</b>
3.1 ANTROPOMORFNÍ ROBOT .....	25
3.2 KARTÉZSKÝ ROBOT .....	26
3.3 SCARA ROBOT .....	26
3.4 DELTA ROBOT .....	27
3.5 POLÁRNÍ ROBOT .....	28
3.6 CYLINDRICKÝ ROBOT .....	28
<b>4 KOLABORATIVNÍ ROBOT</b> .....	<b>29</b>
<b>5 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ ROBOT A</b> .....	<b>30</b>

5.1	TEACHING METODA .....	30
5.2	HAND GUIDING/LEAD-THROUGH PROGRAMOVÁNÍ .....	30
5.3	OFFLINE PROGRAMOVÁNÍ.....	30
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>YUMI – IRB 14000.....</b>	<b>32</b>
6.1	SPECIFIKACE ROBOTA YUMI.....	32
6.2	KONCOVÝ EFEKTOR (SMART GRIPPER) .....	32
6.3	ROBOTICKÝ SYSTÉM IRB 14000 .....	34
6.4	IRB 14000 KONTROLÉR .....	34
6.5	FLEXPENDANT .....	35
<b>7</b>	<b>ROBOTSTUDIO .....</b>	<b>36</b>
7.1	SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY .....	36
7.2	RAPID.....	38
7.2.1	Funkce použité v manuálech.....	38
<b>8</b>	<b>VYTVOŘENÉ ÚLOHY.....</b>	<b>40</b>
8.1	UCHOP A POLOŽ .....	40
8.1.1	Zadání.....	40
8.1.2	Manuál k úloze Uchop a polož.....	40
8.2	SYNCHRONIZACE POHYBŮ .....	41
8.2.1	Zadání.....	41
8.2.2	Manuál k Synchronizaci pohybů.....	41
8.3	VYUŽITÍ KAMERY NA SMART GRIPPERU.....	42
8.3.1	Zadání.....	42
8.3.2	Manuál k Využití kamery na Smart Gripperu.....	42
8.4	PROVEDENÍ MANUÁLŮ .....	44
<b>9</b>	<b>OVĚŘENÍ MANUÁLU V PRAXI.....</b>	<b>45</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>54</b>



## ÚVOD

V posledních letech se rozrůstá trend robotizace pracoviště. Jedná se převážně o pracoviště, kde lidé vykonávají únavnou a monotónní práci. Zde nastupují roboti, kteří jsou odolnější, přesnější a monotónní práce jim nevadí. Robotizace s sebou ovšem nese řadu výhod, ale i problémů.

První problém, který přichází do úvahy, je bezpečnost lidí při práci s roboty. Robota, je nutné v rámci bezpečnosti vybavit senzory, zavřít ho do klece, která funguje jako bariéra mezi kontaktem s lidským spolupracovníkem. Roboti se časem vyvíjeli a postupně staré stroje nahrazovali inteligentnějšími roboty, jeden z těchto typů robota, byl i kolaborativní robot YuMi.

Robot YuMi, je jeden z prvních bezpečných kolaborativních robotů, který může pracovat bez bariér. Tento typ robota, byl poprvé ukázán v České republice roku 2015 v Brně. Lidé mohou pracovat vedle robota YuMi bok po boku, aniž by ohrožovali své zdraví. Jeho vizualizace je podobná lidským ramenům a jejich pohybu, což způsobuje po psychické stránce člověka, že se při práci vedle daného robota cítí příjemně.

Postupem času, roboti zcela nahradí některá zaměstnání, což vede k dalšímu problému, a to z ohledu nezaměstnanosti. Lidé, kteří budou nahrazeni, si budou muset najít novou práci nebo se zaškolit a kvalifikovat pro nově vzniklé pozice, v rámci práce a programování s roboty. Již nyní, se různé instituce, jako školy či úřady práce, připravují na tento způsob vzdělávání a rekvalifikace.

Kolaborativní roboti, nemusí nutně nahradit člověka na dané pozici, ale mohou mu asistovat u práce. Tímto se kolaborativní roboti dostali do různých odvětví průmyslu, jelikož je jejich bezpečnostní stránka lepší, než u ostatních robotů a našli tak uplatnění tam, kam se kdysi roboti dostat nemohli, protože nebyli bezpeční a kvůli jejich velikosti. Příkladem takového odvětví může být lékařský či farmaceutický průmysl.

Ovládáním takového robota a jednotlivými úlohami s ním, se dále bude zabývat bakalářská práce.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZÁKLADNÍ POJMY

## 1.1 Robotika

Robotika je průnikem mezi vědou, inženýrstvím a technikou. Její hlavní oblastí zaměření, je vývoj inteligentních strojů, nazývané roboti, které mohou asistovat lidem v různých činnostech. V dnešní době jsou průmysloví roboti použiti v repetitivních úlohách člověka. S postupem technologie se také měnil její význam, a co vlastně robotika znamená. V roce 2005 bylo 90 % všech robotů na světě použito na sestavování aut v automobilových firmách. Roboti, kteří jsou na sestavování aut využívány, se skládají z mechanických ramen, které skládají různé díly dohromady. V dnešní době je vidět, jak robotika technologicky pokročila. Roboti se už nevyužívají pouze v průmyslu, ale i ve zdravotnictví a v mnoha jiných oborech. [1, 2]

## 1.2 Robot

Slovo “robot” prvně zaznělo v drama Russumovi univerzální roboti (R.U.R) od autora Karla Čapka. Pojem robot má mnoho definicí po celém světě a jeho definice je upravována pro jednotlivé oblasti, ve kterých je robot využíván. Jako většina věcí, i tento pojem má svou definici napsanou v normě.

Definice v evropské normě ISO 8373: Automatický řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k použití v průmyslových automatických aplikacích. [3]

Průmyslová definice RIA (Robotic Institute of America): Programovatelný multifunkční manipulátor navržený pro pohyb materiálu, dílů, nástrojů nebo speciálních zařízení, pomocí proměnného programovaného pohybu, schopný vykonávat různé úlohy. [4]

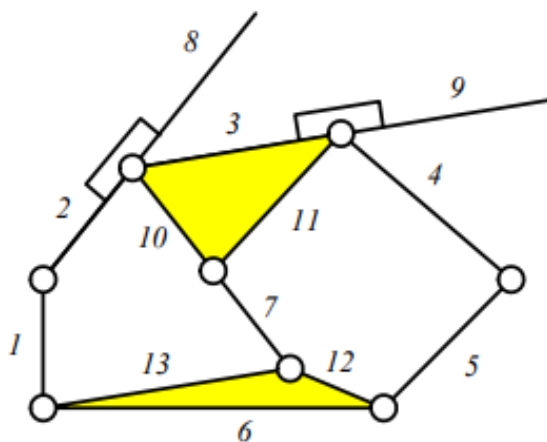
## 2 STAVBA PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Robotické manipulátory jsou kinematically složeny z propojovacích článků, nazývané klouby, které sestaví kinematický řetězec. Robot, jako systém je tvořen mnoha částmi, kterými jsou:

- pojezdové ústrojí
- manipulátory
- zápěstí
- koncové efekty
- akční členy
- snímače
- řídicí systém (kontrolérů, procesorů)
- software

### 2.1 Článek

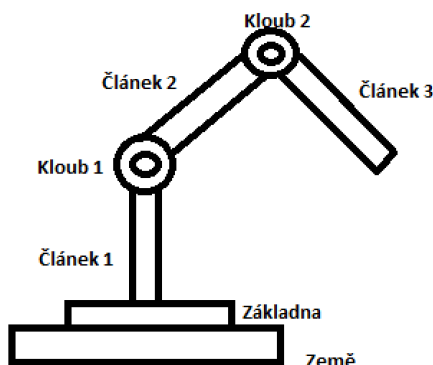
Jsou to samostatná, ideálně tuhá tělesa, která tvoří základ robota. Někdy se v robotice používá pojem rameno namísto článku. Rameno robota nebo jeho článek je tuhý člen, který se může pohybovat vzhledem k ostatním článkům. Z kinematického pohledu, jsou dva a více článků spojených spolu tak, že se nemohou vzájemně pohybovat a jsou tedy považovány za jeden článek. Na obrázku č.1 můžeme vidět, že vzájemný pohyb mezi články 1 a 2 je možný, ale mezi články 3,10 a 11 už není, tudíž se berou jako jeden článek. [5]



Obrázek 1 Kinematický řetězec [5]

## 2.2 Kloub

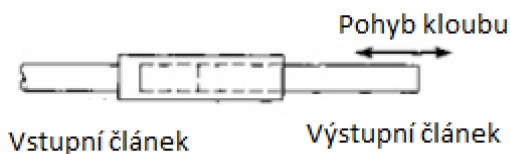
Průmyslový robot obsahuje mechanické propojení dvou článků, nazývané kloub. Tato mechanická část zajišťuje relativní pohyb mezi dvojicí článků. Každý kloub poskytuje určitý stupeň volnosti, ideálně jeden stupeň volnosti pro každý kloub. Většina často používaných robotů má čtyři až šest stupňů volnosti.



Obrázek 2 Klouby a články průmyslového robota

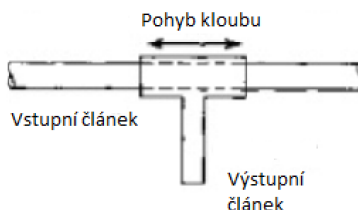
Existuje pět typů robotických kloubů:

1. **Lineární kloub:** Tento kloub je určen pro translační pohyb mezi vstupním a výstupním článkem. Osy těchto článků jsou na sebe paralelní.



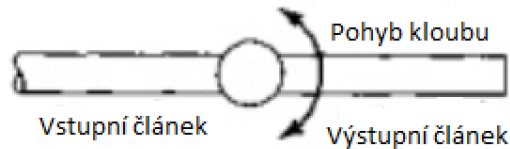
Obrázek 3 Lineární kloub [6]

2. **Ortogonální kloub:** Tento kloub je také určen pro translační pohyb mezi vstupním a výstupním článkem. Vstupní a výstupní článek je od sebe posunutý o pravý úhel při každém pohybu.



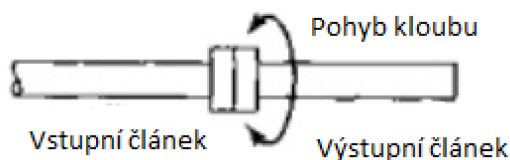
Obrázek 4 Ortogonální kloub [6]

3. **Rotační kloub:** Tento kloub je určen pro rotační pohyb ze vstupního článku na výstupní článek. Tento typ kloubu umožňuje pohyb v rotačním pohybu podél osy. Osa rotace je v pravém úhlu k osám vstupního a výstupního článku.



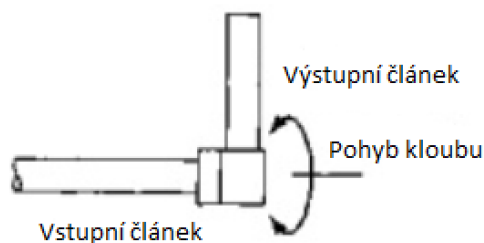
Obrázek 5 Rotační kloub [6]

4. **Točivý kloub:** Tento kloub také zahrnuje rotační pohyb, ale osa nebo rotace je paralelní s osami vstupního a výstupního článku.



Obrázek 6 Točivý kloub [6]

5. **Otáčivý kloub:** V tomto typu kloubu je osa vstupního článku paralelní s osou otáčení kloubu a osa výstupního článku je kolmá na osu otáčení.



Obrázek 7 Otáčivý kloub [6]

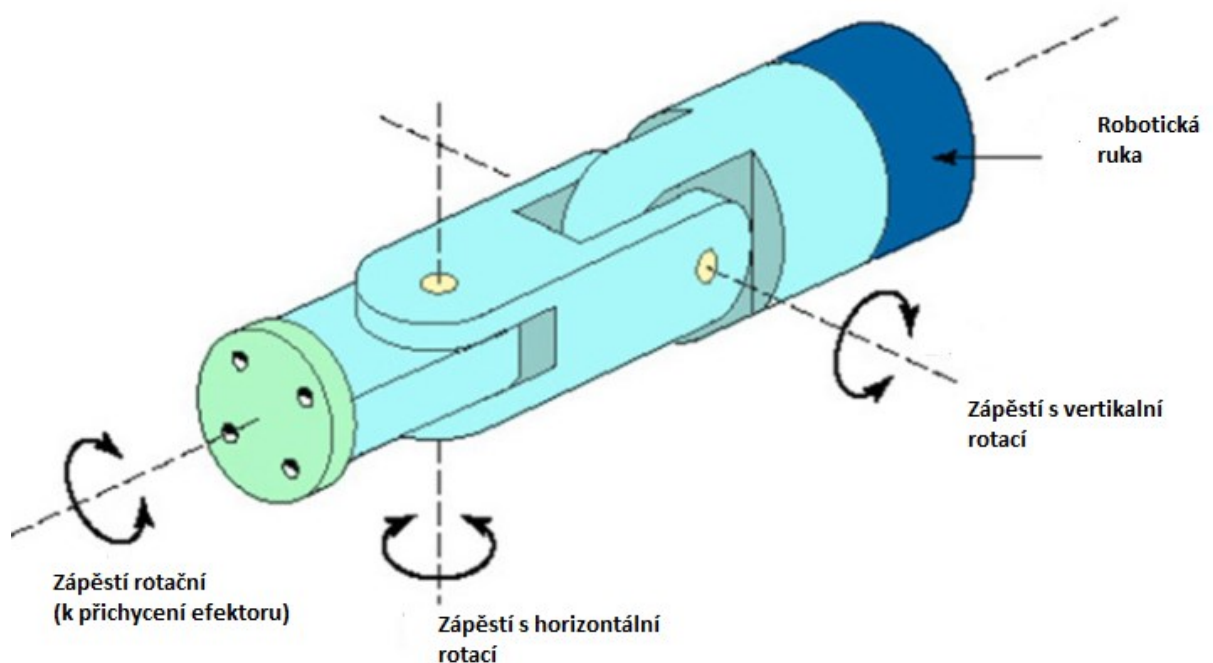
Každý z těchto typů kloubů má rozsah, ve kterém se může pohybovat. Rozsah pro translační kloub je obvykle menší než metr. Zbylé tři rotační klouby mohou mít rozsah tak malý, jako několik stupňů otočení nebo tak velký, jako několik úplných otočení. [6]

## 2.3 Manipulátor

Hlavní tělo robota, sestávající z článků, kloubů a dalších konstrukčních prvků, se nazývá manipulátor. Manipulátor se stává robotem, když je připojeno zápěstí s efektořem a je implementován řídicí systém. V literatuře jsou však roboti a manipulátory využíváni rovnocenně a oba odkazují na roboty.[5]

## 2.4 Zápěstí

Klouby v kinematickém řetězci robota, mezi předloktím a koncovým efektem, se nazývají zápěstí. Robotický zápěstní mechanismus je velkou součástí manipulátoru a pracuje na orientaci koncového efektoru pro různé aplikace. Tento mechanismus se skládá z ramene, které se otáčí kolem osy a vyznačuje se klouby, které mu umožňují různé pohyby v různých směrech. Zápěstí je při používání vystaveno různým druhům pracovních prostředí, které je během používání vystaveno různým vibracím. Tyto vibrace mohou negativně ovlivnit zápěstí robota a jeho funkci.[7]



Obrázek 8 Konfigurace zápěstí [8]

## 2.5 Koncový efektor

V robotice je koncový efektor zařízení nebo nástroj, který je napojen na konec robotického ramene. Koncový efektor je část robota, která reaguje s prostředím. Struktura koncového efektoru, program a hardware, který koncový efektor pohání, závisí na úkolu, který bude robot vykonávat. Pokud něco robot potřebuje zvednout, nejpraktičtější koncovým efektem je typ robotické ruky, zvaný gripper (chapadlo). Pokud ovšem robot potřebuje mít schopnost utáhnout šrouby, pak musí být vybaven koncovým efektem, který se může otáčet. [9]

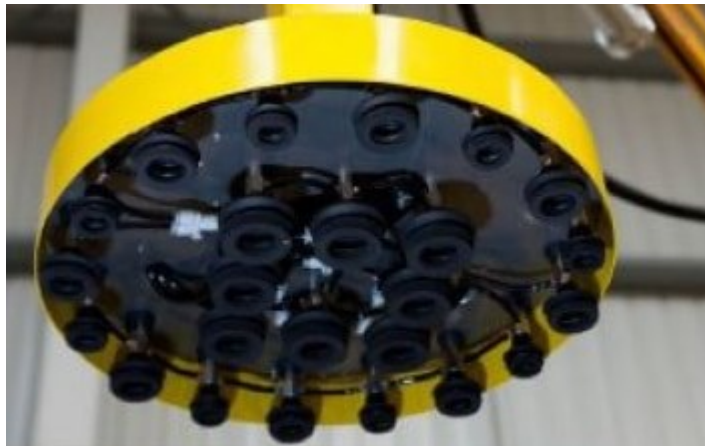
### 2.5.1 Typy gripperů

Konec robotické paže musí být v kontaktu s objekty a interagovat s nimi, což vede k přizpůsobení vůči těmto objektům a průmyslovým činnostem a vzniku různých druhů gripperů. Existují čtyři hlavní typy robotických gripperů:

- vakuový gripper,
- hydraulický gripper
- pneumatický gripper
- servo-elektrický gripper

#### 2.5.1.1 Vakuový gripper

Vakuový gripper je standardním nástrojem robotů ve výrobě, jelikož mají vysokou úroveň flexibility. Nástroj je vyroben z polyuretanu nebo pryžové přísavky pro zachycení předmětů. Existují i vakuové grippery, které místo přísavek používají pěnovou pryžovou vrstvu s uzavřenými buňkami.



Obrázek 9 Vakuový gripper [10]

#### 2.5.1.2 Hydraulický gripper

Hydraulické grippery jsou ty, které mohou použít největší sílu a často se aplikují v úkonech, které vyžadují obrovské množství síly. Síla je poskytována z čerpadel, která mohou generovat až 13789,51 kPa. Ačkoli jsou silné, jsou kvůli oleji, který čerpadla používají, špinavější než jakýkoli jiný gripper. Také potřebují více údržby kvůli obrovskému množství síly, kterou mohou použít.





Obrázek 10 Hydraulický gripper [10]

### 2.5.1.3 Pneumatický gripper

Pneumatické gripperky jsou oblíbené především díky své nízké hmotnosti a kompaktním rozměrům. Mohou být navrženy pro stísněné prostory, což může být užitečné ve zpracovatelském průmyslu. Tento druh gripperu může být otevřený a zavřený.



Obrázek 11 Pneumatický gripper [10]

### 2.5.1.4 Servo-elektrický gripper

Servo-elektrické gripperky se stále více používají v průmyslu vzhledem k jejich snadnému ovládní. Pohyby čelistí gripperu jsou řízeny elektronickými motory. Tyto gripperky jsou vysoce flexibilní a vhodné pro manipulaci s různými tolerancemi materiálu. Také jsou nákladově efektivní, protože nemají vzduchové potrubí a jsou čisté.



Obrázek 12 Servo-elektrický gripper [10]

### 2.5.1.5 Magnetický gripper

Magnetické grippery mohou být konfigurovány permanentními magnety nebo elektromagnety. Permanentní magnety nepotřebují externí zdroj napájení pro uchopení, jakmile je předmět uchopen, existuje zařízení nazývané “stripper push”, který odděluje předmět od gripperu. Jestliže je gripper konfigurován elektromagnety, je nutné jej ovládat pomocí kontroléru a stejnosměrného napětí, načež robot může zvedat magnetické objekty.[10]



Obrázek 13 Magnetický gripper [10]

## 2.6 Akční člen

Jednou z nejdůležitějších částí robota je akční člen. Akční člen je zařízení, které přeměňuje energii na fyzický pohyb a velká většina akčních členů vytváří rotační nebo translační pohyb.

Translační pohony jsou definovány silou a rotační pohony jsou definovány točivým momentem. Existuje mnoho typů pohonů, avšak mezi tři nejčastější patří hydraulické, pneumatické a elektrické. Hydraulické pohony používají k vyvolání pohybu stlačený olej. Nejčastěji jsou využívány v těžkých strojích a mohou generovat velmi vysokou sílu. Pneumatické pohony jsou velmi podobné hydraulickým pohonům. Místo stlačeného oleje k vyvolání pohybu využívají stlačený vzduch. Nejvíce jsou používány elektrické pohony, které využívají elektrický proud a magnety. [11]

### 2.6.1 Střídavé motory

Střídavé motory lze dále dělit na asynchronní a synchronní typy. Například indukční střídavý motor je jednotka asynchronního typu, která se v podstatě skládá ze statoru navinutého drátem a rotoru. Napájení je připojeno k drátu a střídavý proud, který jím protéká, indukuje elektromagnetické pole v navinutém drátu s dostatečně silným polem, které zajišťuje sílu pro pohyb rotoru. Synchronní motory jsou motory s konstantními otáčkami, které pracují v synchronizaci s frekvencí střídavých vedení a běžně se používají tam, kde je vyžadována přesná konstantní rychlost.

### 2.6.2 Stejsnosměrné motory

Mnoho průmyslových aplikací, včetně robotiky, využívá stejnosměrné motory kvůli snadnému ovládní rychlosti a směru. Jsou schopny nekonečného rozsahu otáček, od plné rychlosti až po nulu, se širokým rozsahem zatížení.

Protože se stejnosměrné motory vyznačují vysokým poměrem točivého momentu k setrvačnosti, dokážou rychle reagovat na změny řídicích signálů. Stejnosměrný motor lze plynule ovládat do nulového pohybu a okamžitě zrychlit v opačném směru, bez nutnosti složitých obvodů pro přepínání proudu.

Bez komutátoru mohou bezkartáčové motory pracovat efektivněji a při vyšších rychlostech než běžné stejnosměrné motory. Většina bezkartáčových stejnosměrných motorů běží na lichoběžníkové střídavé vlně, ale některé motory pracují se sinusovými

vlnami. Bezkartáčové motory poháněné sinusovými vlnami mohou dosáhnout hladkého chodu nižších otáček při nízkém točivém momentu zvlnění, takže jsou ideální pro broušení, potahování a další aplikace, jako je povrchová úprava.

Pokud chceme, v případě kartáčových stejnosměrných motorů, aby se motor otáčel pomaleji bez ztráty výkonu, je nutné použít pulzní šířkovou modulaci (PWM). To v podstatě znamená velmi rychle zapínat a vypínat motor. Takto se motor otáčí s nižšími otáčkami, jako by se použilo nižší napětí.

Točivý moment generovaný kartáčovým stejnosměrným motorem, je příliš malý a otáčky příliš velké na to, aby byly užitečné. K redukci rychlostních stupňů se obvykle používají převodovky, které sníží otáčky a zvýší točivý moment.

### 2.6.3 Servomotory

Servomotory se používají v systémech s uzavřenou smyčkou s digitálním kontrolerem. Kontroler posílá příkazy rychlosti do zesilovacího ovladače, který následně napájí servomotor. Nějaká forma zpětnovazebního zařízení, například resolver nebo enkodér, poskytuje informace o poloze a rychlosti servomotoru. Resolver nebo enkodér může být integrován s motorem nebo umístěn na dálku. Díky systému uzavřené smyčky, může servomotor pracovat se specifickým profilem pohybu, který je naprogramován do ovladače.

### 2.6.4 Krokové motory

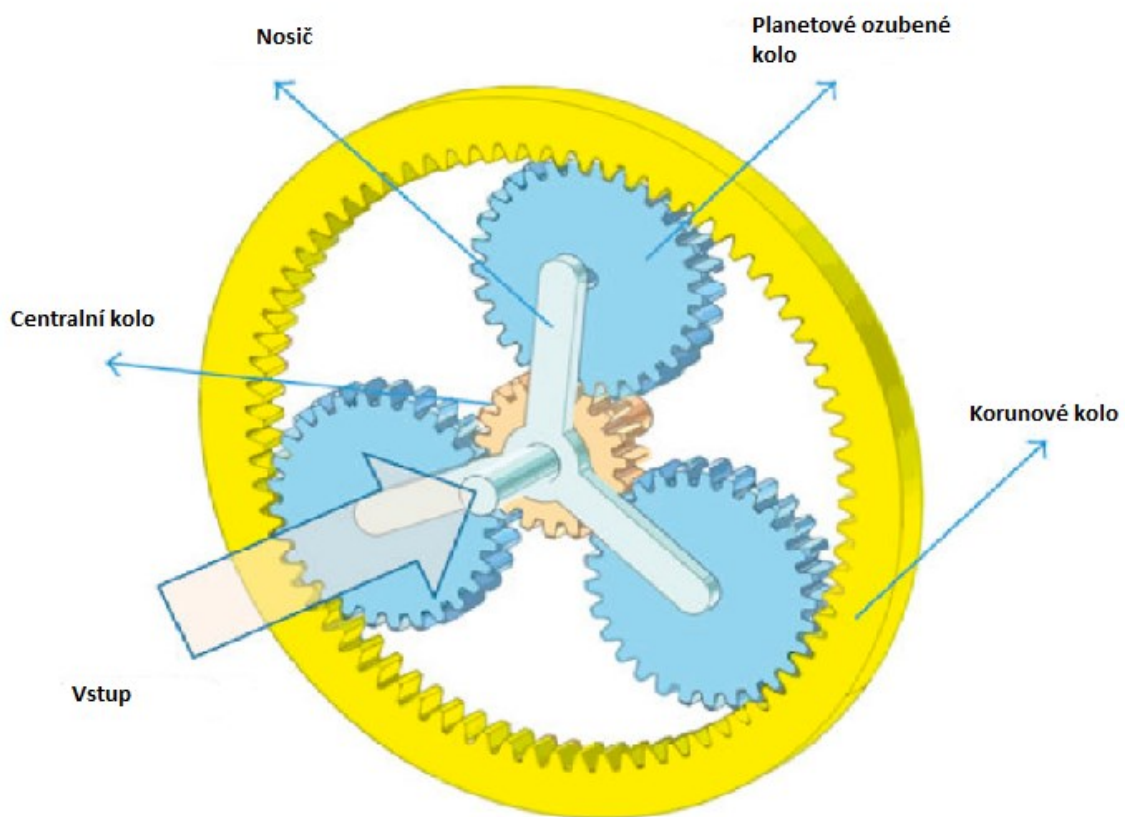
Krokové motory mohou pracovat se zpětnou vazbou nebo bez ní, přičemž je rotace motoru rozdělena do malých úhlových kroků. Ovládá se pomocí pulzních signálů a dokáže se přesně zastavit na zadaném místě, aniž by potřeboval brzdy. Když je energie odstraněna, krokový motor s permanentním magnetem zůstává zpravidla v poslední pozici. Vícetupňové krokové motory lze udržovat v synchronizaci tím, že je řídíme ze společného zdroje. [12]

## 2.7 Převodovky

Převodovka je mechanické zařízení používané ke zvýšení výstupního točivého momentu nebo ke změně otáček (RPM) motoru. Hřídel motoru je připojena k jednomu konci převodovky a prostřednictvím vnitřní konfigurace ozubených kol převodovky poskytuje daný výstupní točivý moment a otáčky určené převodovým poměrem. [13]

### 2.7.1 Planetová převodovka

Planetární převodová souprava se skládá ze tří typů ozubených kol: centrální kolo, planetových ozubených kol a korunového kola. Centrální kolo je uloženo ve středu a přenáší točivý moment na planetová ozubená kola, které jsou typicky namontovány na pohyblivém nosiči. Planetové kola obíhají kolem centrálního kola a zabírají s vnitřním ozubením korunového kola. Planetové převodové systémy se mohou v závislosti na aplikaci lišit složitostí od velmi jednoduchých až po složité složené systémy. [14] Nejmenší převodový poměr je 3:1 a největší je 10:1. [15]



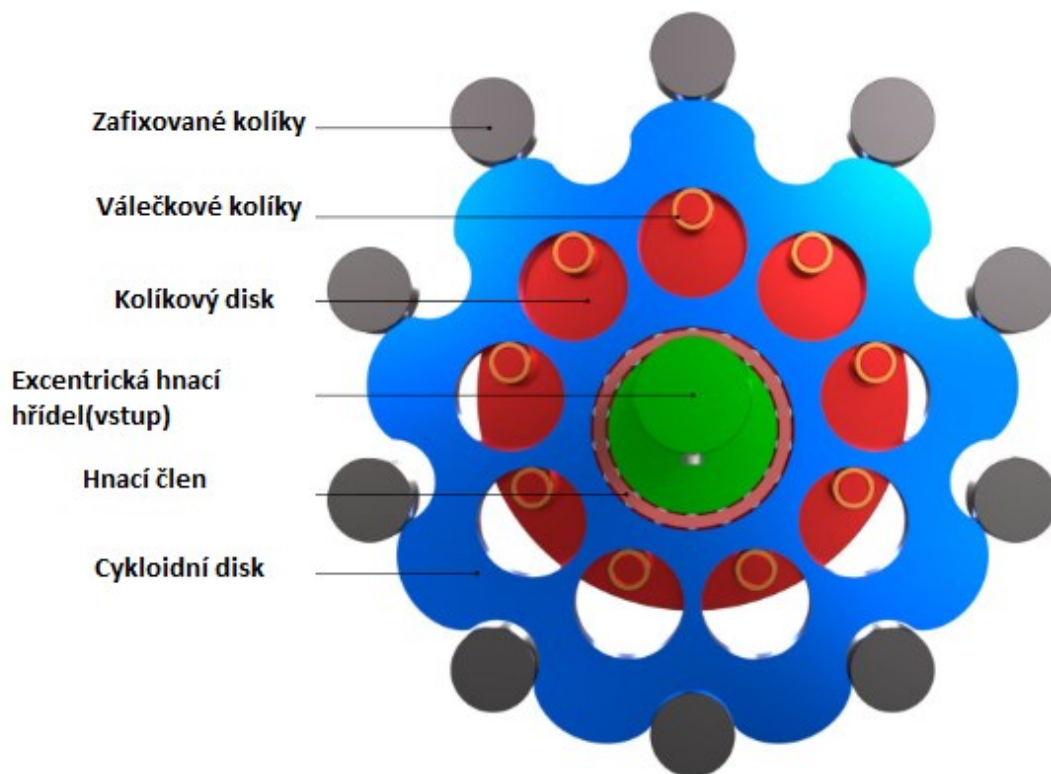
Obrázek 14 Planetová převodovka [16]

### 2.7.2 Cykloidní převodovka

Cykloidní převodovka využívá principy cykloidních převodů k zajištění vysokých převodových poměrů (často 100:1 nebo vyšších). Existují různé konstrukce cykloidní převodovky, ale základní princip spočívá ve vstupní hřídeli, která je excentricky namontována na hnací člen, který excentrickým pohybem pohání cykloidní disk. Jak se disk otáčí, laloky cykloidního disku působí jako zuby a zabírají s kolíky na stacionárním

korunovém kole. Cykloidní disk má také válečky, které vyčnívají skrz disk, a tyto kolíky se připevňují k výstupnímu disku, který přenáší pohyb do výstupní hřídele.

Počet laloků (zubů) na cykloidním disku je nižší, než počet kolíků (zubů) na kroužkovém převodu, který zajišťuje snížení otáček a násobení točivého momentu. Aby se zabránilo „kolísání“ výstupní hřídele, jsou válečky připojené k výstupnímu kotouči namontovány do otvorů o něco větších, než je průměr kolíku. Jeden cykloidní disk zažívá nevyvážené síly, které lze kompenzovat použitím druhého cykloidního disku, posunutého od prvního o 180 stupňů. [17]



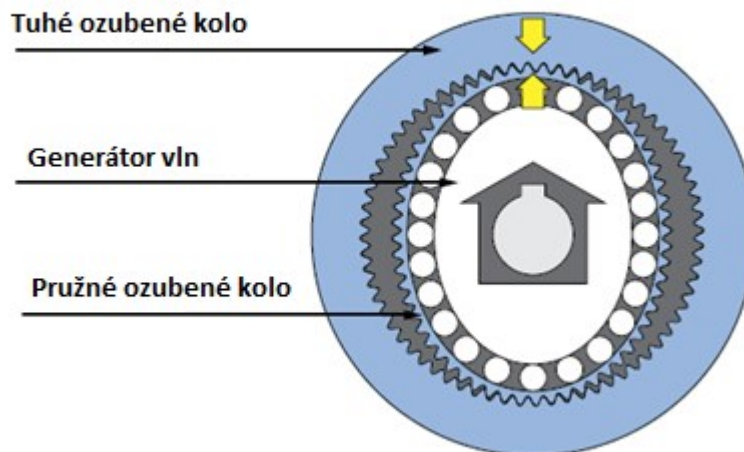
Obrázek 15 Cykloidní převodovka [18]

### 2.7.3 Harmonická převodovka

Tento převodový mechanismus se skládá ze tří částí: generátor vln, pružné ozubené kolo, tuhé ozubené kolo.

Pružné ozubené kolo má o něco menší průměr a o dva zuby méně než tuhé ozubené kolo. Eliptický tvar generátoru vln způsobí, že zuby pružného ozubeného kola zabírají se zuby tuhého ozubeného kola ve dvou protilehlých oblastech napříč hlavní osou elipsy. Na každé otočení vlnového generátoru o 180 stupňů ve směru hodinových ručiček jsou zuby pružného ozubeného kola, ve vztahu k tuhému ozubenému kolu, posunuty proti směru

hodinových ručiček o jeden zub. Každá úplná rotace vlnového generátoru ve směru hodinových ručiček vede k tomu, že se pružné ozubené kolo pohybuje proti směru hodinových ručiček o dva zuby ze své původní polohy vzhledem k tuhému ozubenému kolu. [19]



Obrázek 16 Harmonická převodovka [19]

## 2.8 Senzory

Technologie senzorů je jednou ze základních technologií pro průmyslové roboty, která umožňuje robotům zvolit cestu, vnímat změny prostředí a dělat správná rozhodnutí ve složitých situacích, stejně jako lidé. Zejména v oblasti průmyslové automatizace potřebují roboti senzory, které poskytují potřebné informace, aby mohli správně provádět související složité operace.

Mezi nejčastěji používané senzory pro průmyslové roboty patří:

- 2D vizuální čidla
- 3D vizuální čidla
- čidla síly/točivého momentu
- čidla detekce kolizí

### 2.8.1 2D vizuální čidla

Pro 2D vizuální vidění je použita kamera, která může provádět různé úkony od detekce pohybujících se objektů, až po lokalizaci částí na pásovém dopravníku. Mnoho chytrých kamer umí detekovat objekty a může pomoci robotovi určit polohu daného objektu a robot následně nastaví svůj pohyb na základě přijatých informací.

### 2.8.2 3D vizuální čidla

System 3D vidění musí mít dvě kamery nebo laserové skenery v různých úhlech pro detekci třetího rozměru objektu. Například při uchopení a umístování dílů, je třeba používat 3D vidění pro detekci objektů a vytváření 3D obrázků a následné analýzy pro výběr nejlepší metody uchopení.

### 2.8.3 Čidla síly/točivého momentu

Pokud vizuální senzor poskytuje robotovi oči, pak senzor síly nebo točivého momentu dodává pocit doteku. Robot používá senzory síly a točivého momentu k detekci síly na koncovém efektoru. Ve většině případů je snímač síly a točivého momentu umístěn mezi robotem a upínacím zařízením, takže všechny síly napájené zpět do upínacího zařízení jsou robotem monitorovány. S čidly síly a točivého momentu lze realizovat aplikace jako montáž, manuální navádění, učení a omezení síly.

### 2.8.4 Čidla detekce kolizí

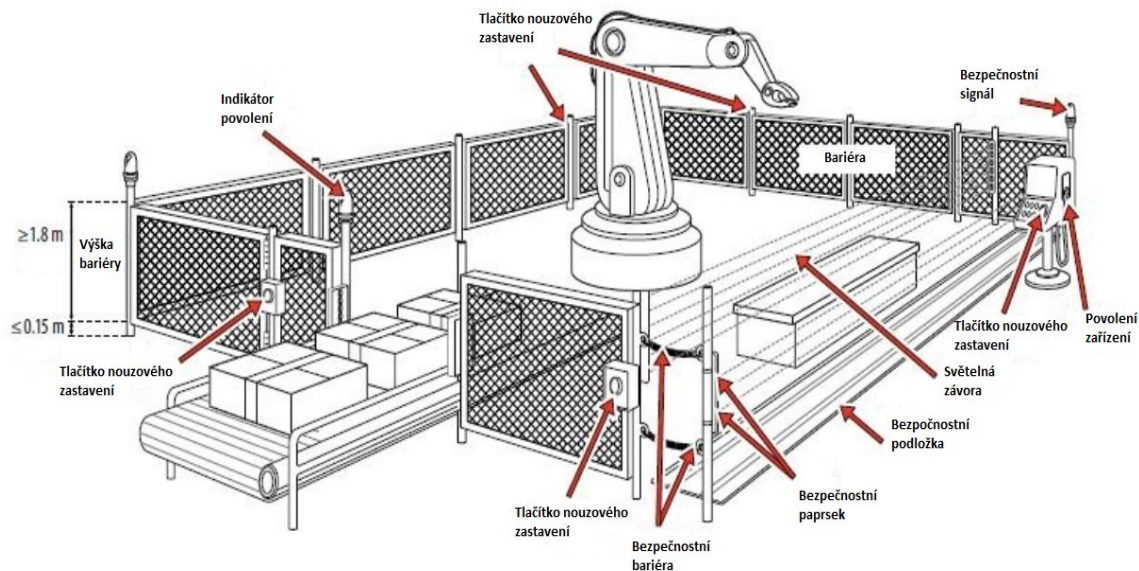
Tento senzor je dodáván v různých formách a jeho hlavní aplikací je zajištění bezpečného pracovního prostředí pro operátory. Nejvíce je využívají kolaborativní roboti.

Některé senzory mohou být hmatovým rozpoznávacím systémem, který snímá tlak přes měkký povrch a posílá signál robotovi, aby omezil nebo zastavil jeho pohyb. Některé senzory jsou zabudovány přímo do robota. Když robot vycítí abnormální sílu, spustí nouzové zastavení, aby zajistil bezpečnost.

Aby průmysloví roboti mohli spolupracovat s lidmi, je nutno dosáhnout určité bezpečnosti. Toho se dosáhne pomocí využití těchto čidel, které mají různé formy od kamer až po lasery a mnoho dalších. Účelem je sdělit robotovi prostředí kolem něj. Některé bezpečnostní systémy mohou být nastaveny tak, že když se někdo nebo něco objeví v určité oblasti/prostoru, robot automaticky zpomalí, a pokud se osoba bude nadále přibližovat, robot přestane pracovat.



Nejjednodušším příkladem je laserový bezpečnostní senzor na dveřích výtahu. Když laser zjistí překážku, dveře výtahu se okamžitě zastaví a ustoupí, aby se zabránilo kolizi. [20]



Obrázek 17 Efektivní bezpečnostní systém pro průmyslového robota [21]

## 2.9 Řídicí systém

Kontrolér nebo kontrolní jednotka má tři základní role:

1. **Informační role**, která spočívá ve sbírání a zpracování informací, které zajišťují senzory robota.
2. **Rozhodovací role**, která spočívá v plánování geometrického pohybu struktury robota.
3. **Komunikační role**, která spočívá v organizování informace mezi robotem a jeho prostředím. Kontrolní jednotka obsahuje procesor a software. [5]

### 3 ROZDĚLENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Na základě mechanické konfigurace lze průmyslové roboty zařadit do šesti hlavních typů:

- antropomorfní robot
- kartézský robot
- SCARA robot
- delta robot
- polární robot
- cylindrický robot

#### 3.1 Antropomorfní robot

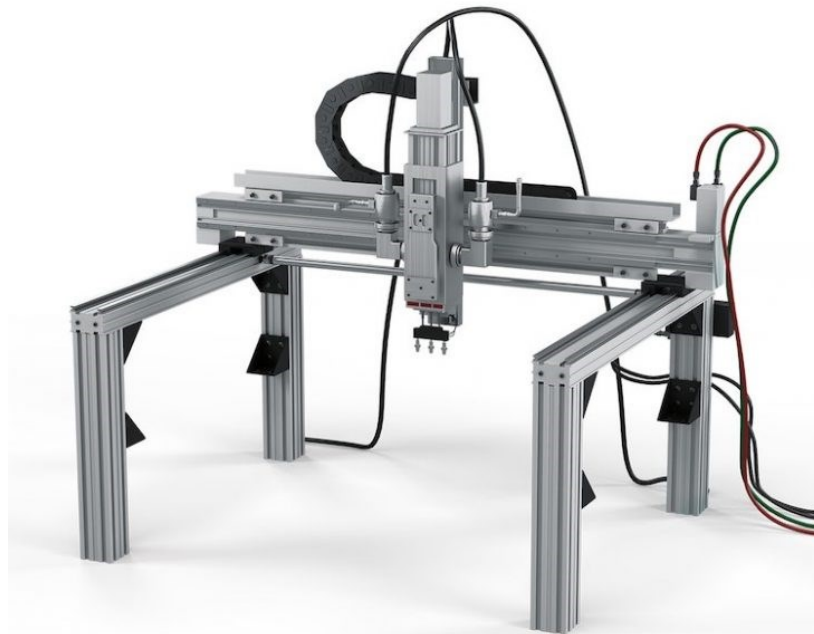
Antropomorfní robot je jedním z nejběžnějších typů průmyslových robotů. Ve své mechanické konfiguraci připomíná lidskou paži. Rameno je spojeno se základnou s točivým kloubem. Počet rotačních kloubů spojujících články v rameni se může pohybovat od dvou kloubů až po deset kloubů a každý kloub poskytuje další stupeň volnosti. Spoje mohou být k sobě rovnoběžné nebo ortogonální. Antropomorfní roboti se šesti stupni volnosti jsou nejčastěji používanými průmyslovými roboty, protože konstrukce nabízí maximální flexibilitu. [22]



Obrázek 18 Šestiosý antropomorfní robot [23]

### 3.2 Kartézský robot

Jsou to stroje, které pracují na kartézských souřadnicových systémech X-Y-Z. 3D tiskárny, laserové řezačky a CNC stroje jsou příklad zařízení, která používají stejný princip jako kartézští roboti. Co tyto roboty odlišuje od ostatních, je jejich konstrukce. Kartézští roboti jsou hranatí, otevření a jejich primární směrový pohyb X-Y je regulován shora obdélníkovým portálem. Olověný šroub nebo jiný lineární pohon řídí pohyb ve svislém směru, tj. směr souřadnice Z. Všichni kartézští roboti mají tuto obdélníkovou konfiguraci a v důsledku toho se někdy nazývají obdélníkoví nebo portáloví roboti. [24]



Obrázek 19 Kartézský robot [25]

### 3.3 SCARA robot

Roboti SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) jsou podobní kartézským robotům tím, že se pohybují ve 3 kloubech nebo osách. Na rozdíl od kartézských robotů jsou však dva klouby robotů SCARA rotační. Jsou tedy schopni složitějších pohybů než kartézští roboti. Jsou obecně rychlejší a mají větší flexibilitu v pohybu, ale jsou méně přesné než kartézští roboti. [26]



Obrázek 20 SCARA robot [27]

### 3.4 Delta robot

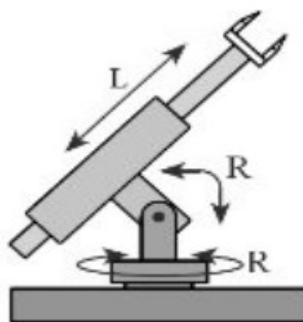
Delta roboti neboli paralelní roboti, mají tři ramena spojená s jednou základnou, která je umístěna nad pracovní plochou. Delta roboti mají pracovní prostor ve tvaru kopule a mohou se pohybovat jemně a přesně vysokou rychlostí díky tomu, že každý kloub koncového efektoru je přímo ovládán všemi rameny. Delta roboti jsou často používáni pro rychlé vybírání a umístování aplikací v potravinářském, farmaceutickém a elektronickém průmyslu. [28]



Obrázek 21 Delta robot [29]

### 3.5 Polární robot

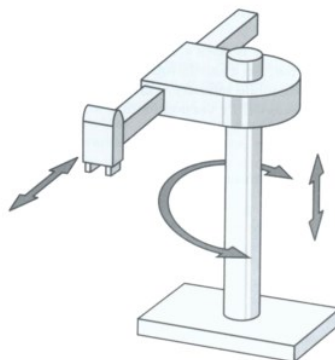
Polární roboti neboli sférickí roboti mají rameno se dvěma rotačními klouby a jedním lineárním kloubem. Osy robota spolupracují a vytvářejí polární souřadnice, což robotovi umožňuje mít kulovou pracovní oblast. Polární roboti jsou připisováni jako jeden z prvních typů průmyslových robotů, kteří kdy byli vyvinuti. Polární roboti se běžně používají pro vstřikování, svařování a manipulaci s materiálem. [28]



Obrázek 22 Polární robot [30]

### 3.6 Cylindrický robot

Cylindrický nebo také válcovitý robot je velmi prostý a podobný kartézským robotům ve své ose pohybu. Většina cylindrických robotů je vyrobena ze dvou pohyblivých prvků: rotačního a lineárního pohonu. Protože mají válcový pracovní prostor, konstruktéři je vybírají z důvodu úspornosti prostoru. Robot může být umístěn doprostřed pracovního prostoru a vzhledem ke svému rotačnímu prvku může pracovat kdekoli kolem něj. Jednoduché aplikace, kde se materiál nabírá, otáčí a pak umísťuje, fungují nejlépe pro cylindrické roboty. [31]



Obrázek 23 Cylindrický robot [28]

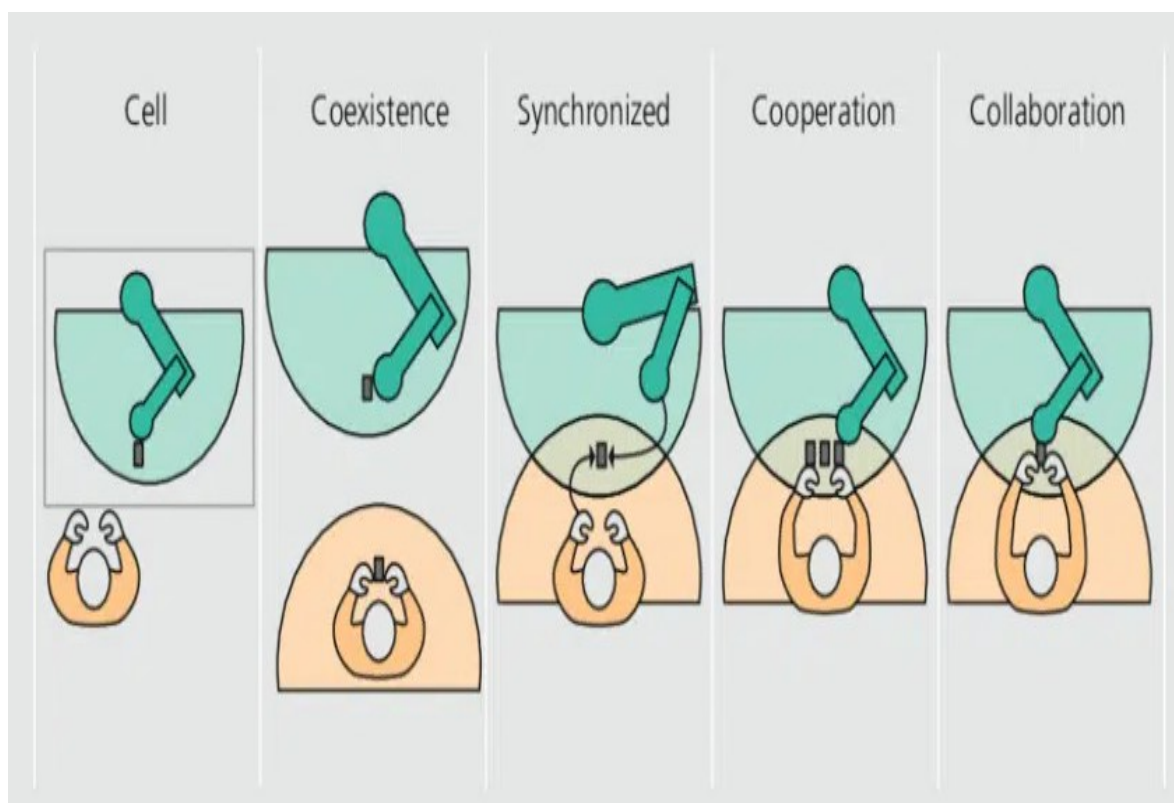
## 4 KOLABORATIVNÍ ROBOT

Kolaborativní robot je robot, který je schopen učit se více úkolů, aby mohl pomáhat lidem. Naproti tomu autonomní roboti jsou pevně zakódováni, aby opakovaně plnili jeden úkol, pracovali nezávisle a zůstali nehybní.

Pokrok v oblasti mobilních technologií, strojového vidění a dotykových technologií dnes umožňuje malým robotům s nižší spotřebou si uvědomovat své okolí a provádět více druhů úkonů bezpečně v těsné blízkosti lidských pracovníků.

Většina průmyslových robotů je stále nezávislá. Jsou drahé, velké a z bezpečnostních důvodů se nacházejí za překážkami. Přestože průmysloví roboti hrají důležitou roli v automobilovém průmyslu a jeho dodavateli, jejich vysoké náklady, velké rozměry, hmotnost a složité programovací požadavky omezili jejich použití v jiných vertikálních odvětvích.

Dnes se kolaborativní roboti používají v několika vertikálních odvětvích, včetně výroby, řízení dodavatelského řetězce a zdravotní péče. Obecně mají nižší energetické požadavky než jejich velké, autonomní protějšky, jsou často mobilní a používají detekci kolizí, aby zabránili zranění svých lidských kolegů a dalších kolaborativních robotů. [32]



Obrázek 24 Úrovně pracování robota s člověkem [33]

## 5 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ ROBOTA

Programování robotů se z velké části posunulo od nízké úrovně kódování k intuitivnějším metodám. Tento krok byl částečně podpořen snahou usnadnit programování robotů provozovatelům. Operátoři robotů nejsou vždy výrobci robotů a výrobci robotů nejsou vždy těmi nejlepšími lidmi pro naprogramování konkrétního úkolu. [34]

### 5.1 Teaching metoda

Tato metoda spočívá v použití teach pendantu, který robota provede řadou bodů a uloží je do paměti. Proces navádění a zaznamenávání těchto bodů nebo souřadnic v prostoru se nazývá “teaching” (učení) v robotice.

Většina moderních industriálních robotů na dnešním trhu přichází s teach pendantem, který umožňuje lidem vést robota a naprogramovat jej tak, aby vykonával sadu funkcí podle potřeby. Moderní teach pendanty jsou jen aplikace načtené do speciálního tabletu. Je to nejintuitivnější a nejpreferovanější způsob programování a přeprogramování průmyslových robotů.

### 5.2 Hand guiding/Lead-through programování

Hand guiding nebo lead-through programování zahrnuje fyzické posouvání ramene robota po řadě bodů a os, aby se “naučilo”, jak vykonávat požadovanou funkci. Po zaznamenání instrukcí do paměti robota bude robot následně vykonávat stejnou cestu sám od sebe.

Hand guiding je preferováno zejména u menších moderních kolaborativních robotů, kteří jsou navrženi tak, aby pracovali po boku lidských operátorů. Tyto roboty lze naučit provádět velmi složité úkoly jako je malování, třídění předmětů atd.

### 5.3 Offline programování

Jak již název napovídá, tato robotická programovací metoda zahrnuje psaní instrukcí na samostatný systém a použití virtuálních modelů průmyslového robota pro testování. Poté, co jsou instrukce napsány a otestovány, jsou nahrány do paměti robota. Tato metoda je preferována tam, kde je třeba před nasazením v reálném životě napsat a otestovat spoustu instrukcí. [35]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 6 YUMI – IRB 14000

V roce 2015 firma ABB představila robota YuMi, prvního skutečně kolaborativního robota na světě. YuMi předznamenal novou éru, kdy lidé a roboti pracovali bezpečně a produktivně vedle sebe bez bariér. [36]

YuMi je kolaborativní dvouramenný robot pro montáž malých dílů, která zahrnuje flexibilní ruce, lokalizaci částí na bázi kamery. Dokáže spolupracovat bok po boku s lidmi v normálním výrobním prostředí, které firmám umožňuje dostat z lidí i robotů to nejlepší. Jedním z jedinečných rysů robota YuMi je jeho bezpečnostní rating, což znamená, že může pracovat po boku lidí, aniž by představoval jakékoli riziko pro jejich bezpečnost.

### Cílený průmysl:

- sestavování malých částí
- spotřebitelské produkty
- hračkářský průmysl
- hodinový průmysl
- elektronický průmysl

### 6.1 Specifikace robota YuMi

- zatížení: 0.5 kg na rameno
- dosah: 559 mm
- přesnost 0.02 mm
- váha 38 kg
- ochrana IP: IP 30

Z těchto specifikací lze vyčíst, že je robot doslova navržen kolem aplikací elektronické montáže. Robot je velmi přesný a má malé zatížení, to znamená, že byl navržen tak, aby odebíral malé součástky a umísťoval je na přesné místo. [37]

### 6.2 Koncový efektor (Smart Gripper)

Robota YuMi lze vybavit koncovým efektem, také známý jako Smart Gripper. Variant těchto gripperů je několik, kde základní je pouze servo modul s úchopovými prsty. Další varianty jsou doplněné o tlakové přísavky a kameru. Možné varianty jsou ukázané na obrázku č. 25.

Tabulka 1 Kombinace Smart Gripperů a jejich parametry [38]

Combination	Weight (g) without fingers, suction cup(s), and filter(s) <sup>i</sup>	Weight (g) of the whole gripper	Max. load capacity (g) without fingers, suction cup(s), and filter(s) <sup>ii</sup>	Max. load capacity (g) of the whole gripper <sup>ii</sup>
Servo	215	230	285	270
Servo + Vacuum 1	225.5	248	274.5	252
Servo + Vacuum 1 + Vacuum 2	250	280	250	220
Servo + Vision	229	244	271	256
Servo + Vision + Vacuum 1	239.5	262	260.5	238



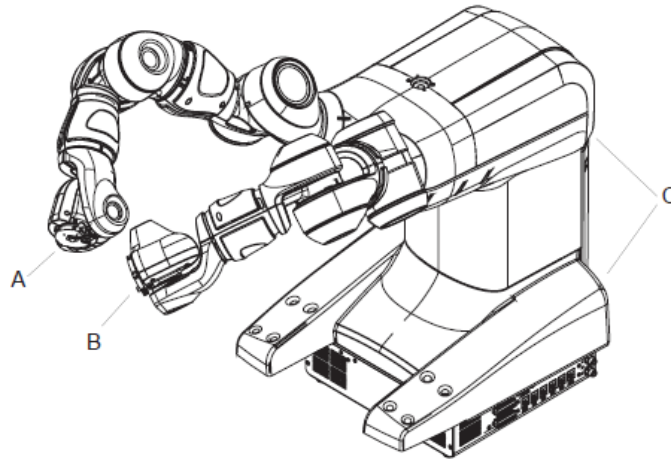
Obrázek 25 Varianty Smart Gripperu [43]



Obrázek 26 YuMi-IRB 14000 [39]

### 6.3 Robotický systém IRB 14000

Robot IRB 14000 je dvouruký průmyslový robot s integrovaným kontrolérem. Každé rameno má sedm os, což v porovnání s tradičními šestiosými roboty poskytuje mimořádný další stupeň volnosti. V tabulce č. 1 jsou vypsané všechny osy a jejich natočení.



A	Pravé rameno
B	Levé rameno
C	Integrovaný kontrolér

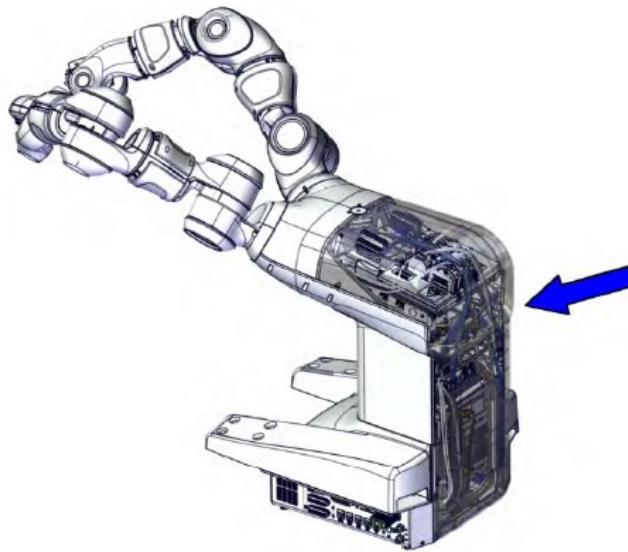
Obrázek 27 IRB14000 [40]

Tabulka 2 Možnost natočení všech os [41]

Osy	Typy pohybu	Stupně pohybu
Osa 1	rameno-rotační pohyb	od -168.5° do +168.5°
Osa 2	rameno-ohybový pohyb	od -143.5° do +43.5°
Osa 7	rameno-rotační pohyb	od -168.5° do +168.5°
Osa 3	rameno-ohybový pohyb	od -123.5° do +80°
Osa 4	zápěstí-rotační pohyb	od -290° do +290°
Osa 5	zápěstí-ohybový pohyb	od -88° do +138°
Osa 6	příruba-rotační pohyb	od -229° do +229°

### 6.4 IRB 14000 kontrolér

Integrovaný kontrolér IRB 14000 je založen na standardním IRC5 kontroléru a obsahuje všechny funkce potřebné k pohybu a ovládní robotu. Software pro ovládní robotů RobotWare podporuje všechny aspekty robotického systému, jako je pohybové ovládní, vývoj a realizaci aplikačních programů, komunikace apod. [40]



Obrázek 28 IRB 14000 integrovaný kontrolér [41]

## 6.5 FlexPendant

FlexPendant je ruční operátorská jednotka, používaná k provádění mnoha úkolů zapojené do provozu robotického systému, jako je spouštění programů, pohybu manipulátoru, modifikace robotických programů a tak dále.

FlexPendant se skládá z hardwaru i softwaru a je kompletní počítač sám o sobě. [40]



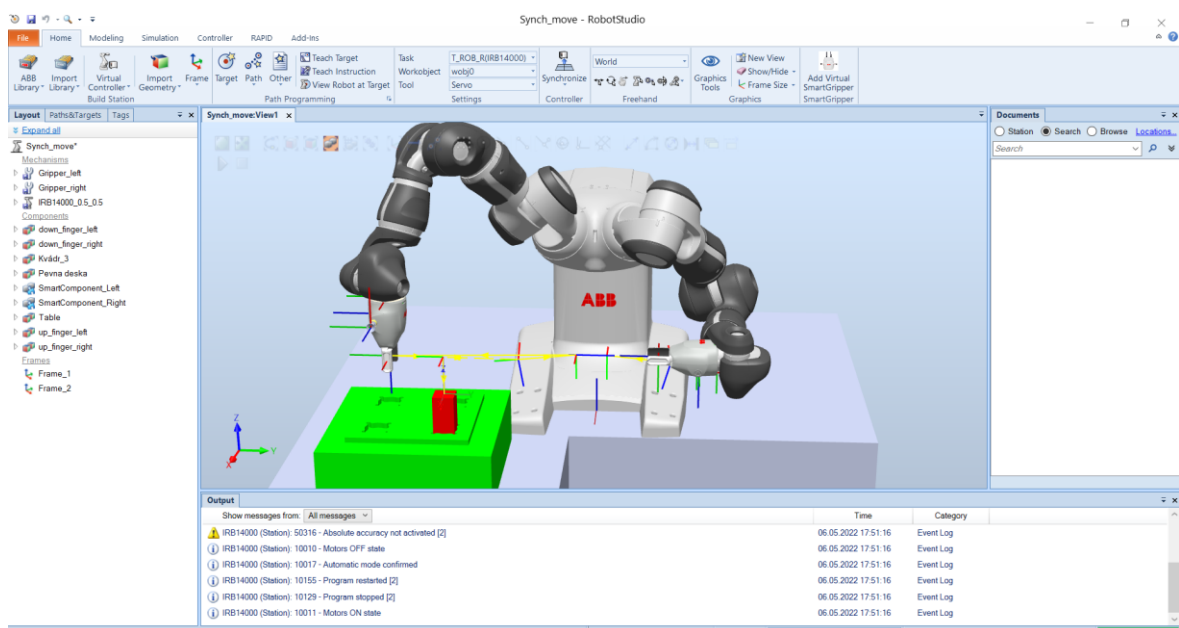
Obrázek 29 ABB FlexPendant [40]

## 7 ROBOTSTUDIO

RobotStudio je inženýrský nástroj pro konfiguraci a programování robotů ABB, a to jak skutečných robotů, tak virtuálních robotů v počítači. K dosažení skutečného offline programování využívá RobotStudio technologii ABB VirtualRobot.

RobotStudio si osvojilo uživatelské rozhraní Microsoft Office Fluent. Uživatelské rozhraní Office Fluent se používá také v Microsoft Office. Stejně jako v office jsou funkce RobotStudia navrženy způsobem orientovaným na pracovní postupy.

Pomocí doplňků, lze RobotStudio rozšířit a přizpůsobit tak, aby vyhovovalo specifickým potřebám. Doplňky jsou vyvíjeny pomocí SDK RobotStudio. S SDK je také možné vyvinout vlastní SmartComponents, které přesahují funkce poskytované základními součástmi RobotStudia. [40]



Obrázek 30 Vývojové prostředí RobotStudio

### 7.1 Souřadnicové systémy

Souřadnicový systém definuje rovinu nebo prostor osami od pevného bodu zvaného “the origin”. Robotické cíle a polohy jsou lokalizovány měřením podél os souřadnicových systémů. Robot používá několik souřadnicových systémů, z nichž každý je vhodný pro specifické typy joggingu (pohybu) nebo programování.

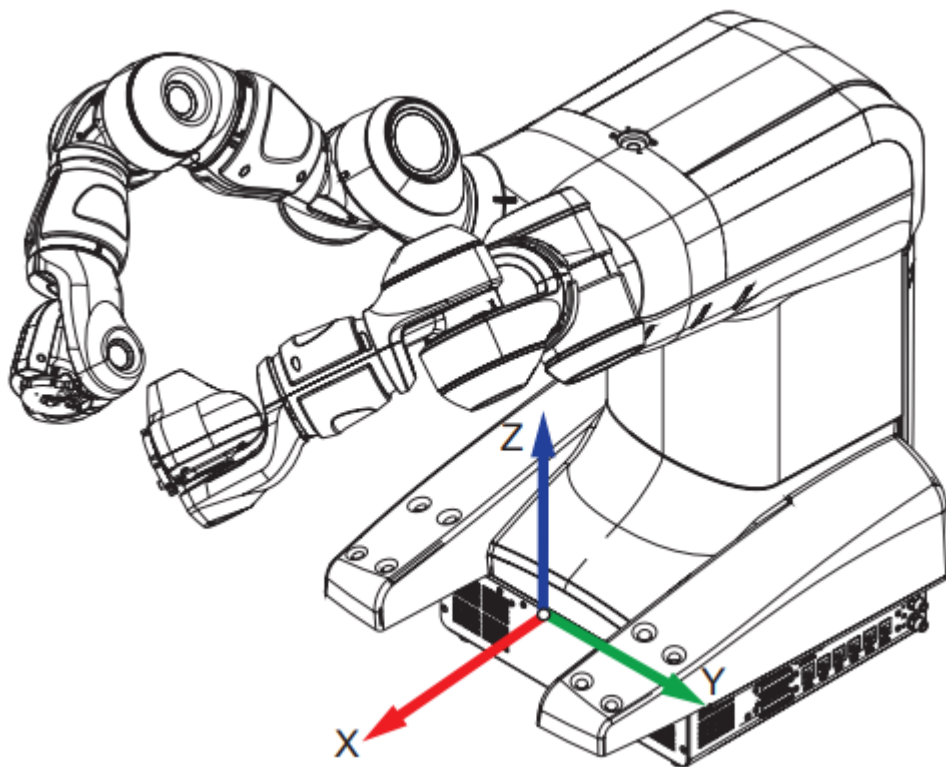
**Základní souřadnicový systém** je umístěn na základně robota. Je to nejjednodušší souřadnicový systém pro pouhé přesunutí robota z jedné pozice do druhé.

**Souřadnicový systém pracovního objektu** souvisí s pracovní částí a je často nejlepší pro programování robota.

**Souřadnicový systém nástroje** definuje polohu nástroje, který robot používá při dosažení naprogramovaných cílů.

**Světový souřadnicový systém**, který definuje robotickou buňku, všechny ostatní souřadnicové systémy jsou ve vztahu ke světovému souřadnicovému systému, a to buď přímo nebo nepřímo. Tento systém je užitečný pro jogging, obecné pohyby a pro manipulaci se stanicemi a buňkami s několika roboty nebo roboty pohybovanými vnějšími osami.

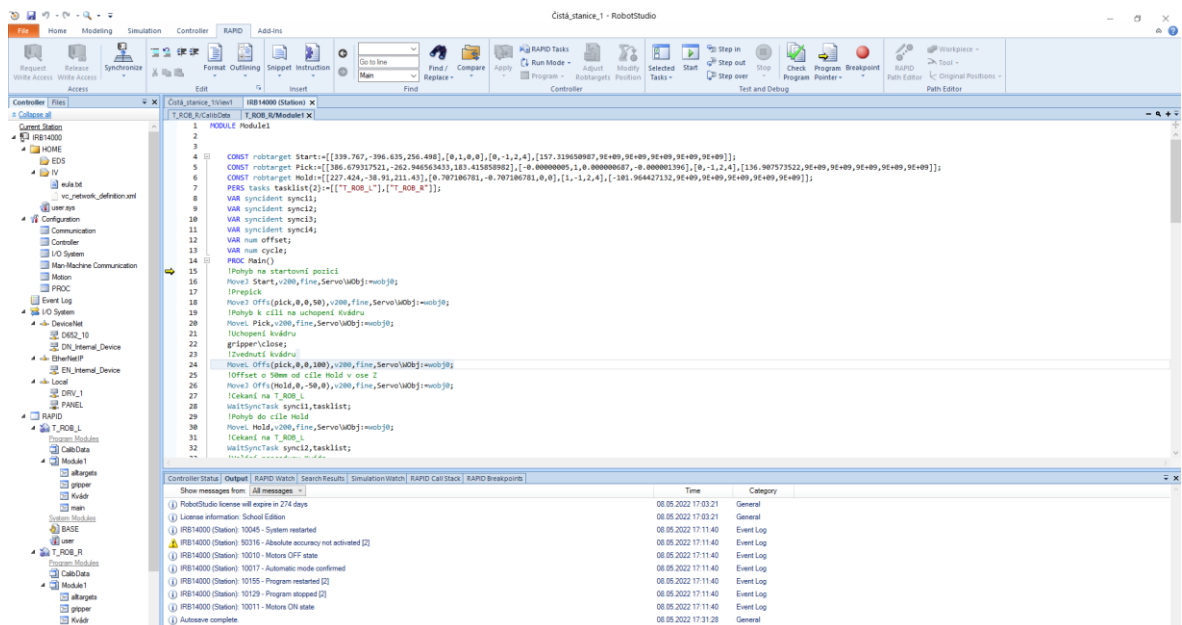
**Základní souřadnicový systém** má svůj nulový bod v základně robota. Když stojíte před robotem a joggujete v základním souřadnicovém systému, pohybem joysticku na flexpendantu směrem k vám se robot přesune podél osy X, zatímco pohybem joysticku po stranách se robot posune podél osy Y. Zatočení joysticku posune robota po ose Z. [40]



Obrázek 31 Základní souřadnicový systém u základny robota [40]

## 7.2 RAPID

Programovací jazyk RAPID je v mnoha ohledech velmi podobný jiným běžným ST programům, ale rozdíly pomáhají při programování pro robotiku. Použití funkcí pro úlohy nebo pohyby specifické pro roboty, umožňuje snadno srozumitelné programování a schopnost vytvářet vlastní funkce, poskytuje flexibilnější programovací prostředí.[42]



Obrázek 32 Program RAPID

### 7.2.1 Funkce použité v manuálech

**MoveL** slouží k lineárnímu přesunu TCP do daného cíle. Když má TCP zůstat nehybné, pak lze tento pokyn použít i k přeorientování nástroje.

Na obrázku č. 31 je zápis funkce MoveL v RAPIDu. Kde parametr p1 je naučený cíl, v200 je rychlost pohybu mm/s, Servo je nástroj, který se používá, \WObj:=wobj0 je jaký se v instrukci má použít Work Object.ffds

**MoveL p1,v200,fine,Servo\WObj:=wobj0;**

Obrázek 33 Zápis funkce MoveL

**MoveJ** se používá k rychlému přesunu robota z jednoho bodu do druhého, pokud tento pohyb nemusí být v přímém směru. Robot a vnější osy se pohybují do cílové polohy po nelineární dráze. Všechny osy dosáhnou cílové polohy současně. Parametry instrukce jsou stejné jako u MoveL.

**WaitSyncTask** slouží k synchronizaci několika úloh programu ve speciálním bodě každého programu. Každý programový úkol čeká, dokud všechny programové úlohy nedosáhnou pojmenovaného bodu synchronizace.

```
PERS tasks task_list{2} := [ ["T_ROB1"], ["T_ROB2"] ];
VAR syncident sync1;
PROC Routine()
WaitSyncTask sync1, task_list;
Endproc
```

Obrázek 34 Použití funkce WaitSyncTask

**SyncMoveOn** se používá pro spuštění sekvence synchronizovaných pohybů a ve většině případů i koordinovaných pohybů. Nejprve všechny vybrané programové úlohy počkají na synchronizaci v zastavovacím bodě, a pak je plánovač pohybu pro vybrané programové úlohy nastaven do synchronizovaného režimu.

**SyncMoveOff** se používá k ukončení sekvencí synchronizovaných pohybů a ve většině případů koordinovaných pohybů. Nejprve všechny vybrané programové úlohy počkají na synchronizaci v zastavovacím bodě, a pak jsou plánovače pohybu pro vybrané programové úlohy nastaveny do nezávislého režimu.

**WaitTime** se používá k čekání na definovanou dobu. [43]



## 8 VYTVOŘENÉ ÚLOHY

Jsou vytvořené celkem tři úlohy, kde se student v první úloze Uchop a polož naučí v softwaru RobotStudio importovat objekty, pohybovat s robotem a naučit ho targety (cíle). Využití funkce SmartComponent pro logiku stanice a v poslední řadě odsimulovat daný program.

Druhá úloha Synchronizace pohybů se zaměřuje na program RAPID s využitím funkcí pro synchronizaci pohybu. Student využije základy z první úlohy Uchop a polož pro pohyb a naučení cílů a využití SmartComponent pro logiku stanice.

Třetí úloha využívá kamery na Smart Gripperu, zde bude nutné se připojit na kameru na reálném robotovi pro nastavení dané kamery na SmartGripperu pro detekci objektu. Simulace v RobotStudiosu bude pouze ukazovat pohyb ramen pro detekci a uchopení objektu.

### 8.1 Uchop a polož

#### 8.1.1 Zadání

Vytvořte simulaci pro pokládání kostek na sebe v prostředí RobotStudia pomocí jednoho ramene robota YuMi. K vytvoření simulace využijte předem postavenou stanici s paletkou, která je zabalená ve funkci Pack & Go. Název souboru je Čistá stanice.rspag. K vytvoření logiky stanice využijte funkci SmartComponent, kde pomocí bloků nastavte otevírání/zavírání a uchopení kostky. Odzkoušejte simulaci v prostředí RobotStudio a následně krok po kroku odzkoušejte na reálném zařízení. Pro úpravu programu nebo naučených cílů na reálném zařízení využijte FlexPendant.

#### 8.1.2 Manuál k úloze Uchop a polož

První část je zaměřená na vytvoření stanice pomocí předběžně vytvořeného souboru Pack & Go, se kterým je možné otevřít předem vytvořenou stanici s robotem a paletkou. Student je postupně proveden Unpack and Work wizardem, až k vytvoření stanice.

Druhá část se zabývá využitím importu geometrie v RobotStudiosu. Student je proveden, jak podrobně importovat daný objekt do vytvořené stanice a jeho založením do otvoru v paletce.

Třetí část je zaměřená na logiku stanice tzv. Smart Component. Student je podrobně proveden, jak takovou logiku vytvořit pomocí bloků a jejich propojení I/O s kontrolérem. Tím se student naučí zavírat/otevírat grippery a vytvořit simulaci uchopení objektu.

Čtvrtá část popisuje učení cílů a program RAPID. Student se v této části naučí pohybovat s robotem různými způsoby a naučí robota cíle pro zvednutí kostky, její následné položení a následné převedení cílů do programu RAPID. Student si osvojí, jak používat základní funkce pro pohyb do cílů a následné spuštění simulace pohybů.

Pátá a poslední část se zaměřuje na testování simulace na reálném robotovi YuMi. Student je podrobně naveden, jak se připojit k robotovi a odzkoušet daný program.

## 8.2 Synchronizace pohybů

### 8.2.1 Zadání

Vytvořte simulaci pro synchronizaci pohybů v prostředí RobotStudio pomocí obou ramen robota YuMi. K vytvoření simulace využijte předem postavenou stanici s paletkou, která je zabalená ve funkci Pack & Go. Název souboru je Čistá stanice.rspag. Na začátku simulace najede pravé rameno do startovní pozice. Následně uchopí založený kvádr, zatím co se levé rameno připraví do pozice na uchopení kvádru. Po zvednutí založeného kvádru, se rameno posune s kvádrem tak, aby levý gripper mohl uchopit kvádr. Potom, co je kvádr držen oběma grippery, začne synchronní pohyb. Pohyb bude v útvaru čtverce. Tedy bude se pohybovat ←, ↑, →, ↓. Tento pohyb se bude opakovat dvakrát, kde další cyklus bude pohyb delší o 25 mm. Po dokončení pohybů se ramena zastaví, levý gripper se otevře a rameno se odsune od kvádru. Potom, co se levé rameno odsune od kvádru, tak pravé rameno položí kvádr na střed paletky a vrátí se do startovní pozice. K vytvoření logiky stanice využijte funkci SmartComponent, kde pomocí bloků nastavte otevírání/zavírání a uchopení kvádru. Odzkoušejte simulaci v prostředí RobotStudio a následně po krocích odzkoušejte na reálném zařízení. Pro úpravu programu nebo naučených cílů na reálném zařízení využijte FlexPendant.

### 8.2.2 Manuál k Synchronizaci pohybů

První část manuálu je opět zaměřena na vytvoření stanice pomocí již předem vytvořené stanice.

Druhá část popisuje, jak využít vytváření modelů objektů přímo v RobotStudiu. Student je podrobně nasměrován, jak vytvořit kvádr pro zvládnutí úlohy a jeho následné umístění v otvoru na paletce.

Třetí část popisuje vytváření logiky přes funkci Smart Component v RobotStudiu. Student je detailně proveden postupem, jak danou logiku vytvořit pomocí bloku a následné propojení I/O kontroléru s logikou Smart Component.

Čtvrtá část provede studenta vytvořením přesných cílů pro obě ramena robota YuMi a jak je ovládat.

Pátá a hlavní část provede studenta programem RAPID. Student se zde naučí využívat funkce na synchronizaci k docílení správných synchronních pohybů obou ramen.

### **8.3 Využití kamery na Smart Gripperu**

#### **8.3.1 Zadání**

Vytvořte simulaci pro ovládání kamery na Smart Gripperu, kde simulace v RobotStudiu bude pouze ukazovat pohyb obou ramen robota YuMi. K vytvoření simulace využijte předem postavenou stanici s paletkou, která je zabalená ve funkci Pack & Go. Název souboru je Čistá stanice.rspag. Hlavní nastavení kamery bude probíhat, až při připojení na reálném robotovi. Program bude probíhat tak, že nejprve pravé rameno robota najede s kamerou na otvor na paletce, zde bude kamera zjišťovat, zda je daný objekt (krychle) založen v paletce. Pokud objekt nenajde, setrvá ve stejné pozici a bude zkoušet, jestli tam daný objekt už je. Pokud kamera zjistí, že je objekt založen v paletce, najede pravé rameno a pomocí gripperu zvedne a předá objekt do gripperu druhého ramene, který následně objekt položí do kontejneru. Pro nastavení využijte v RobotStudiu funkci integrated vision, přes kterou se připojíte ke kameře na pravém gripperu. Kameru zkalibrujte pomocí gridu a následně využijte funkce Find Part pro určení objektu. K vytvoření simulační logiky stanice využijte funkci SmartComponent, kde pomocí bloků nastavte otevírání/zavírání a uchopení kvádrů.

#### **8.3.2 Manuál k Využití kamery na Smart Gripperu**

První část manuálu je opět zaměřená pro vytvoření stanice pomocí předem vytvořené stanice robota YuMi.

Druhá část povede studenta, jak importovat objekty a modelovat objekty přímo v RobotStudiosu.

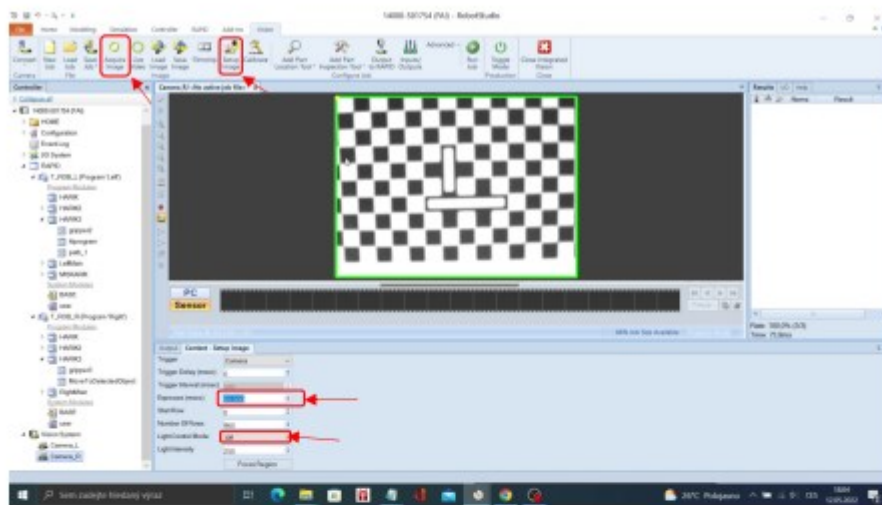
Třetí část je zaměřená na logiku stanice Smart Component, kde student využije zkušenosti z předešlých úloh a vyzkouší si nově generovat objekty pro simulační potřeby.

Čtvrtá část provede studenta vytvořením cílů pro obě ramena robota YuMi. Student opět využije zkušenosti z předešlých úloh.

Pátá část je zaměřená na program RAPID. Student je detailně proveden, jak správně naprogramovat pomocí instrukcí obě ramena robota YuMi.

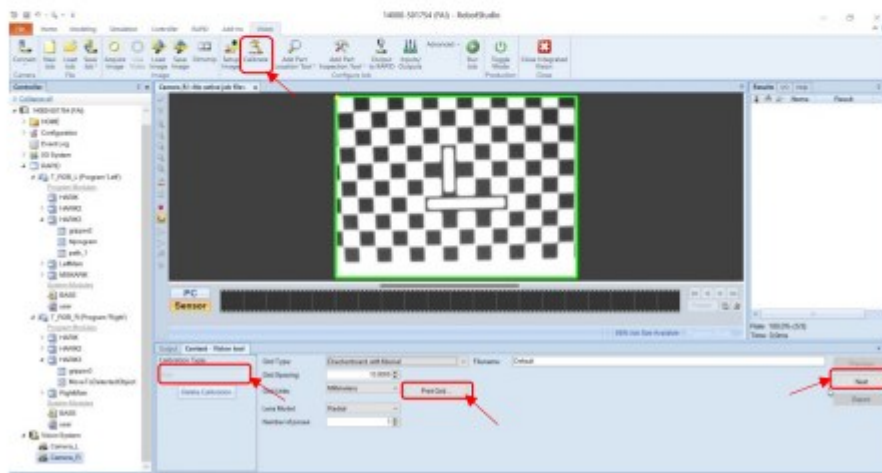
Šestá a poslední část provede studenta nastavením kamery na Smart Gripperu robota YuMi. Student se naučí, jak takovou kameru zkalibrovat a upravit snímky kamery, aby bylo možné detekovat objekty.

## 8.4 Provedení manuálů



Obrázek 64 Nastavení kvality obrázku

Vložíme pod kameru kalibrační grid (viz obr. č. 65). Klikneme na Acquire Image pro získání fotky. Nyní klikneme na Setup Image pro nastavení kvality. Light Control Mode přepneme na Off a Exposure nastavíme na 50.



Obrázek 65 Kalibrace kamery

Klikneme na Calibrate. Pro získání kalibračního gridu kliknete na Print Grid. V Calibration Type vybereme možnost Grid a klikneme na Next.

Obrázek 35 Ukázka provedení manuálů

Na obrázku č.35 je názorně ukázána část manuálu. Všechny manuály jsou vytvořené na stejném principu kombinace obrázků s popsáním návodem, jak postupovat při vypracování jednotlivých úloh. Skoro na každém obrázku jsou vyznačené jednotlivé kroky, které jsou popsány pod obrázkem.

## 9 OVĚŘENÍ MANUÁLU V PRAXI

Jednotlivé manuály byly odzkoušeny čtyřmi testujícími. Tři testující již měli zkušenosti s programem RobotStudio a s programováním robotů. Jeden zkoušející byl bez předchozích zkušeností práce s programem RobotStudio. Jednotliví testující mi poskytli zpětnou vazbu, která mi pomohla manuály vylepšit do finálních verzí.

První manuál Uchop a polož se zabývá jednoduchými pohyby robota pro naskládání krychlí na sebe. Manuál má testujícího provést jednotlivými kroky, jak naprogramovat danou úlohu na robotovi YuMi. Testující měli na začátku zajímavé poznatky, ať už ke konkrétnímu kroku, tak i k obrázkům. V rámci zpětné vazby jsem lépe popsal a vysvětlil třetí část manuálu Smart Component. Testující mi taktéž doporučili, abych k obrázkům dodal popisky v podobě rámečků a šipek, které jsem použil i v následujících manuálech. Zpětná vazba byla jinak bez problémů a testující zvládli úlohu vypracovat.

Druhý manuál Synchronizace pohybů se zabývá složitějšími synchronními pohyby obou ramen robota YuMi. Testující mi zde poskytli zpětnou vazbu, abych popsal komentářem jednotlivé instrukce programu RAPID. Studentům mají komentáře vysvětlit, co jednotlivé instrukce dělají a pomůže jim to lépe pochopit úlohu. Manuál byl jinak bez problémů a dalších poznatků.

Třetí manuál se zabývá podrobným nastavením kamery na pravém Smart Gripperu pro detekci částí. Manuál je rozdělen na simulační část a na část na reálném robotovi. Zpětná vazba mi opět poskytla informace pro úpravu logiky stanice a po vlastním uvážení jsem následně přidal ještě podrobnější popisky a odkazující obrázky. Finální verze manuálu mi byla testery opět schválena bez problémů a studenti by měli podle manuálu úlohu v pořádku vypracovat.

Ověření manuálů v praxi mi poskytlo přínosnou zpětnou vazbu, pomocí které jsem mohl manuály vylepšit, aby podle nich studenti zvládli bez problému úlohy vypracovat. Jelikož byl jeden testující bez předchozí zkušenosti práce s RobotStudiem a poskytl mi nejvíce poznatků, věřím, že mé manuály ve finální podobě zvládnou navést k vypracování úloh i studenta bez jakýkoliv zkušeností práce s roboty a pomůže jim to získat nové poznatky a zkušenosti v této oblasti. Je možné, že lépe pochopí toto studium a vytvoří si díky tomu i nový vztah k technice.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce, bylo vytvořit detailní manuály k daným úlohám, celkem byly vytvořeny tři úlohy, které se stupňují v obtížnosti. V teoretické části jsem se zaměřil na popis robota a popis jeho jednotlivých částí, včetně konkrétních typů průmyslových robotů. V praktické části jsem se zaměřil na konkrétního kolaborativního robota YuMi, ke kterému jsem vytvořil tři úlohy a následně jsem na ně vypracoval tři manuály. Při vypracování mé bakalářské práce, jsem využil software RobotStudio, které je zahrnuto v manuálech. Dále jsem všechny úlohy otestoval v robotické laboratoři fakulty aplikované informatiky.

Mé zkušenosti s prací s robotem YuMi, jsou pozitivní i negativní. Celkově je práce s kolaborativními roboty jednoduchá a není náročná na pochopení, robot se reálně snadno ovládá, jakmile ovšem přijde řada na offline programování v softwaru RobotStudio, ovládání začne být obtížnější, jelikož má robot YuMi 7 stupňů volnosti, které mohou být i jeho silnou stránkou, protože je více flexibilní a dosáhne téměř všude kolem sebe. Výhodou taktéž byla kamera, kterou má YuMi umístěnou na Smart Grippersch, jelikož umí snímat objekty, a mohl jsem tak realizovat třetí úlohu.

Velmi zajímavou zkušeností, bylo využití manuálů v praxi za asistence testerů, které jsem oslovil. Tito lidé, mi pomohli upravit mou bakalářskou práci do finální podoby.

Při vypracování práce jsem získal nové zkušenosti, které dále využiji ve svém studiu a v osobním rozvoji. Zkušenosti, které jsem z předchozích studií na střední a vysoké škole získal, jsem mohl využít při vypracování teoretické části bakalářské práce. Díky bakalářské práci jsem si více vyzkoušel práci s roboty, kterou mohu dále uplatnit v budoucím zaměstnání. Robotikou se budu jistě dále zabývat, jelikož mě velmi zajímá a chci se v ní zdokonalovat. Doufám, že svou prací pomohu budoucím studentům při studiích a k jejich vztahu k robotice.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *What is Robotics? What are Robots? Types & Uses of Robots.* | *Built In* [online]. Dostupné z: <https://builtin.com/robotics>
- [2] KATIE TERRELL HANNA. What is robotics? *WhatIs.com* [online]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/robotics>
- [3] IFR. International Federation of Robotics. *IFR International Federation of Robotics* [online]. Dostupné z: <https://ifr.org/standardisation>
- [4] VIKRAM KAPILA. Introduction to Robotics. In: [online]. B.m. Dostupné z: [http://engineering.nyu.edu/mechatronics/smart/Archive/intro\\_to\\_robot/Intro2Robotics.pdf](http://engineering.nyu.edu/mechatronics/smart/Archive/intro_to_robot/Intro2Robotics.pdf)
- [5] JAZAR, Reza N. *Theory of Applied Robotics* [online]. Boston, MA: Springer US, 2010. ISBN 978-1-4419-1749-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4419-1750-8
- [6] Robot Anatomy and Related Attributes. *BrainKart* [online]. Dostupné z: [https://www.brainkart.com/article/Robot-Anatomy-and-Related-Attributes\\_6409/](https://www.brainkart.com/article/Robot-Anatomy-and-Related-Attributes_6409/)
- [7] What is a Robot Wrist: A Definitive Guide. *evsint* [online]. Dostupné z: <https://www.evsint.com/a-definitive-guide-on-robot-wrists/>
- [8] *Industrial Robot Functionality and Coordinate Systems – Inlearc* [online]. Dostupné z: <https://www.thk.ee/inlearcs/industrial-robot-functionality-and-coordinate-systems/>
- [9] What is end effector? - Definition from WhatIs.com. *WhatIs.com* [online]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/end-effector>
- [10] SACHIN THORAT. *Grippers in Robotics - Types of Grippers used in industrial applications* [online]. 16. srpen 2018. Dostupné z: <https://learnmech.com/grippers-in-robotics-types-of-grippers-used-in-industrial-applications/>
- [11] BRANDBUDDYLLC. What is an Actuator in Robotics? *Artimus Robotics* [online]. 4. srpen 2021. Dostupné z: <https://www.artimusrobotics.com/post/what-is-an-actuator-in-robotics>
- [12] Different Types of Motors Used in Industrial Robotics. *ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students* [online]. 19. listopad 2014. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/motors-used-in-industrial-robotics/>
- [13] KRUSHNA SAWANT. *What Is Gearbox? - Definition, Types, Working, Diagram 2022* [online]. 3. květen 2022. Dostupné z: <https://www.automobileinformer.com/what-is-gearbox/>
- [14] The Fundamentals of Planetary Gear Systems. *Gear Motions* [online]. 30. červec 2018. Dostupné z: <https://gearmotions.com/fundamentals-planetary-gear-systems/>
- [15] What is a planetary gearbox? *Apex Dynamics* [online]. 14. listopad 2017. Dostupné z: <https://www.apexdyna.nl/en/planetary-gearbox-introduction>



- [16] Structure of a planetary gear system. *ResearchGate* [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-a-planetary-gear-system\\_fig1\\_327629304](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-a-planetary-gear-system_fig1_327629304)
- [17] DANIELLE COLLINS. *How do cycloidal gears work and where are they used?* [online]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/how-do-cycloidal-gears-work-and-where-are-they-used/>
- [18] TEC-SCIENCE. Construction of the cycloidal disc of a cycloidal drive. *tec-science* [online]. 14. leden 2019. Dostupné z: <https://www.tec-science.com/mechanical-power-transmission/planetary-gear/construction-of-the-cycloidal-disc/>
- [19] *Harmonic Drive® strain wave gear - zero backlash* | *Harmonic Drive* | *Harmonic Drive* [online]. [vid. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.harmonicdrive.net/technology>
- [20] *Market Prospects | What Sensors System do Industrial Robots Need?* [online]. Dostupné z: <https://www.market-prospects.com/articles/sensors-system>
- [21] KISHAN JANI. An effective safety system for industrial robot. *ResearchGate* [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/An-effective-safety-system-for-industrial-robot\\_fig8\\_310799255](https://www.researchgate.net/figure/An-effective-safety-system-for-industrial-robot_fig8_310799255)
- [22] 6 Major Types of Industrial Robots Used in the Global Manufacturing 2018. *Technavio* [online]. 31. srpen 2018. Dostupné z: <https://blog.technavio.org/blog/major-types-of-industrial-robots>
- [23] *TX200 - Articulated robot by Stäubli Robotics* | *DirectIndustry* [online]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/staebli-robotics/product-17645-232951.html>
- [24] DIY-ROBOTICS. Articulated Robots: What You Need to Know | Blog. *DIY Robotics* [online]. 27. srpen 2020. Dostupné z: <https://diy-robotics.com/article/articulated-robots/>
- [25] JONAS. *6 Types of Industrial Robots and Their Application in 2021* [online]. 1. červec 2021. Dostupné z: <https://jonasmuthoni.com/blog/industrial-robots-types/>
- [26] MARK FAIRCHILD. Types of Industrial Robots and Their Different Uses. *#HowToRobot* [online]. 30. břez 2022. Dostupné z: <https://www.howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>
- [27] IRB 910SC. *Robotics* [online]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-910sc>
- [28] PROCESS SOLUTIONS, INC. What are the Different Types of Industrial Robots and Their Applications? *Process Solutions, Inc.* [online]. 1. říjen 2018. Dostupné z: <https://processsolutions.com/what-are-the-different-types-of-industrial-robots-and-their-applications/>
- [29] Delta robots. *B&R: Perfection in Automation* [online]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/>

- [30] *Spherical robots – All On Robots* [online]. Dostupné z: <https://www.allonrobots.com/spherical-robots/>
- [31] RAY MARQUISS. *Five Types of Industrial Robots And How To Choose The Best Fit | Valin* [online]. Dostupné z: <https://www.valin.com/resources/articles/five-types-of-industrial-robots-and-how-to-choose-the-best-fit>
- [32] What is collaborative robot (cobot)? - Definition from WhatIs.com. *WhatIs.com* [online]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/collaborative-robot-cobot>
- [33] Collaborative robotics: benefits and new trends in the industry. *ATRIA Innovation* [online]. 26. leden 2021. Dostupné z: <https://www.atriainnovation.com/en/collaborative-robotics-benefits-and-new-trends-in-the-industry/>
- [34] OWEN-HILL. *What Are the Different Programming Methods for Robots?* [online]. [vid. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/what-are-the-different-programming-methods-for-robots>
- [35] The 3 Basic Robot Programming Methods. *Ballerstatus.com* [online]. 28. leden 2021. Dostupné z: <https://www.ballerstatus.com/2021/01/28/the-3-basic-robot-programming-methods/>
- [36] ABB's Collaborative Robot -YuMi. *Robotics* [online]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/irb-14000-yumi>
- [37] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. *Is ABB's YuMi the Next Generation of Collaborative Robot?* [online]. [vid. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/does-abb-yumi-is-the-next-generation-of-collaborative-robot>
- [38] Product manual IRB 14000 gripper. Rev. M. Sweden: ABB AB, 2021, 166 s. 3HAC054949-001
- [39] IRB 14 000 YuMi. *Robotics* [online]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/kolaborativni-roboty/yumi>
- [40] Operating manual IRB 14000: RobotWare 6.09. Rev. F. Sweden: ABB AB, 2019, 74 s. 3HAC052986-001
- [41] Product manual IRB 14000: 0.5/0.5 IRC5. Rev D. Sweden: ABB AB, 2016, 458 s. 3HAC052983-001
- [42] SHAWN DIETRICH. *Introduction to ABB Robot Programming Language - Technical Articles* [online]. Dostupné z: <https://control.com/technical-articles/introduction-to-abb-robot-programming-language/>
- [43] Technical reference manual RAPID Instructions, Functions and Data types. Rev. P. Sweden: ABB AB, 2021, 1790 s. 3HAC050917-001

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

mm	Milimetr
mm/s	Milimetr za sekundu.
SDK	Software Development Kit
kPa	Kilopascal
PWM	Pulse Width Modulation
RPM	Revolutions Per Minute
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
Kg	Kilogram
IP	Ingress Protection
g	Gram
TCP	Tool center point

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Kinematický řetězec [5] .....	11
Obrázek 2 Klouby a články průmyslového robota .....	12
Obrázek 3 Lineární kloub [6].....	12
Obrázek 4 Ortogonální kloub [6].....	12
Obrázek 5 Rotační kloub [6].....	13
Obrázek 6 Točivý kloub [6].....	13
Obrázek 7 Otáčivý kloub [6] .....	13
Obrázek 8 Konfigurace zápěstí [8] .....	14
Obrázek 9 Vakuový gripper [10] .....	15
Obrázek 10 Hydraulický gripper [10].....	16
Obrázek 11 Pneumatický gripper [10].....	16
Obrázek 12 Servo-elektrický gripper [10] .....	17
Obrázek 13 Magnetický gripper [10].....	17
Obrázek 14 Planetová převodovka [16].....	20
Obrázek 15 Cykloidní převodovka [18] .....	21
Obrázek 16 Harmonická převodovka [19].....	22
Obrázek 17 Efektivní bezpečnostní systém pro průmyslového robota [21].....	24
Obrázek 18 Šestiosý antropomorfní robot [23] .....	25
Obrázek 19 Kartézský robot [25].....	26
Obrázek 20 SCARA robot [27] .....	27
Obrázek 21 Delta robot [29] .....	27
Obrázek 22 Polární robot [30] .....	28
Obrázek 23 Cylindrický robot [28].....	28
Obrázek 24 Úrovně pracování robota s člověkem [33] .....	29
Obrázek 25 Varianty Smart Gripperu [43] .....	33
Obrázek 26 YuMi-IRB 14000 [39].....	33
Obrázek 27 IRB14000 [40].....	34
Obrázek 28 IRB 14000 integrovaný kontrolér [41].....	35
Obrázek 29 ABB FlexPendant [40] .....	35
Obrázek 30 Vývojové prostředí RobotStudio.....	36
Obrázek 31 Základní souřadnicový systém u základny robota [40].....	37
Obrázek 32 Program RAPID .....	38

---

Obrázek 33 Zápís funkce MoveL .....	38
Obrázek 34 Použití funkce WaitSyncTask .....	39
Obrázek 35 Ukázka provedení manuálu .....	44

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Kombinace Smart Gripperů a jejich parametry [38] .....	33
Tabulka 2 Možnost natočení všech os [41] .....	34

## SEZNAM PŘÍLOH

P I    Obsah CD

## **PŘÍLOHA P I: OBSAH CD**

Struktura přiloženého CD:

- Adresář **Text bakalářské práce** – obsahuje text bakalářské práce ve formátu PDF/A.
- Adresář **Složka Podklady k úlohám** – obsahuje tři manuály vlastního zpracování ve formátu PDF/A a soubory pro vypracování úloh
  - Manuál 1 Manuál\_Uchop\_a\_polož
  - Manuál 2 Manuál\_Synchronizace\_pohybů
  - Manuál 3 Manuál\_Využití\_kamery\_na\_Smart\_Gripperu
- Adresář **Programy** – obsahuje tři zpracované programy na dané úlohy