

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti implementace kolaborativních robotů na pracoviště laserového potisku s využitím nástroje Tecnomatix Process Simulate

Autor: **Bc. Gabriela ŠIMLOVÁ**

Vedoucí práce: **Ing. Marek Bureš, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Markovi Burešovi, Ph.D. za odborné rady a pomoc při zpracovávání této práce. Také bych ráda poděkovala své rodině a nejbližším přátelům za jejich velkou podporu během celého mého studia.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Šimlová	Jméno Gabriela
STUDIJNÍ OBOR	Průmyslové inženýrství a management	
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Bureš, Ph.D.	Jméno Marek
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KPV	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ
NÁZEV PRÁCE	Možnosti implementace kolaborativních robotů na pracoviště laserového potisku s využitím nástroje Tecnomatix Process Simulate	

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	66	TEXTOVÁ ČÁST	66	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Tato práce se zabývá podrobnou charakteristikou kolaborativních robotů, jejich parametrů, oblastmi využití a bezpečností jejich aplikace. Teoretická část se zabývá konceptem Průmyslu 4.0, který s sebou přináší inovativní technologie v oblasti robotiky, jako je automatizace, digitalizace, simulace či umělá inteligence. Praktická část se zabývá simulacemi procesu laserového potisku pomocí vybraných kolaborativních robotů. Simulace jsou prováděny pomocí nástroje Tecnomatix Process Simulate.
KLÍČOVÁ SLOVA	Průmysl 4.0, Automatizace, Robotika, Kolaborativní roboty, Tecnomatix Process Simulate, Simulace

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Šimlová	Name Gabriela
FIELD OF STUDY	Industrial Engineering and Management	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Bureš, Ph.D.	Name Marek
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Possibilities of collaborative robots implementation in the laser print workplace with aid of Tecnomatix Process Simulate	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	66	TEXT PART	66	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	<p>This thesis deals with detailed characteristics of collaborative robots, their parameters, areas of uses and security of their application. This theme is conditional on knowledge of Industry 4.0, which brings innovative robotics technologies such as automation, digitisation, simulation and artificial intelligence. Practical part of this work deals with the simulations of the laser printing process by using collaborative robots. For simulations is used program Tecnomatix Process Simulate.</p>
KEY WORDS	<p>Industry 4.0, Automation, Robotics, Collaborative robots, Tecnomatix Process Simulate, Simulations</p>

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek.....	9
Úvod.....	10
1 Průmysl 4.0	11
1.1 Historie	11
1.2 Současné trendy.....	11
1.2.1 Automatizace.....	12
1.2.2 Kyberneticko-fyzikální systémy	12
1.2.3 Velká data.....	13
1.2.4 Internet věcí a služeb.....	13
1.2.5 Digitalizace.....	13
1.2.6 Rozšířená a virtuální realita.....	14
1.2.7 Simulace	14
1.2.8 Umělá inteligence.....	15
2 Robotika	16
2.1 Historie	16
2.2 Vývoj robotiky ve světě.....	17
2.3 Základní části robotů	19
2.4 Rozdělení robotů dle konstrukce	21
2.5 Rozdělení robotů dle použití.....	24
3 Kolaborativní roboty.....	26
3.1 Výrobci	26
3.2 Parametry.....	29
3.3 Koncové efekторы	31
3.4 Bezpečnost kolaborativních robotů	32
4 Tecnomatix Process Simulate.....	34
5 Představení firmy	35
6 Popis pracoviště a tvorba 3D modelu	36
7 Návrh řešení.....	38
7.1 Vibrační zásobník	38
7.2 Kolaborativní roboty.....	44
7.3 Zhodnocení	54

8	Závěr.....	60
9	Seznam použité literatury.....	61
	Seznam příloh	66

Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Revoluce v průmyslu [34]	11
Obrázek 1-2: Digitalizace výroby [14].....	14
Obrázek 1-3: Umělá inteligence [10]	15
Obrázek 2-1: Vývoj robotiky [38].....	17
Obrázek 2-2: Vývoj expedice průmyslových robotů, zpracováno ze zdroje [26].....	18
Obrázek 2-3: Vývoj dodávek průmyslových robotů dle odvětví, zpracováno ze zdroje [26]..	19
Obrázek 2-4: Vývoj dodávek průmyslových robotů, zpracováno ze zdroje [26]	19
Obrázek 2-5: Robot SCARA [30]	22
Obrázek 2-6: Delta robot [31]	23
Obrázek 2-7: Robot YuMi [32].....	23
Obrázek 3-1: Graf prodeje tradičních a kolaborativních robotů [40].....	27
Obrázek 3-2: Vlevo vakuový efekt., vpravo efekt. na principu Van der Waalsových sil [43]	31
Obrázek 4-1: Uživatelské prostředí programu Tecnomatic Process Simulate	34
Obrázek 5-1: Společnost ept connector s.r.o.	35
Obrázek 5-2: Výběr z produktového portfolia společnosti	35
Obrázek 6-1: Pracoviště laserového potisku	36
Obrázek 6-2: Vizualizace činnosti na pracovišti potisku	36
Obrázek 6-3: 3D model pracoviště laserového potisku	37
Obrázek 7-1: Ukázka vybraných typů konektorů pro potisk	38
Obrázek 7-2: Zásobník s vibrační deskou Asycube 240	39
Obrázek 7-3: Zobrazení vzdálenosti kamery od vibrační plošiny.....	39
Obrázek 7-4: Ukázka vhodně umístěných malých konektorů na vibrační desce.....	40
Obrázek 7-5: Výsledky testování malých konektorů na Asycube 240	41
Obrázek 7-6: Výsledky rozpoznávání obrazu na malých konektorech.....	41
Obrázek 7-7: Ukázka vhodně umístěných velkých konektorů na vibrační desce.....	42
Obrázek 7-8: Výsledky testování velkých konektorů na Asycube 240	42
Obrázek 7-9: Výsledky rozpoznávání obrazu na velkých konektorech.....	43
Obrázek 7-10: Výsledky testování velkých konektorů na Asycube 530	43
Obrázek 7-11: Výsledky testování malých konektorů na Asycube 530	44
Obrázek 7-12: Gripper - vlevo Schunk Co-act EGP-C, vpravo Robotiq 2F-85	46
Obrázek 7-13: Kinematický editor	47
Obrázek 7-14: Nástroj Robot Jog.....	48
Obrázek 7-15: Příklad možných operací	48
Obrázek 7-16: Dosahový test	49
Obrázek 7-17: Funkce Smart Place	49
Obrázek 7-18: Editor cesty – UR3	50
Obrázek 7-19: Sekvenční editor – UR3	50
Obrázek 7-20: Grafické znázornění rychlostí nástroje a kloubů – UR3	50
Obrázek 7-21: Model pracoviště s robotem UR3.....	51
Obrázek 7-22: Grafické znázornění rychlostí nástroje a kloubů - KUKA LBR iiwa 7	52
Obrázek 7-23: Model pracoviště s robotem KUKA LBR iiwa 7.....	52
Obrázek 7-24: Grafické znázornění rychlostí nástroje a kloubů - FANUC CR-4iA	53
Obrázek 7-25: Model pracoviště s robotem FANUC CR-4iA.....	54

Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Srovnání konvenčních a kolaborativních robotů	26
Tabulka 3-2: Seznam nejpoužívanějších kolaborativních robotů	28
Tabulka 3-3: Specifikace robota UR3	30
Tabulka 3-4: Koncové efekторы pro roboty UR	32
Tabulka 7-1: Specifikace vzdáleností kamerového systému od vibrační desky	39
Tabulka 7-2: Rozhodovací tabulku pro výběr kolaborativních robotů	45
Tabulka 7-3: Technická specifikace cobota UR3.....	46
Tabulka 7-4: Technická specifikace - KUKA LBR iiwa 7	51
Tabulka 7-5: Technická specifikace - FANUC CR-4iA	53
Tabulka 7-6: Cenová kalkulace Asycube 240 a SmartSight	55
Tabulka 7-7: Cenová kalkulace Asycube 530 a SmartSight	55

Úvod

V posledních letech se stala velkým trendem automatizace, robotizace a digitalizace. Podnětem pro rozvoj těchto technologií byla vize tzv. čtvrté průmyslové revoluce, která přinesla značné technologické pokroky. Dnes je tak cílem každého podniku následovat tento vývoj a snažit se jednotlivé prvky Průmyslu 4.0 zařadit do své výroby.

Teoretická část se věnuje konceptu Průmyslu 4.0 a jeho jednotlivým rysům. To zahrnuje podrobnější seznámení s pojmy automatizace, digitalizace, internetem věcí a služeb či umělou inteligencí. Další část je věnována robotice a rozdělení průmyslových robotů. Tato část tvoří obecný úvod ke kapitole kolaborativních robotů - cobotů, které jsou hlavním tématem této práce. Dále budou rozepsány jejich parametry a charakteristiky, bezpečnost a možnosti implementace v praxi. Poslední část je věnována systému Tecnomatix Process Simulate, ve kterém budou v praktické části prováděny experimenty s kolaborativními roboty na 3D modelu zadaného pracoviště.

Hlavním cílem praktické části této práce je provedení simulací procesu laserového potisku pomocí kolaborativních robotů. Této části předchází vytvoření 3D modelu pracoviště, jeho importování do simulačního programu Tecnomatix Process Simulate. Dále pak průzkum nabídky trhu jednotlivých výrobců kolaborativních robotů a zvolení nejvhodnějších cobotů k provedení příslušného procesu. Následuje návrh dalších nedílných částí celého konceptu robotizace, a to zvolení vhodného nástroje robota, zásobníku pro součástky a kamerového systému pro jejich rozpoznávání. Na základě zvolených jednotných okrajových podmínek pro provedení všech simulací je možné výsledky vzájemně porovnávat, a vyhodnotit tak robota s nejrychlejším časem na provedení operace. Poslední část se zabývá finanční stránkou a ekonomickým zhodnocením celého konceptu.

1 Průmysl 4.0

Myšlenka tzv. čtvrté průmyslové revoluce s sebou přináší velké technické inovace zaměřující se na automatizaci, digitalizaci a robotizaci. Nicméně prvotní důraz je kladen na optimální využití informačních toků, které podmiňují efektivní aplikaci výše zmíněných technologií.

První vize této revoluce přišla v roce 2011 a později v roce 2013 byl na konferenci v Hannoveru představen oficiální dokument seznamující s konceptem Průmyslu 4.0.

Následující podkapitoly krátce shrnují historii průmyslových revolucí a jednotlivé trendy Průmyslu 4.0.

1.1 Historie

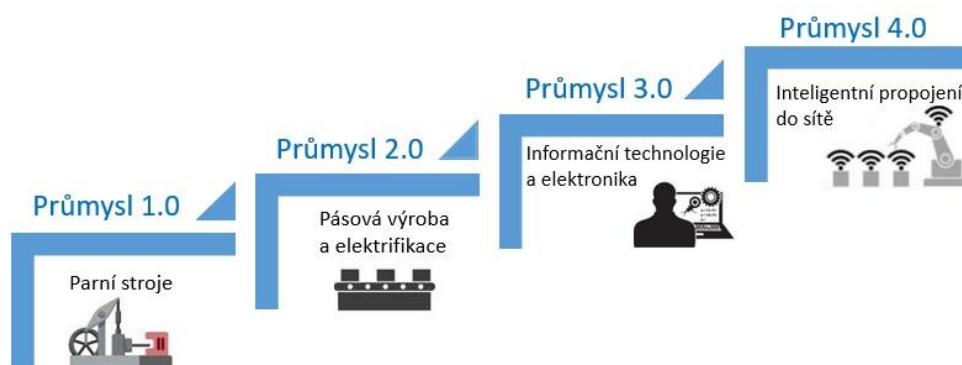
Všechny průmyslové revoluce byly vyvolány v důsledku reakce na rozmach nových technologií. První průmyslová revoluce proběhla v 18. století. Důvodem pro tento převratný krok v historii lidstva byl začátek využívání nových zdrojů energie – páry, kdy sestavení parního stroje zásadně ovlivnilo celé hospodářství.

Druhá průmyslová revoluce na konci 19. století se nesla ve znamení elektrifikace a vzniku prvních montážních linek. Tato revoluce tak započala masovou výrobu.

V roce 1969 vznikl první programovatelný automat, a začala tak třetí průmyslová revoluce, jejímž hlavním rysem je automatizace a s ní spojený rozvoj informačních technologií.

Trendem čtvrté průmyslové revoluce jsou především kyberneticko-fyzikální systémy, se kterými souvisí integrace internetu věcí, služeb a lidí. [4]

Na obrázku 1-1 jsou graficky znázorněny jednotlivé průmyslové revoluce.



Obrázek 1-1: Revoluce v průmyslu [34]

1.2 Současné trendy

Průmysl 4.0 v sobě zahrnuje spousta nových technologií a trendů. Za klíčový bod se považuje snaha propojit vše kolem nás pomocí internetu. Tento cíl však způsobuje obrovský nárůst dat, který musí informační systémy zpracovávat.

V následujících podkapitolách se blíže seznámíme s trendy, které souvisejí s tématem této práce.

1.2.1 Automatizace

Automatizace představuje soubor činností, které zajišťují samočinný chod výrobních či nevýrobních procesů. Automatizované činnosti nahrazují práci, kterou by jinak vykonával člověk. Patří sem především zapínání a zastavování strojů či samotná optimalizace chodu strojů. Zařízení, které je schopné se samo řídit, se nazývá automat. Tyto stroje běží podle předem stanoveného programu, který určuje, co přesně bude stroj vykonávat. Tímto procesem je zajištěna vysoká produktivita daného procesu s cílem zvýšit kvalitu výrobků, konkurenceschopnost samotného podniku a také zvýšení bezpečnosti práce. [11]

Robotická automatizace (RPA – Robotic Process Automation) vznikla díky současným technologickým pokrokům především v oblasti simulací. Automatizace je zde uplatňována ve formě softwaru, který je implementován na procesy, které se zakládají na pravidlech a velmi často se opakují. Tyto procesy řadíme do oblasti sdílených služeb či jiných transakčních center, kde dochází ke komunikaci IT systémů. „Robotický“ software je možné nastavit tak, aby pracoval s informacemi a aplikacemi bez zásahu člověka. Další funkcí může být schopnost reagovat na události a zpracovávat je. [12]

Hlavními cíli robotické automatizace je v první řadě zvýšení flexibility a zkrácení doby trvání procesu, zvýšení výkonu a přesnosti. [13]

1.2.2 Kyberneticko-fyzikální systémy

Čtvrtá průmyslová revoluce klade důraz na kyberneticko-fyzikální systémy, které se skládají z počítačově ovládaných řídicích (výpočetních) jednotek. Jednotky jsou schopny samostatně se řídit, rozhodovat a komunikovat mezi sebou. Stávají se tak adekvátní součástí výrobních systémů. [17] [18]

Dělení kyberfyzikálních systémů [18]:

- 1) Multiagentní systémy, které využívají fyzické autonomní agenty (aktéry). Jsou tvořeny simulovaným prostředím a různými typy agentů, které vzájemně interagují mezi sebou. V praxi se můžeme setkat s mnoha aplikacemi těchto systémů např.: využití agentů pro sledování vozidel v určitém prostoru s cílem popsat, jak se vozidla pohybují. V podnicích se tyto systémy aplikují v podobě automatických dopravníků.
- 2) Holonické systémy se liší od multiagentních tím, že agenti (holony) jsou přímo spojeny s fyzickým zařízením a je možné je slučovat do celků – tzv. holarchií, což umožňuje zvětšit jejich kapacitu. Příkladem užití těchto systémů je výrobní linka motorů ve firmě Daimler AG či ocelářská linka v podniku BHP v Austrálii.

Využívání kyberneticko-fyzikálních systémů má velké výhody, zejména zvýšení flexibility výrobních i nevýrobních procesů, a zvýšení tak konkurenceschopnosti celého podniku. Využíváním těchto systémů dochází k obrovskému nárůstu zpracovávaných dat – tzv. Big data, které je nutné chránit před stále častějšími útoky hackerů. Zabezpečením informací se zabývá tzv. kybernetická bezpečnost. [19]

1.2.3 Velká data

S velkým rozmachem digitalizace souvisí pojem „Big data“, který vyjadřuje radikální nárůst objemu zpracovávaných dat. Jedná se o data zaznamenávána v důsledku používání webových stránek, aplikací, chytrých telefonů apod., ale i v důsledku provádění náročných vědeckých výpočtů. Zpracování těchto dat je pomocí klasických softwarových prostředků časově velmi náročné.[15]

Velká data mají tyto charakteristiky [15]:

- 1) Velikost (objem) – od desítek terabytů po petabyty
- 2) Velká rychlost vzniku dat
- 3) Různorodost dat

Data se ukládají v datových skladech a jedna z možností, jak tyto data zpracovávat je použití databázového konceptu NoSQL používající jiné prostředky než klasické tabulkové schémata relační databáze či použití open source aplikace Apache Hadoop.

Zpracování „Velkých dat“ umožňuje lepší analýzu výkonu systémů či zaměstnanců, může nahradit a podporovat lidské rozhodování, vytvářet inovativní obchodní modely, produkty a služby a zvyšovat efektivnost výrobních i nevýrobních procesů. [16]

1.2.4 Internet věcí a služeb

Umožňuje propojení téměř všech věcí, včetně lidí, dat a procesů. Toto propojení se uskutečňuje prostřednictvím senzorů, jimiž jsou analyzována generovaná data. Existují tři základní typy propojení:

- 1) Mezi stroji – Machine to Machine (M2M)
- 2) Mezi stroji a lidmi – Person to Machine (P2M)
- 3) Mezi lidmi – Person to Person (P2P)

Prostřednictvím internetu věcí vznikají tzv. „chytré továrny“ se stroji a zařízeními, které může člověk ovládat na dálku, mohou se samostatně řídit a vzájemně mezi sebou „komunikovat“.[5]

1.2.5 Digitalizace

Pojem digitalizace znamená převod analogových objektů, dokumentů či celých procesů do digitální podoby. Pevod fyzických objektů je podmíněn vytvořením odpovídajícího virtuálního modelu tzv. digitálního dvojčete, který má stejné vlastnosti a vztahy jako reálný objekt. Dále je pak možné s virtuálním modelem experimentovat, simulovat provoz a kontrolovat jeho funkčnost.

Možnost digitalizace je podmíněna především celoplošnými komunikačními systémy a dostupností nových technologií související s již zmíněným internetem věcí a služeb.

Digitalizace umožňuje flexibilní digitální propojení procesů, věcí, strojů či surovin. Výsledkem této technologie je digitalizace výroby a vznik tzv. chytrých továren. Hlavním cílem digitalizace je zrychlení uvedení výrobku na trh a zvýšení produktivity a efektivity výroby. [14]

Na obrázku 1-2 je možné vidět příklad digitalizace samotného procesu výroby.



Obrázek 1-2: Digitalizace výroby [14]

1.2.6 Rozšířená a virtuální realita

Rozšířená realita může být chápána jako zlepšená verze reality. Tato technologie využívá reálný obraz světa a integruje do něj počítačově generované prvky. Nejznámějším přístrojem pro zmiňovanou technologii jsou tzv. Google Glass, které zobrazují dostupné informace z internetu pomocí hlasových příkazů. Brýle jsou navíc vybaveny kamerou, kterou lze pořizovat videa a fotografie. [6]

Virtuální realita v podstatě znamená „téměř realitu“. Jedná se o technologii, která vytváří takové virtuální prostředí, které člověk vnímá jako skutečnou realitu. Virtuální prostředí je vytvářeno pomocí počítače jako trojrozměrné, uživatel se tak stává součástí tohoto světa a může v něm provádět řadu činností. Důležitou roli pro to, aby se uživatel cítil ve virtuálním prostředí jako skutečně přítomen, hraje správná synchronizace senzorů a počítačového hardwaru a softwaru. Mezi nejznámější zařízení pro virtuální realitu patří např. brýle Oculus Rift. [7]

1.2.7 Simulace

Simulace patří mezi další trend, jehož podstatou je experimentování s modelem reálného systému. V prvním kroku se analyzuje reálný systém, ze kterého se následně sestaví simulační model, který je zjednodušenou formou reality. Na modelu jsou dále prováděny experimenty, na základě kterých jsou získávány výsledky. Ty pak musejí být správně interpretovány a použity na reálném systému. [8]

1.2.8 Umělá inteligence

Obor umělé inteligence se zabývá tzv. inteligentními roboty, které vykazují známky lidského rozumu. Možný vzhled budoucích robotů je ilustrován na obrázku 1-3. Umělá inteligence je schopná se učit pomocí dostupných dat, rozhodovat a předvídat budoucí změny, kterým se dokáže přizpůsobit. Podstata se zakládá na použití modelů lidské činnosti, která je tvořena strukturami lidského mozku.

Mezi nejčastější výpočetní modely k řešení umělé inteligence patří neuronové sítě. Schopnost učení sítě je založeno na rozpoznávání objektů na předložených obrázcích. Pro příklad: Jeden obrázek znázorňuje jablko a druhý hrušku. Opakováním procesu poznávání neuronová síť rozeznává jednotlivé obrázky stále rychleji a lépe. Dobře naučená síť je pak schopná rozpoznat hrušku od jablka i na fotografiích, které nikdy předtím nespatriila. Neuronové sítě mají široké využití, například jsou schopny detekovat úvěrová rizika, pojistné podvody či spamy. Vhodné jsou také v oblasti dopravní signalizace či při optickém rozpoznávání textů, písma a podpisů. [9]



Obrázek 1-3: Umělá inteligence [10]

2 Robotika

Předchozí kapitola blíže popsala jednotlivé oblasti Průmyslu 4.0, mezi které patří robotika, se kterou se podrobněji seznámíme v této kapitole. Jednotlivé podkapitoly jsou věnovány rozdělením robotů a popisem jejich jednotlivých částí.

Oblast robotiky zahrnuje vše, co se týče vývoje, konstrukce, programování a testování robotů. S příchodem internetu věcí (IoT) a s nárůstem využívání a zpracovávání velkých dat (Big data) význam robotiky rychle roste. [20]

Robot je relativně autonomní stroj, který je schopen vykonávat určité úkoly podle předem stanoveného způsobu. Svě okolí robot vnímá pomocí zabudovaných senzorů a je schopen reagovat na podněty z okolí. Robot se skládá z několika částí:

- Pohybový aparát – např.: kola, nohy, pásy
- Pohon zajišťující pohyb
- Smysly – např. schopnost vidět
- Zdroj energie – baterie nebo dynamo
- Vestavěný počítač, který představuje mozek robota [22]

2.1 Historie

1921: Slovo „robot“ bylo poprvé zmíněno českým spisovatelem Karlem Čapkem. Ve své hře R.U.R. (Rossum's Universal Robots) upozorňuje na nebezpečí vlivu techniky (robotů) na lidstvo.

1932: V Japonsku byl sestrojen robot jako hračka, tzv. Lilliput, který dokázal chodit pomocí mechanismu navíjení.

1941: Slovo „robotika“ bylo poprvé použito spisovatelem Isaacem Asimovem pro popis technologie robotů.

1942: Isaac Asimov sestavil 3 zákony robotiky:

- 1. zákon: robot nesmí způsobit škodu na zdraví či životu člověka
- 2. zákon: robot musí plnit rozkazy dané člověkem, pokud není v rozporu s 1. zákonem
- 3. zákon: robot musí chránit svoji vlastní existenci, pokud není v rozporu s 2. Zákonem

1951: Raymond Goertz navrhl první dálkově ovládané kloubové rameno.

1954: První programovatelný robot s názvem Unimate byl navrhnut Georgem Devolem pro potřeby automatizace.

1956: George Devol a Joseph Engelberger společně založili první společnost, s názvem Unimation, zaměřující se na robotiku. Tato společnost stále existuje.

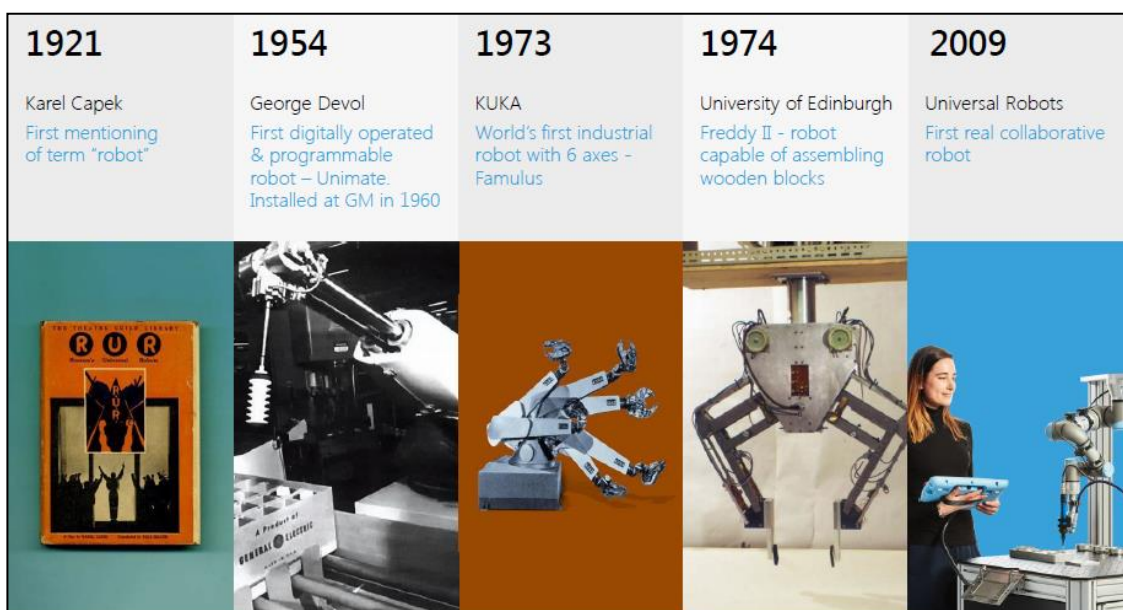
1957: První umělá družice s názvem Sputnik I. úspěšně odstartovala na oběžnou dráhu.

1966: Vznikl první mobilní robot na světě, tzv. Shakey.

1973: Společnost Kuka vyvinula prvního šestiosého průmyslového robota.

- 1979:** Bylo navrženo kloubové rameno robota s názvem SCARA k užití při montážích. Prohlubuje se zájem o mobilní robotiku. Je vyvinut robotický vůz s kamerou pro vidění – „The Stanford Cart”.
- 1990:** Založena společnost iRobot zaměřená na výrobu domácích a vojenských robotů.
- 1993:** Rozšíření robotiky do oblasti výzkumu škodlivého prostředí. Byl vyvinut osminohý robot Dante pro účely prozkoumávání vulkanického prostředí.
- 1996:** Společnost Honda vyvinula prvního samoregulačního robota se vzhledem připomínající člověka.
- 1999:** Společnost Sony vyvinula prvního robotického psa s názvem Aibo.
- 2000:** Společnost Honda představila robota s názvem Asimo se schopností rozpoznávat objekty, řeč těla, tváře a zvuky.
- 2002:** Vyvinut první robotický vysavač s názvem Roomba společností iRobot.
- 2009:** Společnost Universal robots představila prvního kolaborativního robota.
- 2011:** Do vesmíru byl poslán první humanoidní robot, tzv. Robonaut 2.
- 2012:** Toyota Prius společně s Googlem vyrobila první samořídící automobil.
- 2015:** Robot Sofia je první humanoidní robot, který dostal státní občanství, vystupuje v televizních rozhovorech a oslovuje diváky. [21]

Obrázek 2-1 zobrazuje hlavní milníky v historii robotizace.



Obrázek 2-1: Vývoj robotiky [38]

2.2 Vývoj robotiky ve světě

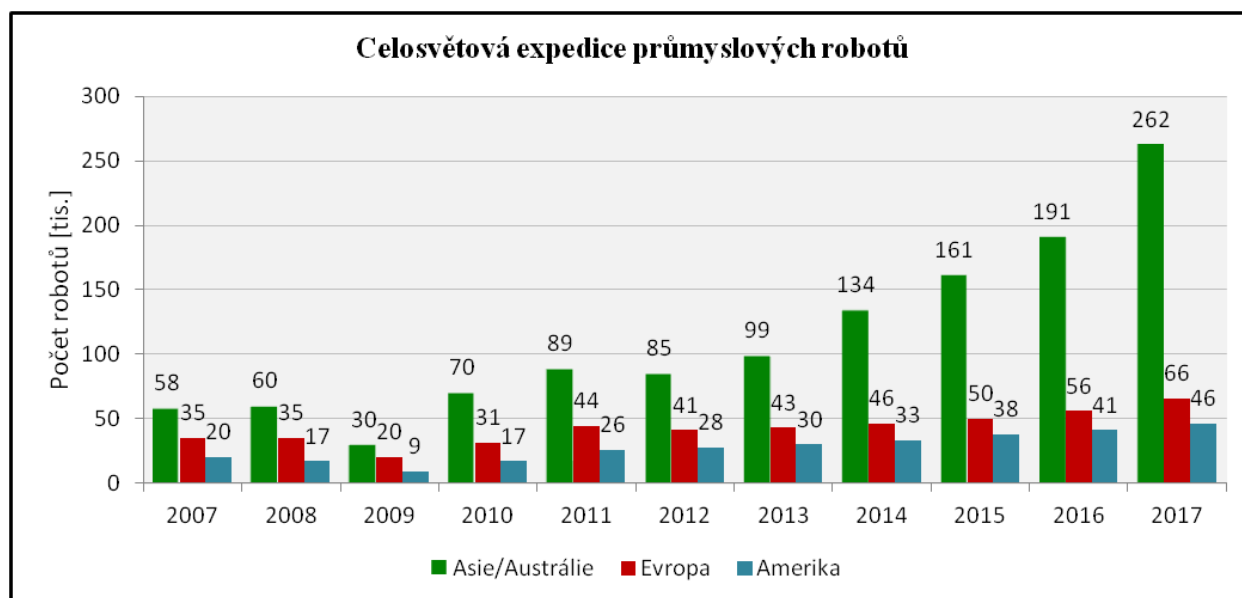
Graf na obrázku 2-2 znázorňuje vývoj prodeje robotů na území Asie/Austrálie, Evropy a Ameriky. Prodej robotů začal významně růst v roce 2014, a to především v oblasti Asie, kdy hodnota prodaných robotů dosáhla hranice 262 000 ks. Tato hodnota je o 37 % vyšší než celkový objem prodeje v roce 2015. Evropa zaznamenala mezi lety 2016 a 2017 zvýšení prodeje robotů o zhruba 18 %. Nejmenší průměrná roční míra růstu je ve státech Ameriky, zhruba o 10 % mezi jednotlivými lety 2012 a 2017.

Celkový objem prodeje se v roce 2017 zvýšil o 30 % na hodnotu 374 000 ks. Hlavním důvodem tohoto mimořádného růstu byla implementace robotů především v oblasti strojírenského a elektronického průmyslu.

Ze statistik z roku 2017, 73 % podíl na celkovém objemu prodeje robotů má společně Čína s Japonskem, Korejskou republikou, Spojenými státy americkými a Německem. Vedoucí pozici zaujímá Čína s počtem téměř 138 000 prodanými roboty, to je více než celkový objem prodeje Evropy a Ameriky dohromady. Druhou příčku si drží technologicky velmi vyspělé Japonsko, které v roce 2017 zvýšilo svůj prodej o 18 % na hodnotu téměř 46 000 kusů. Třetí největší prodej zaznamenala Korejská republika s počtem 39 732 ks prodaných robotů, čtvrté místo zaujímá USA s 33 192 prodanými jednotkami. Na pátém místě je pak jediný stát Evropy – Německo, které v roce 2017 prodalo 21 404 jednotek. [26]

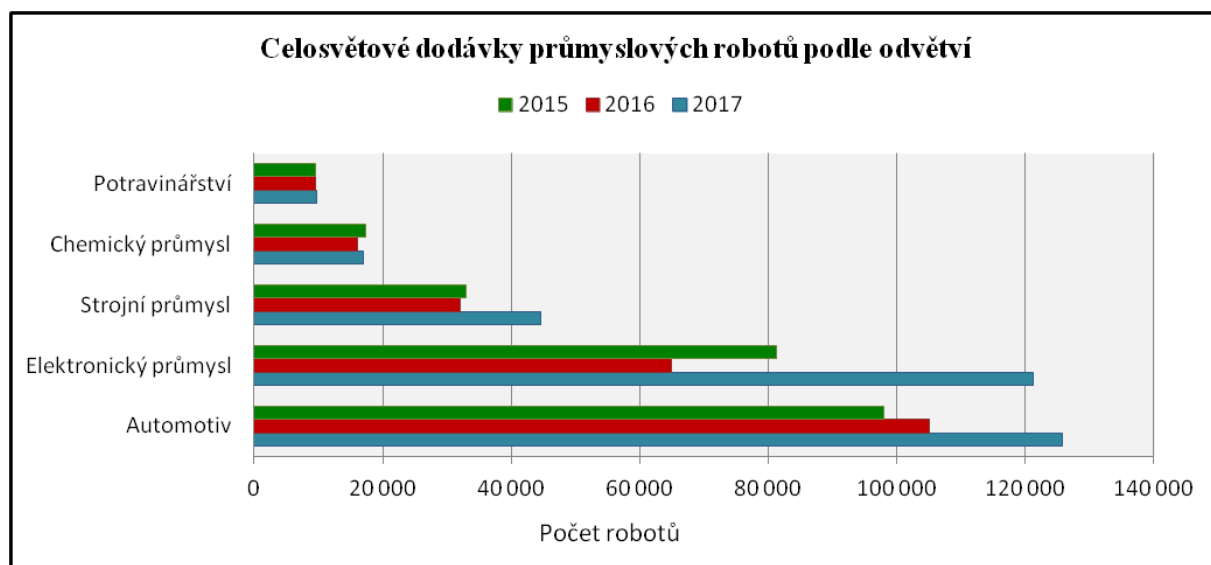
Mezi další důležité trhy v oblasti robotiky patří např. [26]:

- Taiwan
- Vietnam
- Singapur
- Thajsko
- Itálie



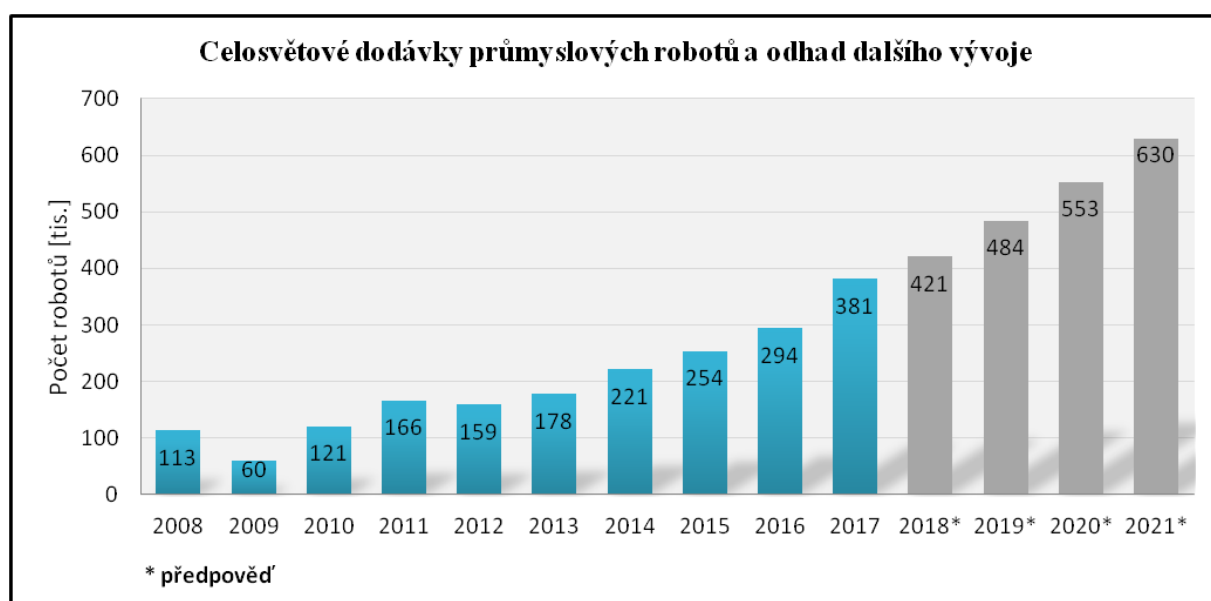
Obrázek 2-2: Vývoj expedice průmyslových robotů, zpracováno ze zdroje [26]

Graf na obrázku 2-3 zachycuje vývoj dodávek průmyslových robotů dle odvětví mezi lety 2015, 2016 a 2017. Mezi nejvýznamnějšího odběratele robotů patří automobilový průmysl, který v roce 2017 zaznamenal mimořádný nárůst na hodnotu 125 700 robotů aplikovaných do výroby. Nejvyšší nárůst však patří elektronickému průmyslu, který ve srovnání s rokem 2016 zvýšil svůj prodej robotů o neuvěřitelných 33 %. [26]



Obrázek 2-3: Vývoj dodávek průmyslových robotů dle odvětví, zpracováno ze zdroje [26]

Následující graf na obrázku 2-4 zobrazuje celosvětový vývoj prodeje robotů od roku 2008 až po rok 2017 a zároveň znázorňuje prognózu vývoje až do roku 2021. V roce 2019 a 2020 by měl prodej průměrně vzrůst o 14 %. V roce 2021 je hranice celosvětového prodeje odhadována na 630 000 ks robotů. [26]



Obrázek 2-4: Vývoj dodávek průmyslových robotů, zpracováno ze zdroje [26]

2.3 Základní části robotů

V dnešní době existuje mnoho druhů robotů s celou řadou možných uplatnění v různých oborech. Jejich rozdělení je tak rozsáhlé. Nicméně všechny roboty mají 2 základní části. [23]

1) Řídící podsystém s programem

Každý robot obsahuje programovací kód počítače. Podle naprogramovaných funkcí pak robot vykonává určité činnosti, např. pohyb. Správné naprogramování robotů je klíčové z hlediska efektivní funkčnosti robota.

Máme 3 typy robotických programů:

- Dálkové ovládání - robot má již existující sadu příkazů, které se spustí ve chvíli, kdy obdrží signál od řídicího zdroje.
- Umělá inteligence - robot, který je schopen s prostředím vzájemně interagovat, a to bez zdroje kontroly. Na základě dřívějšího naprogramování reaguje na vzniklé situace, objekty či problémy.
- Hybrid - robot, který využívá kombinaci funkce dálkového ovládání a umělé inteligence.

2) Akční podsystém

Akční podsystém představuje mechanické části robota zajišťující pohyb, pohony a senzory.

a) Pohony

Většina robotů je z hlediska bezpečnosti a dlouhé životnosti poháněna pomocí olověných baterií. Jejich nevýhodou je vysoká hmotnost. Dalším možným řešením je použití lehčích kadmiových baterií, jejichž kapacita je však nižší a zároveň jsou i dražší.

Jako zdroj energie je možné použít různé druhy motorů [23] :

- Elektromotory pracující na principu přeměny mechanické energie na elektrickou.
- Motory s piezoelektrickým pohonem generující postupné elastické vlny fungující na základě převodu deformovaného povrchu piezoelektrické vrstvy statoru na rotor.
- Pneumatické pohony vytvářející zdroj energie na bázi stlačeného vzduchu. Tyto pohony jsou hojně využívány ve všech oblastech robotiky hlavně z důvodu jednoduchosti, provozní spolehlivosti a nízké ceně.
- Hydraulické pohony jsou založené na tlakové energii a nestlačitelnosti kapaliny.

Mezi potenciální zdroje, které by v budoucnu mohly napájet roboty, můžeme zařadit např.: solární a nukleární energii, setrvačnickou energii či energii biomasy. [24]

b) Senzory

Hlavní funkcí senzorů je signalizování výskytu různých fyzikálních veličin pomocí čidla a následné zpracování získaných informací. Robotické senzory rozdělujeme na 2 základní typy, interní a externí. Vhodná kombinace obou typů vede k získávání správných informací.

Interní senzory:

Pomocí interních senzorů je hodnocen vnitřní stav robota.

- Polohové senzory - měří úhly kloubů robota v určitých polohách.
- Rychlostní senzory - postupně v určitých intervalech zaznamenávají polohu robota a vypočítávají rychlost změny pozice.

Externí senzory:

Senzory strojového vidění - určeny pro kontrolu tvarů, kvality objektů, jejich počítání, nacházení možných vad či pro operace typu „pick and place“ nebo pro čtení čárových kódů.

Existují dva typy čidel:

- 2D čidla - nezbytná pro kontrolu samotného pohybu robota. Slouží také pro zjištění polohy zpracovávané součástky.
- 3D čidla - pokročilejší systém rozpoznávání objektů je založen na spojení dvou kamer, které určují polohu objektů v trojrozměrném prostoru. Robot je tak schopný nejen lokalizovat součástku, ale také určit její přesnou polohu a natočení. Druhou kameru je možné také nahradit laserovým skenerem.

Rozdělení externích senzorů:

- Světelné senzory - pomocí těchto senzorů robot rozeznává světlo a tmu a je schopný měřit intenzitu odráženého světla. Praktické využití je pak především v oblasti, kde chceme rozeznávat barevné povrchy nebo v případě navigování robotů po vodících čarách.
- Silové senzory - zajišťují robotům „cit“. Díky těmto senzorům je robot schopný odhadnout, usměrnit a kontrolovat sílu používanou pro práci s objektem.
- Senzory kolizí - nezbytnou součástí jsou senzory, které zamezují střetu robota s objektem či s osobou. Díky těmto senzorům je tak zajištěna bezpečnost samotného pracoviště.
- Senzory úchopů - vhodné zejména pro detekování nesprávného uchopení objektů, kde hrozí jejich upuštění. Pomocí těchto senzorů robot také pozná, že jeho „ruka“ je prázdná.
- Bezpečnostní senzory - zaručují bezpečnost práce na pracovištích, kde spolu úzce spolupracují člověk a robot. Tyto senzory jsou nezbytnou vlastností každého robota, především pak kolaborativního. [25]

2.4 Rozdělení robotů dle konstrukce

Tato kapitola se zabývá rozdělením průmyslových robotů z hlediska jejich stavební konstrukce a podrobnějším popisem jednotlivých typů.

1) Kartézské roboty

Jedná se o mechatrická zařízení, které mají minimálně tři lineární osy řízení a tři lineární klouby s rozsahem posuvů ve směru os X, Y, Z. Skládají se z kovové konstrukce, která určuje dráhy os a současně zajišťuje podporu pro zdvih při zatížení. Rozsah pohybů robota je tak omezen jeho nosnou konstrukcí. Mnohdy jsou vybaveny zápěstím, pomocí kterého je zajištěn rotační pohyb. Tyto roboty nachází své uplatnění především při operacích, kde je vyžadován velký poměr váhy a síly, např.: při zdvihání a přemísťování těžkých součástí. [27] [28]

2) SCARA roboty

Pojem SCARA je zkratkou anglického názvu – Selective Compliant Articulated Robot Arm, což v překladu znamená „selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno“. Jak už název napovídá, jedná se o několikaramenný typ robota s využitím především pro vysokorychlostní montáže. Na obrázku 2-5 je příklad SCARA robota od světového výrobce ABB. Mezi hlavní výhody SCARA robotů patří zejména:

- Rychlost
- Přesnost
- Nízká váha
- Jednoduché ovládání
- Přijatelná pořizovací cena

Naopak mezi nevýhody můžeme zařadit například omezený rozsah a flexibilitu.

Jak již bylo zmíněno v kapitole o historii robotiky, první SCARA robot byl zkonstruován v roce 1979 v Japonsku. Tento vynález se stal důležitým milníkem ve světě robotiky. Mezi hlavní oblasti použití SCARA robotů patří automobilový průmysl, ocelárny, potravinářský a farmaceutický průmysl či laboratoře. [29]



Obrázek 2-5: Robot SCARA [30]

3) Delta roboty

Jinak také rovnoběžníkové roboty jsou charakteristické svým vzhledem, který připomíná pavouka, viz obrázek 2-6. Podstatou konstrukce je společná základna, ke které jsou připojeny vzájemně spojené paralelogramy, které udržují orientaci koncového efektoru. Uchopení robota je vždy nad pracovním prostorem. Významnou předností těchto robotů je rychlost, kterou jsou schopny pracovat. Využití nacházejí při manipulaci součástek, balení, vkládání a vykládání z krabic. Nejčastěji se vyskytují v potravinářském, elektronickém a farmaceutickém průmyslu. [27]



Obrázek 2-6: Delta robot [31]

4) Dvouramenné roboty

Výhoda robotů se dvěma rameny je schopnost pracovat velmi rychle a efektivně. Nosnost těchto robotů je malá, proto se nasazují především na drobné montážní operace v oblasti elektrotechnického průmyslu. Na obrázku 2-7 je vidět dvouramenný kolaborativní robot YuMi od značky ABB. [27]



Obrázek 2-7: Robot YuMi [32]

5) Šestiosé roboty

Výhodou šestiosých robotů oproti SCARA robotům je jejich zvýšená flexibilita a dosah, zajištění rychlého a přesného pojezdu. Pomocí tohoto řešení je dosahováno zvyšování objemu výroby. Novodobé typy jsou navíc konstruovány s nižší hmotností i spotřebou energií. [27]

6) Kloubové roboty

Základem těchto robotů jsou rotační spoje, tzv. klouby, které spojují jednotlivé části robota. Jejich konstrukce je různá a pohybuje se od 2 kloubů až po systémy s 10 klouby. Nejčastěji se skládají z ramena spojeného se základnou, otočného trupu, bicepsu, předloktí a zápěstí. Tyto

roboty patří mezi nejpoužívanější na trhu především díky jejich flexibilitě, rychlosti, dosahu a přesnosti.

Tento typ robotů má širokou škálu možných uplatnění, od těžších operací až po jemnou manipulaci s drobnými součástkami. Jsou vhodné pro operace balení, paletizace či přemísťování. [27]

2.5 Rozdělení robotů dle použití

Tato podkapitola člení roboty podle toho, pro jakou oblast použití jsou konstruovány.

1) Svařovací roboty

Důvodem vývoje svařovacích robotů je skutečnost, že nedílnou součástí téměř každého výrobního podniku jsou pracoviště svařování. Automatizace těchto pracovišť pomocí svařovacích robotů zaručuje vysokou kvalitu svarů. Roboty jsou používány nejen pro operace svařování elektrickým obloukem či laserem, ale také pro operace pájení či řezání.

Mezi výhody svařovacích robotů patří:

- Zlepšení kvality svaru
- Snížení výrobních nákladů
- Zvýšení kvality a bezpečnosti práce
- Rozsáhlá možnost aplikací
- Nenáročnost na montážní plochu
- Automatická možnost změn polohy hořáku

Pokud jsou roboty digitálně propojené je možné je navíc nastavovat z jednoho místa a snížit tak časovou náročnost pro nastavování. [27]

2) Lakovací roboty

Aplikace lakovacích robotů spadá převážně do oblasti stavebnictví či automobilového průmyslu, nicméně v dnešní době se jejich uplatnění rozšiřuje i do jiných oborů. Mezi výhody těchto robotů patří [27]:

- Úspora lakovacích barev až o 50 %
- Snižování nákladů
- Snižování emisí
- Rychlost, produktivita a flexibilita
- Nahrazují práci člověka v prostředí s chemickými látkami
- Značné zkrácení procesu lakování

3) Paletizační roboty

Vývoj těchto robotů začal již v roce 1982, kdy se výrobní podniky začaly potýkat s obtížnou a namáhavou manipulací s těžkými břemeny. Konstrukce tehdejšího paletizačního robotu spočívala ve speciální úchopové hlavici, která přemísťovala výrobky z paletizační linky na paletu.

V dnešní době jsou tyto roboty velmi flexibilní se schopností rozpoznat různé velikosti krabic. Díky této inovaci se paletizační roboty nasazují v potravinářském průmyslu, kde dokážou manipulovat se všemi velikostmi boxů či pytlů. Další uplatnění nacházejí ve stavebnictví, kde zvládnou manipulovat se sádrokartonovými deskami či skleněnými výrobky.

Mezi hlavní výhody patří [33]:

- Flexibilita
- Přesnost
- Rychlost
- Schopnost zdvihu až 2 tuny
- Dlouhá životnost
- Snižují náklady

Další samostatnou skupinu průmyslových robotů představují kolaborativní roboty, tzv. coboty, kterým je věnována následující kapitola.

3 Kolaborativní roboty

Tato kapitola se zabývá přesnější charakteristikou kolaborativních robotů, analýzou jejich výrobců a bezpečností robotizovaných pracovišť.

Pojem kolaborace pochází z latinského slova collaborare a znamená spolupráci. Zásadní rozdíl mezi konvenčními průmyslovými a kolaborativními roboty spočívá v úrovni robotické aplikace, kdy kolaborativní robot zastává nejvyšší stupeň spolupráce. [39]

Úrovně robotické aplikace [41]:

- 1) Konvenční – robot se nachází v ochranné zóně a je zamezen přístup operátora
- 2) Koexistence - obsluze jiného pracoviště je povolen vstup do pracovního prostoru robota
- 3) Kooperace - obsluha a robot pracují na stejném pracovišti, ale bez vzájemné spolupráce
- 4) Kolaborace - přímá spolupráce obsluhy s cobotem

Hlavním důvodem vývoje těchto robotů je monotónní ergonomicky nevyhovující či méně bezpečná činnost člověka, která vyžaduje vysokou a stále stejnou přesnost.

Následující tabulka 3-1 znázorňuje hlavní rozdíly mezi konvenčními a kolaborativními roboty.

Tabulka 3-1: Srovnání konvenčních a kolaborativních robotů

KONVENČNÍ ROBOTY	KOLABORATIVNÍ ROBOTY
Ochranné zóny	Přímá spolupráce s člověkem
Bezpečnost zajištěna pomocí snímačů pohybu při vstupu na pracoviště	Bezpečnostní prvky zabudované přímo v robotu
Vysoké nároky na znalost programování	Jednoduché programování
Náročné nastavení	Rychlé nastavení a uvedení do provozu
Složitá přestavba na jiný typ operace	Flexibilní využití
Velké požadavky na plochu	Malé požadavky na plochu
Vyšší pořizovací cena s poměrně vysokými vedlejšími náklady	Nižší pořizovací cena a rychlejší návratnost investice

Nicméně navzdory všem výhodám mají kolaborativní roboty i své slabé stránky. Jedná se zejména o rychlost kolaborativních robotů, která je oproti konvenčním typům ve většině případů značně nižší. Důvodem tak nízké rychlosti je zajištění bezpečnosti při přímé spolupráci s člověkem. Omezený výkon robota tak eliminuje možnost zranění obsluhy. [39]

3.1 Výrobci

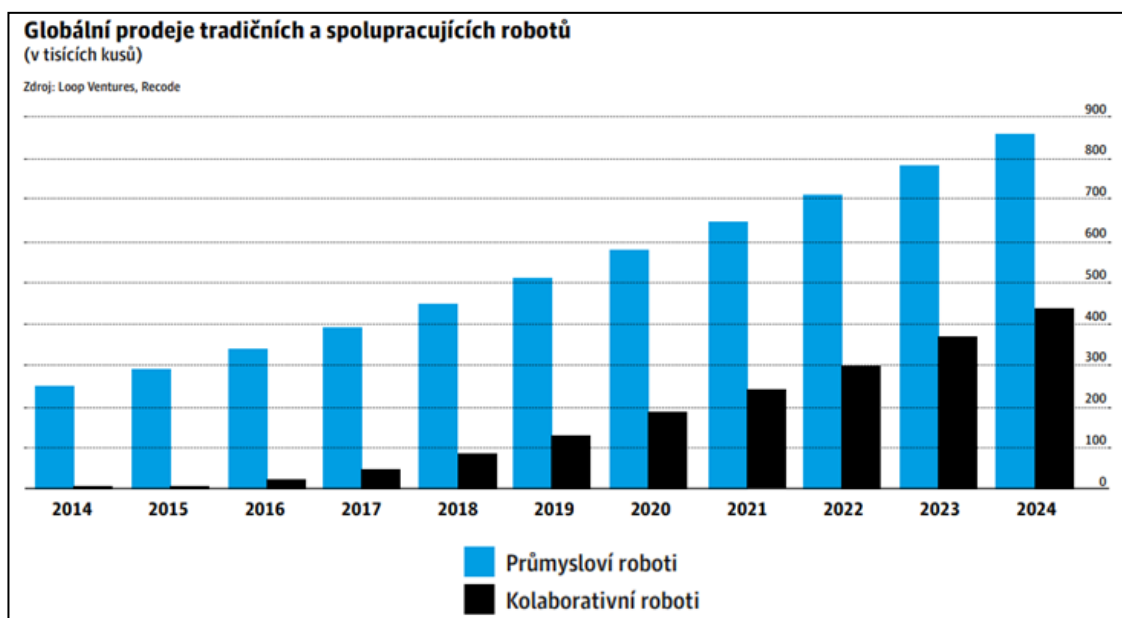
V této podkapitole jsou sepsány nejznámější výrobci kolaborativních robotů z celého světa. Mezi přední výrobce patří společnost FANUC, která podle magazínu Robotics and

Automation News nainstalovala do roku 2017 více jak 450 000 ks průmyslových robotů. Tento nárůst je dle předpokladů právě díky zvyšujícímu se zájmu o kolaborativní roboty. Další světovou značkou robotů je společnost ABB s.r.o., která dosáhla hranice 300 000 ks průmyslových robotů, stejně jako firma Yaskawa. Společnost KUKA AG také patří mezi světové výrobce s celkovým počtem cca 80 000 ks nainstalovaných robotů.

Společnost Universal Robots A/S se zabývá výrobou zaměřenou pouze na kolaborativní roboty a na světovém trhu jsou řazeny mezi špičky ve svém oboru. Roboty UR jsou instalovány po celém světě, např. ve společnosti Nissan či Yokohama.

Dále se kolaborativní robotikou zabývá společnost Stäubli, Epson, Kawasaki, Rethink Robotics či Denso Wave. [37]

Následující graf na obrázku 3-1 znázorňuje poměr celosvětového prodeje konvenčních a kolaborativních průmyslových robotů. Graf je sestaven na základě odhadu společnosti Loop Ventures a je možné vidět, že ještě v roce 2016 se na celkovém prodeji podílely naprostou většinou konvenční průmyslové roboty. Od tohoto roku začal zájem o kolaborativní roboty značně stoupat a v letošním roce prodej dosáhl hodnoty kolem 90 000 ks. Do budoucna navíc analytici předpokládají ještě výraznější růst, každoročně cca o 61%. V roce 2025 by se mělo prodat přibližně 434 000 ks kolaborativních robotů, což by tvořilo téměř polovinu celkového prodeje. Důvodem expanze cobotů do výroby je hlavně jejich relativně nízká pořizovací cena, která se pohybuje řádově kolem 30 000 USD bez dalších dodatečných nákladů. Na rozdíl od konvenčních robotů, jejichž cena se pohybuje kolem 100 000 USD včetně nákladů na programování. Tato vysoká cena je často navyšována ještě o investice do ochranných opatření zajišťující bezpečnost pracoviště. Ta v případě kolaborativních robotů není nutná, jelikož coboti v sobě mají integrované bezpečnostní prvky, které zabraňují kolizním situacím. [40]











Obrázek 3-1: Graf prodeje tradičních a kolaborativních robotů [40]

Tabulka 3-2 zobrazuje seznam nejpoužívanějších kolaborativních robotů na světě.

Tabulka 3-2: Seznam nejpoužívanějších kolaborativních robotů

KOLABORATIVNÍ ROBOTY	VÝROBCE	TYP	OZNAČENÍ
	Universal robots A/S	UR	UR3
	Universal robots A/S	UR	UR3e
	Universal robots A/S	UR	UR5
	Universal robots A/S	UR	UR5e
	Universal robots A/S	UR	UR10
	Universal robots A/S	UR	UR10e
	KUKA AG	LBR	LBR iisy
	KUKA AG	LBR	LBR iiwa 7 R820
	KUKA AG	LBR	LBR iiwa 14 R820
	FANUC	CR	CR-4iA
	FANUC	CR	CR-7iA CR - 7iA/L
	FANUC	CR	CR-15iA

	FANUC	CR	CR-35iA
	ABB s.r.o.	YuMi	YuMi
	Kawasaki Robotics GmbH	Dual-arm SCARA	duAro1
	Kawasaki Robotics GmbH	Dual-arm SCARA	duAro2
	MABI Robotic	Speedy	Speedy 6
	MABI Robotic	Speedy	Speedy 12
	Rethink Robotics	Sawyer	Sawyer
	Yaskawa	Motoman	HC10

3.2 Parametry

Tato podkapitola se věnuje technickým parametrům kolaborativních robotů. V tabulce 3-3 jsou sepsány charakteristiky pro robota UR3 od společnosti Universal Robots A/S. Podle této specifikace se rozhoduje, do jakého pracovního prostoru a na jakou pracovní činnost se kolaborativní robot nejvíce hodí.

Specifikace:

- Manipulační zatížení [kg] - největší váha přípustná pro konstrukci robota
- Dosah [mm] - maximální poloha, ve který je robot schopný účinně pracovat
- Stupně volnosti - stanovují počet otočných kloubů

Výkon:

- Opakovatelnost [mm] - vyjadřuje kolikrát a s jakou přesností je robot schopen vrátit se do stejné polohy. Rozsah je uváděn s tolerancí v řádech setin milimetrů.
- Povolená okolní teplota [°C] - udává rozsah teploty, ve které může cobot pracovat
- Příkon [W] - uvádí spotřebu energie

Pohyb:

- Pracovní rozsah [°] - maximální stupeň natočení jednotlivých kloubů
- Maximální rychlost [°/s; mm/s] - rychlost otáčení či posuvu kloubů

Fyzické vlastnosti:

- Rozměry [mm] - průměr nebo půdorysný rozměr
- Hmotnost [kg] - celková hmotnost robota v nezátíženém stavu
- Materiál - konstrukční materiál
- Typ konektoru pro nástroj - specifikuje, jaký nástroj může být na robota nainstalován
- Klasifikace IP (International Protection) - stupeň ochrany před nepředvídatelnými zásahy člověka do těsné blízkosti robota
- Hluk [dB] - intenzitu rušivého zvuku

Mezi další parametry, které se udávají v technické dokumentaci kolaborativních robotů, jsou vlastnosti kontroléru a ovládacího panelu. Nejčastěji se udávají jejich hmotnosti, materiál a způsob napájení či délka kabelu. Důležitou součástí dokumentace je seznam oblastí, do kterých je daný cobot vhodný implementovat. Mezi nejčastější aplikace patří: Balení a paletizace, montáž, operace „Pick and Place“, šroubování, obsluha stroje či kontrola kvality. [36]

V tabulce 3-3 je sepsána technická specifikace robota UR3 od společnosti Universal Robots A/S.

Tabulka 3-3: Specifikace robota UR3

Universal Robots A/S - UR3	
Technická specifikace	
Rozměry: Ø 128 mm	
Hmotnost: 11 kg	
Zatížení: 3 kg	
Dosah: 500 mm	
Stupně volnosti: 6 otočných kloubů	
- podstavec:	±360° ± 180°/s
- rameno:	±360° ± 180°/s
- loket:	±360° ± 180°/s
- zápěstí 1:	±360° ± 360°/s
- zápěstí 2:	±360° ± 360°/s
- zápěstí 3:	±360° ± 360°/s
Povolená okolní teplota: 0–50°C	
Klasifikace IP: IP64	
Opakovatelnost: ±0,1 mm	
Sektor využití:	
- balení a paletizace, lepení, svařování	
- šroubování, obsluha strojů, montáž	
- leštění, kontrola kvality	
- laboratorní analýzy	



3.3 Koncové efekторы

Tato podkapitola je věnována nástrojům, tzv. koncovým efektorům kolaborativních robotů. Koncové efekторы většinou nejsou součástí portfolia výrobců samotných robotů. Mezi nejznámější dodavatele těchto nástrojů patří:

- Universal Robots A/S
- Schmalz GmbH
- Robotiq, Inc.
- OnRobot A/S
- Weiss Robotics GmbH & Co
- Schunk GmbH & Co. KG


Nástroje jsou vyráběny tak, aby byly vhodné pro kolaborativní roboty od více výrobců současně. Konstruuji se na základě norem a s ohledem na kompatibilitu s osami ramenou cobotů. V případě, že koncový efektor není možné s robotem spojit, existují na trhu tzv. adaptéry, které plní funkci spojovacího členu mezi nástrojem a robotem. Na trhu jsou dostupné různé typy koncových efektorů rozdělující se podle oblasti použití.

Praktická část diplomové práce se bude zabývat aplikací robota na pracoviště laserového tisku, kde se provádějí operace tzv. „Pick and Place“ = vzít a umístit. Proto je další část věnována koncovým efektorům, které jsou vhodné pro efektivní vykonávání této činnosti. Jedna z možností, kterou trh nabízí, je koncový efektor ve formě 2 proti sobě posuvných prstů, které uchopují a umísťují objekty jejich jednoduchým sevřením a rozevřením. Příklad takového efektoru je na obrázku v tabulce 3-4. Pokročilejším typem je pak nástroj ve formě ruky až s pěti prsty. Alternativou je vakuový koncový efektor, který je pomocí přísavek schopen objekt přisát a díky podtlaku jej bezpečně přemístit. Tento typ efektoru je znázorněn na obrázku 3-2 vlevo. Inovativní typ představený v roce 2018 společností OnRobot A/S funguje na základě tzv. Van der Waalsových sil, které vzniknou při přilnutí objektu na plochu nástroje, viz obrázek 3-2 vpravo. [42]



Obrázek 3-2: Vlevo vakuový efektor, vpravo efektor na principu Van der Waalsových sil [43]

Tabulka 3-4: Koncové efekty pro roboty UR

Universal robots A/S - koncové efekty	
Schunk end-of-arm modular system - co-act gripper	
Použití:	
- Balení a paletizace	
- Montáž	
- Uchopování a přemísťování	
- CNC obrábění	
- Šroubování	
- Obsluha stroje	
Výhody:	
- kolaborativní uchopovací systémy s přímým nebo externím připojením	
- automatizace manipulačních a montážních úloh	
- snímač síly	
- snímač točivého momentu	
- možnost výměny efektoru	

3.4 Bezpečnost kolaborativních robotů

Na bezpečnost pracovišť jsou v dnešní době kladeny stále větší požadavky. Důkladné zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci pomáhá předcházet a eliminovat pracovní úrazy. Technických norem a standardů, které se zabývají bezpečností robotizovaných pracovišť, je celá řada.

Nejdůležitější ČSN normy [35]:

- ČSN EN ISO 10218-1 (18 6502) - *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty*
- ČSN EN ISO 10218-2 (18 6502) - *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace*
- ČSN EN ISO 12100 (83 3001) - *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*
- ČSN EN ISO 13849-1 (83 3205) - *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci*
- ČSN EN ISO 13850 (83 3311) - *Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci*
- ČSN EN ISO 13857 (83 3212) - *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami*
- ČSN EN ISO 13855 (83 3303) - *Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*

Kolaborativní roboty se od konvenčních průmyslových robotů do určité míry liší, a to především v úrovni součinnosti s člověkem. Na rozdíl od průmyslových robotů, které pracují v relativně uzavřeném prostoru bez přístupu operátora, kolaborativní roboty přímo spolupracují s člověkem. Zajištění bezpečnosti se proto přenáší přímo na robota samotného.

Cobot, včetně nástrojů a efektorů, je vybaven bezpečnostními prvky, které eliminují riziko úrazu operátora. Pomocí omezení rozsahu pohybu a rychlosti robota je eliminován kontakt s obsluhou. Každý cobot je vybaven funkcí nouzového zastavení, varovnými světly či majáčky a bezpečnostními spínači pro okamžité přerušení činnosti.

V roce 2016 byla vydána nová technická specifikace ISO/TS 15066: *Roboty a robotická zařízení – kolaborativní roboty*. Specifikace byla sepsána komisí, která se skládá ze samotných výrobců kolaborativních robotů – Universal Robots A/S, ABB, Kuka, Fanuc, Yaskawa, Rethink Robotics a Denso Wave. Obsahuje seznam doporučení pro konstrukci cobotů a návrh jejich pracovišť. Nejdůležitějším bodem je posouzení předvídatelného dotyku robota s obsluhou a zabránění kontaktu s částmi těla od krku výš. [35]

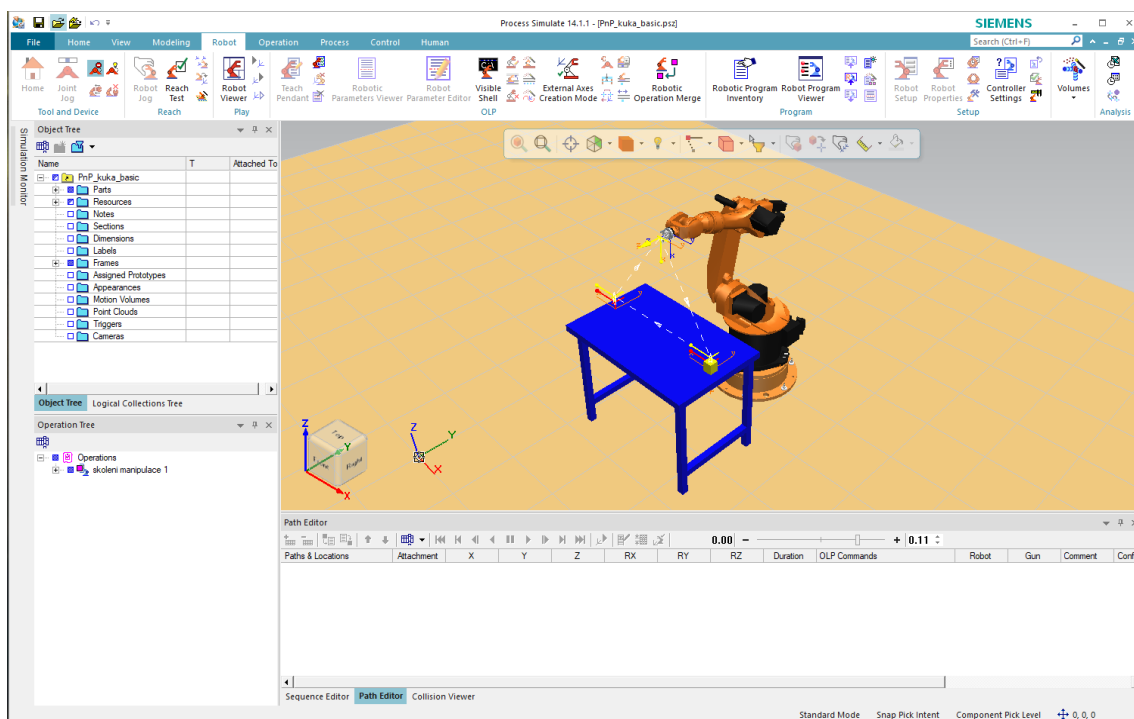
4 Tecnomatix Process Simulate

Tato kapitola seznamuje s uživatelským prostředím modulárního systému Tecnomatix Process Simulate od společnosti Siemens, který je výchozím programem pro praktickou část diplomové práce.

System pracuje ve 3D prostředí s možností importovat data i z jiných modelovacích systémů či přímo namodelovat vlastní objekty. V programu je možné nasimulovat různé výrobní či procesní operace, ze kterých je možné na základě experimentování vyhodnocovat optimální řešení. [35]

První oblastí, na kterou se tento systém zaměřuje, je oblast Process Simulate Human, která na základě zadaných parametrů generuje model člověka, který je schopný provádět různé operace. Hlavní podstatou těchto simulací je sledování, zda ergonomie pracoviště je navržena pro daného operátora s ohledem na bezpečnost práce. [36]

Druhou oblastí je Process Simulate Robotics, ve které budou prováděny simulace se zvolenými kolaborativními roboty. Uživatelské prostředí tohoto programu je vidět na obrázku 4-1.



Obrázek 4-1: Uživatelské prostředí programu Tecnomatix Process Simulate

Hlavní výhody:

- Ověření efektivity výrobních procesů ve stádiu návrhu
- Optimalizace dynamických pohybů a drah robota
- Verifikace korektnosti programů robota
- Celková optimalizace výrobních linek

5 Představení firmy

Praktická část diplomové práce je zadána ve společnosti ept connector s.r.o. sídlící v Habartově. Mateřská společnost byla založena v německém Buchingu v roce 1973, kde se dodnes vyvíjejí a vyrábějí obráběcí stroje a nástroje pro potřeby firmy. V roce 1979 společnost přemístila své sídlo do Peitingu. Závody se kromě Německa a České republiky dále nacházejí v čínském Šanghaji a ve Virginii v USA. Na obrázku 5-1 je výrobní závod v Habartově.



Obrázek 5-1: Společnost ept connector s.r.o.

Firma se více jak 45 let zabývá vývojem, výrobou a dodávkou konektorů pro desky tištěných spojů. Tyto spoje jsou využívány např. v průmyslové automatizaci, komunikační technice či v medicíně. Příklad vyráběných konektorů je znázorněn na obrázku 5-2. Společnost je vybavena moderními technologiemi jako např. přesné stříhání kovových materiálů, vstřikování plastů, poloautomatické či automatické osazování kontaktů do plastových izolátorů.



Obrázek 5-2: Výběr z produktového portfolia společnosti

6 Popis pracoviště a tvorba 3D modelu

Jedná se o pracoviště laserového potisku, které je znázorněno na obrázku 6-1. Hlavní část tvoří laserová tiskárna doplněná pásovým dopravníkem umístěná na samostatném stole. V přední části se nachází přípravný stůl, na kterém operátor orientuje konektory do správné polohy.



Obrázek 6-1: Pracoviště laserového potisku

Celý proces potisku spočívá v postupném umístění vhodně orientovaných konektorů na dopravník, po kterém jsou dovezeny k samotnému laseru, kde dochází k natisknutí kódu. Dále jsou konektory posouvány na konec dopravníku, kde spadnou do připraveného KLT boxu. Nejdůležitější je správné zorientování konektoru na vstupu, jelikož potisk musí být proveden pouze na jednu určitou stranu, viz obrázek 6-2. Správná strana pro potisk je rozeznatelná pomocí malého detailu - zoubku, který je na boční straně konektoru.

Pracoviště je nastavené na tisk až 10 druhů konektorů o různé velikosti i tvaru. Časová norma je pro všechny druhy konektorů stejná, a to 0,05 min/ks respektive 3 sec/ks.



Obrázek 6-2: Vizualizace činnosti na pracovišti potisku

Na základě zaznamenaných fotografií je vytvořen zjednodušený 3D model pracoviště pomocí CAD softwaru Solid Edge od společnosti Siemens PLM Software, který je zobrazen na obrázku 6-3.



Obrázek 6-3: 3D model pracoviště laserového potisku

7 Návrh řešení

Výrobní proces na zvoleném pracovišti je rutinní činnost, kterou lze snadno automatizovat. Proto je pracoviště vhodné pro aplikaci kolaborativního robota. Koncept celé automatizace se skládá spojením několika technologií na základě souladu provozních parametrů s požadavky procesu a pracoviště. Proces přípravy konektorů do správné polohy je automatizován pomocí vibračního zásobníku s vibrační deskou, identifikace konektorů ve vhodné pozici je zajištěna kamerovým systémem a samotná manipulace je prováděna pomocí kolaborativního robota. Celý proces je v rámci koncepčního návrhu nasimulován v softwaru Tecnomatix Process Simulate od společnosti Siemens PLM Software.

Jak již bylo zmíněno v kapitole výše, pracoviště je přizpůsobené pro potisk různých konektorů. Na obrázku 7-1 jsou vybrané typy konektorů.



Obrázek 7-1: Ukázka vybraných typů konektorů pro potisk

7.1 Vibrační zásobník

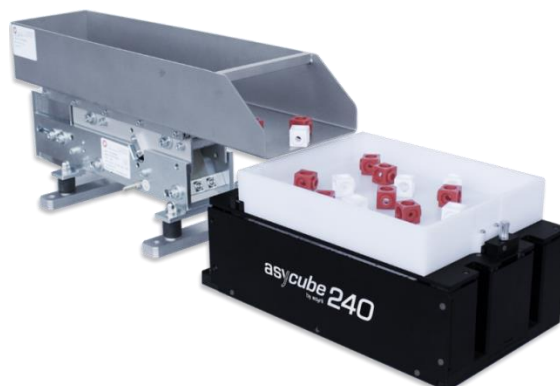
Pro rozpoznávání správné orientace konektorů je na pracovišti navržen vibrační zásobník s vibrační deskou a kamerovým systémem od společnosti Asyril. Tento produkt se vyznačuje jednoduchou konektivitou se všemi nejpoužívanějšími typy kolaborativních robotů. Společnost nabízí celkem 4 velikosti zásobníků, a to:

- Asycube 50 pro součástky od 0,1 mm do 5mm
- Asycube 80 pro součástky od 3 mm do 10 mm
- Asycube 240 pro součástky od 5 mm do 40 mm
- Asycube 530 pro součástky od 30 mm do 150 mm

Pro účely tohoto pracoviště byl vybrán zásobník Asycube 240 s plochou vibrační deskou znázorněný na obrázku 7-2, jehož technické parametry jsou následující:

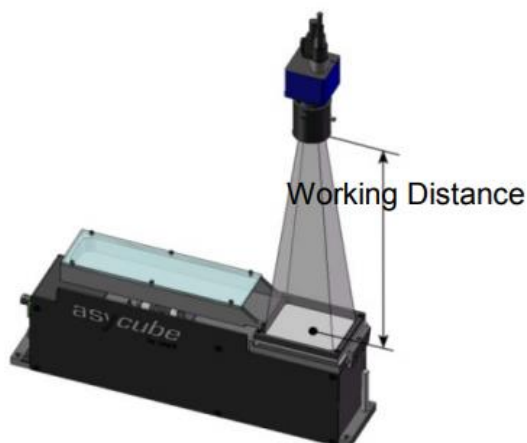
- Rozměry vibrační desky: 195 x 150 mm
- Tvarové varianty vibrační desky: plochá, díry, drážky
- Rozměry vibračního podavače (délka x výška x hloubka): 300 x 171 x 132 mm

- Objem vibračního podavače: varianta pro 2 nebo 3 litry
- Napájení: 24 V / 8 A
- Komunikace: Ethernet (TCP/IP), Modbus TCP



Obrázek 7-2: Zásobník s vibrační deskou Asycube 240

Podavač musí být dále doplněn o kamerový systém pro rozpoznávání součástek. Společnost Asyril nabízí tzv. Smartsight systém neboli inteligentní systém detekce a zpracování obrazu, který zajišťuje bezproblémovou integraci libovolné vibrační platformy Asycube s kolaborativními roboty všech výrobců. Tento systém je dodáván s kamerami o třech rozlišeních a to 1,6 Mpix, 5 Mpix a 10 Mpix. Typ kamery pak dále určuje vzdálenost od vibrační desky, která je znázorněna na obrázku 7-3. Jednotlivé vzdálenosti jsou sepsány v tabulce 7-1.



Obrázek 7-3: Zobrazení vzdálenosti kamery od vibrační plošiny

Tabulka 7-1: Specifikace vzdáleností kamerového systému od vibrační desky

SmartSight pro Asycube 240	Maximální vzdálenost	Minimální vzdálenost
Kamera 1,6 Mpix	860 mm	510 mm
Kamera 5 Mpix	840 mm	600 mm
Kamera 10 Mpix	760 mm	530 mm

Vzhledem k detailům konektorů, které je nutné rozeznat, je 1,6 Mpix kamera nedostatečná, a proto byla pro potřeby pracoviště zvolena kamera s rozlišením 5Mpix, která s vysokou přesností dokáže rozlišit jednotlivé detaily konektorů. Kamera je navíc doplněna o čelní přisvětlení pro zajištění dostatečného kontrastu.

Společnost Asyril nabízí službu vytvoření studie proveditelnosti zahrnující přímé testování chování konektorů na vibrační desce a úrovně rozpoznávání obrazu. Byly proto záměrně vybrány konektory o nejmenší a největší velikosti, jelikož na malém konektoru je potřeba identifikovat malé detaily a u velkého konektoru by vzhledem k poměrům jeho stran mohl nastat problém při polohování na vibrační ploše. Pokud testování u těchto dvou konektorů proběhne v pořádku, pak budou splňovat podmínky i ty zbylé.

Testování malých konektorů:

Výsledky studie proveditelnosti jsou znázorněny na obrázku 7-5.

Celkový čas pro práci vibračního zásobníku je 1,9 sekundy sestávající se z časů:

- 0,5 sekundy na doplnění dílů z vibračního podavače na vibrační desku
- 0,3 sekundy na seskupení dílů na vibrační desce
- 0,4 sekundy na nadhození dílů
- 0,3 sekundy na stabilizaci.

Celý tento čas bude při skutečné aplikaci probíhat paralelně s odkládáním dílů na dopravník. Jediný čas navíc v délce 0,4 sekundy je potřeba na rozpoznání obrazu a zaslání dat do řídicího systému robota. Na níže uvedených výsledcích je také nastíněna doba trvání celé operace, kde se předpokládá čas 3 sekundy na „pick and place“ operaci, tedy na uchopení konektoru z vibrační desky a jeho přesunutí a umístění na dopravník. Tento čas bude dále ověřen simulací. Dále byl sledován počet úspěšně umístěných a rozpoznaných dílů na vibrační desce, viz obrázek 7-4. Z 10 dílů konstantně umístěných na desce bylo v průměru vhodně zorientováno a rozpoznáno 2,65 konektorů.

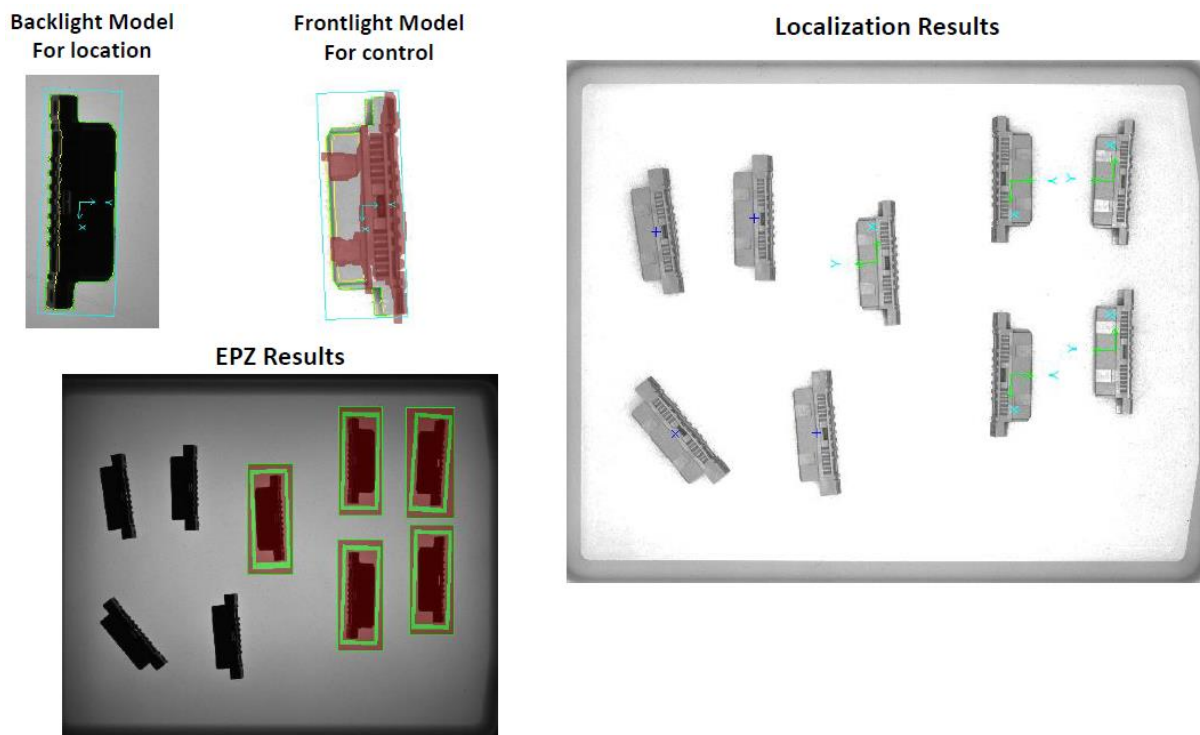


Obrázek 7-4: Ukázka vhodně umístěných malých konektorů na vibrační desce



Obrázek 7-5: Výsledky testování malých konektorů na Asycube 240

Na obrázku 7-6 jsou znázorněny výsledky rozpoznávání správně zorientovaných konektorů na vibrační desce, které bylo pomocí 5 Mpix kamery dostatečné.



Obrázek 7-6: Výsledky rozpoznávání obrazu na malých konektorech

Testování velkých konektorů:

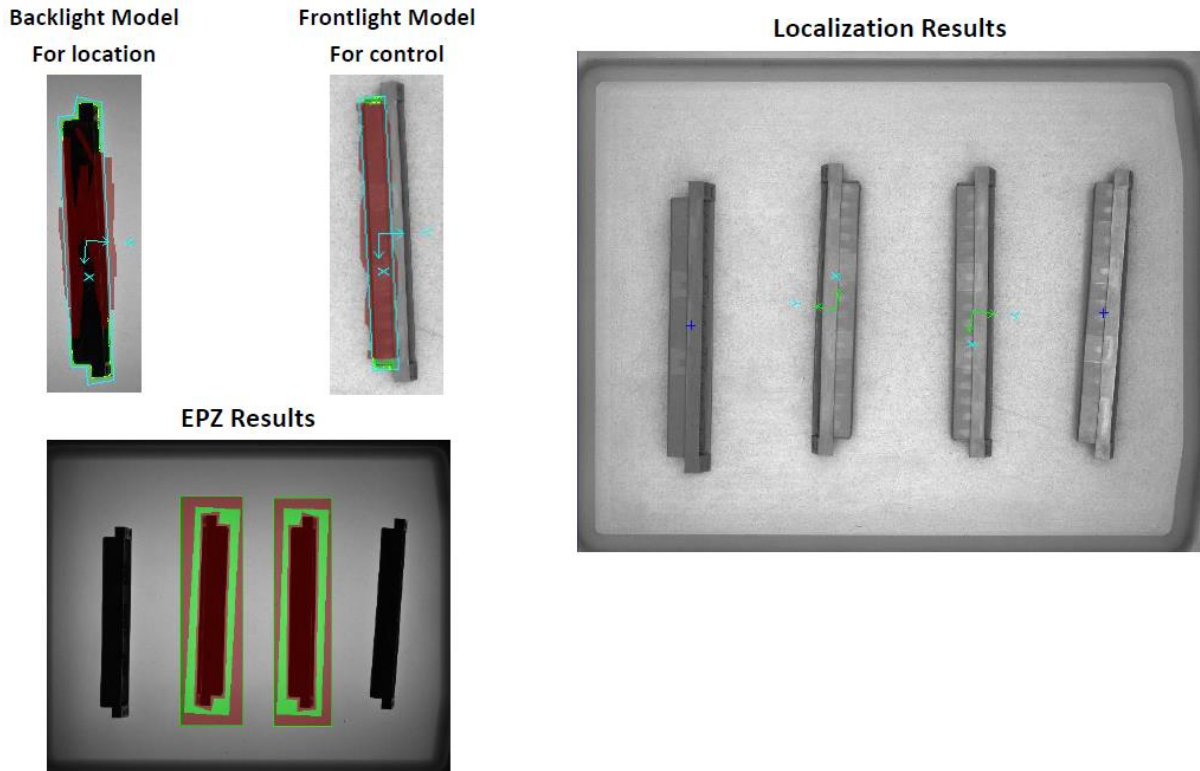
Výsledky této studie, které jsou na obrázku 7-8, již bohužel nejsou tak příznivé. Z důvodu poměru stran konektorů dochází průměrně ke správné orientaci pouze u 0,25 konektoru z celkových 4. Tento výsledek je tak zcela neuspokojivý. Stav správně umístěných konektorů po první vibraci je znázorněn na obrázku 7-7. Obrázek 7-9 zobrazuje výsledky rozpoznávání obrazu, které jsou dostačující.



Obrázek 7-7: Ukázka vhodně umístěných velkých konektorů na vibrační desce

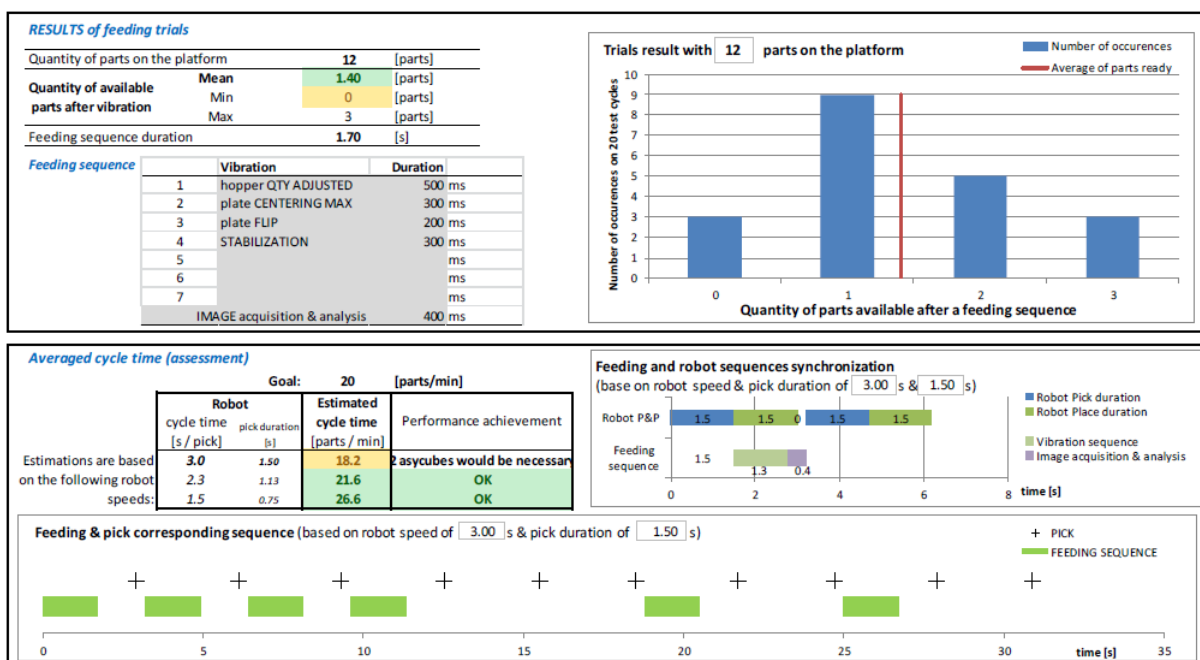


Obrázek 7-8: Výsledky testování velkých konektorů na Asycube 240



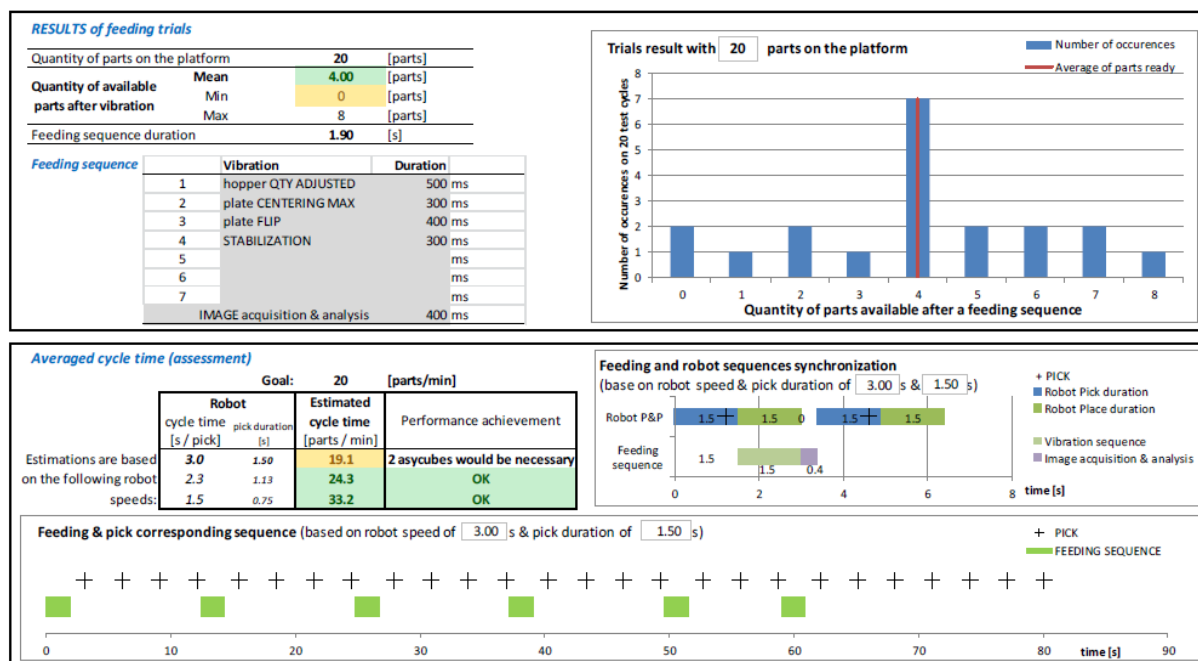
Obrázek 7-9: Výsledky rozpoznávání obrazu na velkých konektorech

Vzhledem k velikosti těchto konektorů byly rozměry vibračního zásobníku i vibrační plochy Asycube 240 malé, a proto bylo provedeno dodatečné testování s větším zásobníkem i větší vibrační deskou, které by teoreticky měly zajistit vyšší pravděpodobnost správného zorientování konektorů. Byl zvolen vibrační systém Asycube 530, kdy výsledky testu na obrázku 7-10 ukazují 1,4 správně zorientovaných konektorů z celkových 12. Jedná se o mírné zlepšení, nicméně stále nedostatečné.



Obrázek 7-10: Výsledky testování velkých konektorů na Asycube 530

V rámci testování bylo na Asycube 530 otestováno i chování malých konektorů, kde díky většímu množství součástek na vibrační ploše byly v průměru vhodně umístěny 4 konektory z celkových 20. Výsledky jsou znázorněny na obrázku 7-11.



Obrázek 7-11: Výsledky testování malých konektorů na Asycube 530

Po zhodnocení bylo zjištěno, že lepších výsledků u obou typů konektoru bylo dosaženo na vibračním systému Asycube 530, jehož technické parametry jsou následující:

- Rozměry vibrační desky: 427 x 371 mm;
- Tvarové varianty vibrační desky: plochá, díry, drážky;
- Rozměry vibračního podavače (délka x výška x hloubka): 600 x 372 x 320 mm;
- Objem vibračního podavače: 15 litrů.

Zásobník Asycube 530 o kapacitě 15 litrů pojme větší množství součástek, tudíž nebude nutné tak často doplňovat materiál a sníží se tak manipulační čas pro případného operátora. Větší rozměr vibrační desky navíc zvýší pravděpodobnost správné polohy konektorů. Nebude nutné provádět tolik vibrací a na jeden kamerový snímek případně více robotické manipulace.

7.2 Kolaborativní roboty

Poslední komponentou v celém navrhovaném konceptu je kolaborativní robot, který zajistí manipulaci konektorů z vibrační plochy na dopravník.

Pro zvolení nejvhodnějších robotů byl proveden průzkum trhu výrobců nabízejících kolaborativní roboty, viz Příloha č. 1. Mezi nejznámější patří společnost Universal robots A/S, KUKA AG, FANUC CORPORATION, ABB s.r.o. a Kawasaki Robotics, Inc. U každého výrobce byly porovnány výrobní modely a sepsány jejich technické parametry.

Výběr vhodného robota bude probíhat na základě zvolených kritérií, mezi která patří:

- Obchodní zastoupení a servis v ČR
- Dostupný statický 3D model robota
- Pořizovací cena
- Užitečné zatížení
- Efektivita využití

Kritérium efektivitu využití závisí na konkrétním pracovním procesu, který bude robot vykonávat. Z výběru jsou díky tomuto kritériu vyřazeny roboty, jejichž parametry jsou nevyhovující či jsou nadbytečné na provádění zadaných operací.

Tabulka 7-2: Rozhodovací tabulku pro výběr kolaborativních robotů

Výrobce	Typ	Obchodní zastoupení a servis v ČR	Dostupný statický 3D model	Pořizovací cena	Užitečné zatížení	Efektivita využití	Výběr
UR	UR3	✓	✓	19 750 €	3 kg	✓	✓
UR	UR5 (UR5e)	✓	✓	23 900 €	5 kg	✗	
UR	UR10 (UR10e)	✓	✓	29 900 €	10 kg	✗	
KUKA	LBR iiwa7	✓	✓	70 000 €	7kg	✓	✓
KUKA	LBR iiwa 14	✓	✓	70 000 €	14 kg	✗	
KUKA	LBR iisa	✓	✗	25 000 €	3 kg	✓	
FANUC	CR-4iA	✓	✓	50 000 €	4 kg	✓	✓
FANUC	CR-7iA	✓	✓	45 000 €	7 kg	✗	
FANUC	CR-7iAL	✓	✓	45 000 €	7 kg	✗	
FANUC	CR-15iA	✓	✗	75 000 €	15 kg	✗	
FANUC	CR-35iA	✓	✗	55 000 €	35 kg	✗	
ABB	YuMi	✓	✓	40 000 €	2*0,5 kg	✗	
Kawasaki	duAro1	✗	✗	35 000 €	2*2 kg	✗	
Kawasaki	duAro2	✗	✗	35 000 €	2*2 kg	✗	
MABI Robotics	Speedy 6	✗	✗	50 000 €	6 kg	✓	
MABI Robotics	Speedy 12	✗	✗	55 000 €	12 kg	✗	
Rethink	Sawyer	✓	✗	35 000 €	4 kg	✓	
Yaskawa	Motoman HC10	✗	✗	25 000 €	10 kg	✓	

Výsledkem této rozhodovací tabulky je výběr pěti kolaborativních robotů:

- UR3
- FANUC CR-4iA
- KUKA LBR iiwa 7

Nedílnou součástí robotů je uchopovací nástroj, tzv. gripper. Další průzkum trhu byl tak zaměřen na nabídku nástrojů vhodných k použití na kolaborativních robotech. Mezi nejvýznamnější dodavatele patří firma OnRobot A/S, Schunk GmbH & Co, Weiss Robotics GmbH & Co a Robotiq Inc., viz Příloha č. 1. Nabídka těchto produktů je široká a rozděluje nástroje dle technologie uchopování, která může být buď mechanická do čelistí či pneumatická pomocí přísavek. Stěžejní vlastností při výběru vhodného nástroje je jeho univerzálnost vzhledem k možnosti použití na všech třech vybraných robotech. Jako nejvhodnější byly vybrány mechanické uchopovací nástroje:

- Co-act EGP-C od společnosti Schunk GmbH & Co, znázorněn na obrázku 7-12 vlevo
- 2F 85 od společnosti Robotiq Inc., zobrazen na obrázku 7-12 vpravo



Obrázek 7-12: Gripper - vlevo Schunk Co-act EGP-C, vpravo Robotiq 2F-85

V následující části bude podrobněji popsána tvorba simulace na kolaborativním robotu UR3. Simulace byla provedena vždy na 1 cyklus manipulace od uchopení konektoru přes přenesení na dopravník až k návratu zpět do pozice těsně nad následující konektor. Pro všechny 3 simulace byly navoleny stejné okrajové podmínky:

- lokace dílů
- souřadnice průjezdových bodů
- rychlosti nástroje
- rychlosti robota

U každého robota byl také nastaven vlastní řídicí kontrolér vytvořený výrobcem. Jedná se tak o jedinou odlišnost v nastavení jednotlivých robotů.

Kolaborativní robot UR3

Technická specifikace robota je sepsána v následující tabulce 7-2. Mezi nejdůležitější parametry patří maximální zatížení a dosah robota.

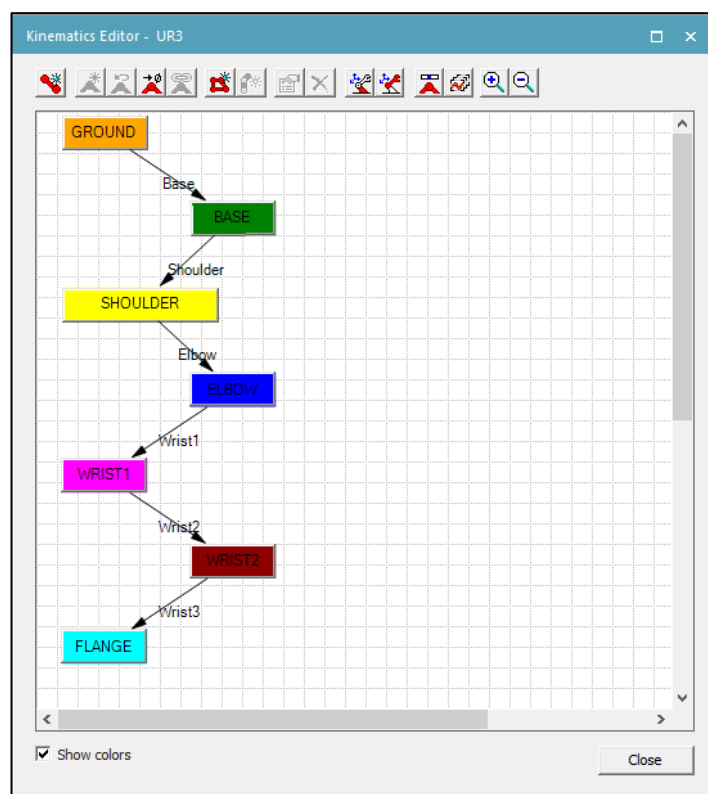
Tabulka 7-3: Technická specifikace robota UR3

Technická specifikace – UR3	
Rozměry: Ø 128 mm	A photograph of a blue and grey UR3 collaborative robot arm, showing its base, shoulder, elbow, and wrist joints.
Hmotnost: 11 kg	
Zatížení: 3 kg	
Dosah: 500 mm	
Stupně volnosti: 6 otočných kloubů	
- podstavec: ± 180°/s	
- rameno: ± 180°/s	
- loket: ± 180°/s	
- zápěstí 1: ± 360°/s	
- zápěstí 2: ± 360°/s	
- zápěstí 3: ± 360°/s	
Povolená okolní teplota: 0–50°	
Klasifikace IP: IP64	
Opakovatelnost: ±0,1 mm	

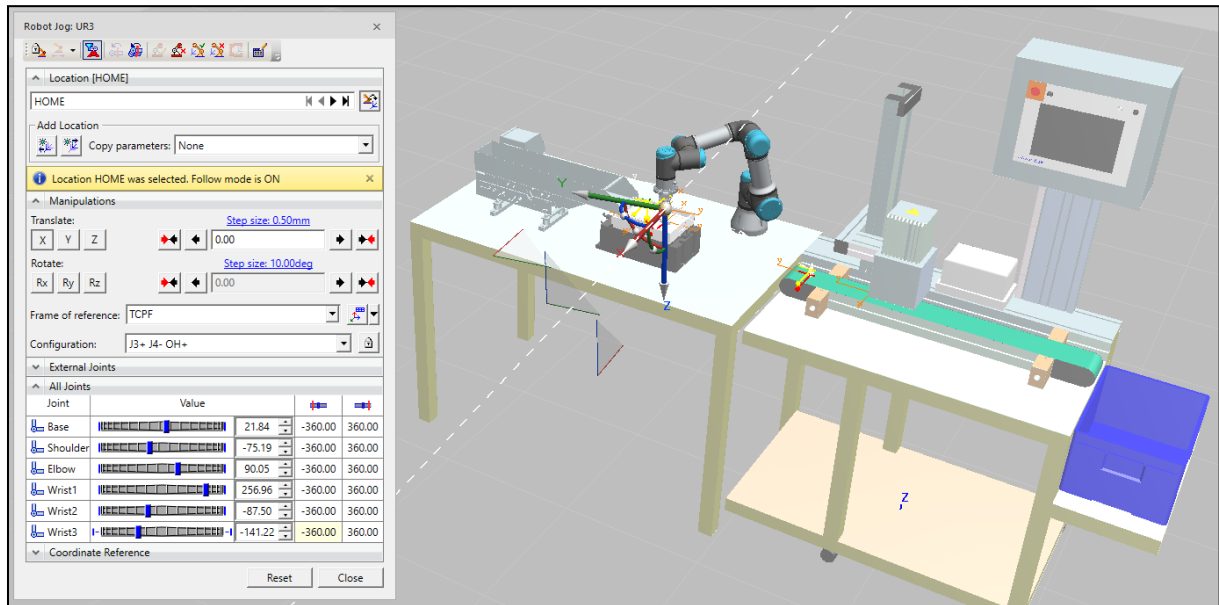
Jak již bylo zmíněno výše, na robotu UR3 bude provedena zjednodušená ukázka postupu tvorby simulace pomocí softwaru Tecnomatix Process Simulate, která zahrnuje několik základních kroků.

Po vložení 3D modelu pracoviště a všech komponentů celého navrhovaného konceptu, je do uživatelského prostředí vhodně umístěn kolaborativní robot. Každý robot se skládá z několika otočných kloubů, u kterých je nutné definovat vzájemnou závislost, nastavit jejich rozpětí a rychlosti. Na obrázku 7-13 jsou definovány jednotlivé vazby mezi klouby pomocí tzv. kinematického editoru. Následně je možné s každým kloubem cobota vhodně pohybovat pomocí funkce tzv. Robot Jog, jak je vidět na obrázku 7-14. Díky této funkci může být robot vhodně polohován do jednotlivých pozic. Dále je na robota umístěn vhodný uchopovací nástroj – gripper. Jednotlivé typy budou popsány níže.

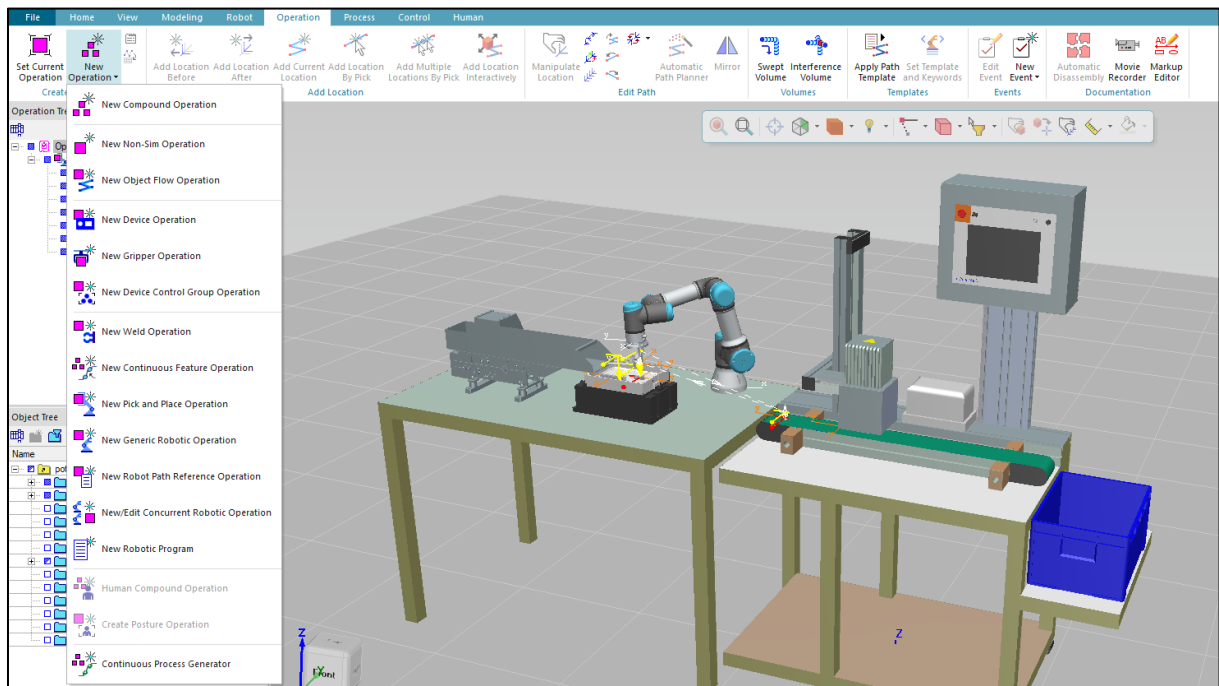
V dalším kroku je možné zvolit typ operace, viz obrázek 7-15, kterou budeme pomocí robota provádět. Pro naše pracoviště využijeme jednoduchou operaci „Pick and Place“ neboli „Vzít a umístit“ a tzv. Compound Operation, která sdružuje jednotlivé operace do jedné. Výběrem výše zmíněné operace určíme body pro pozici „pick“ a body pro pozici „place“. Pro otestování dosahu nástroje robota ke zvoleným bodům lze použít funkci tzv. Reach Test neboli dosahový test, který je zachycen na obrázku 7-16. V případě negativních výsledků je možné upravit pozici robota pomocí funkce „Smart Place“ neboli „Chytré umístění“, které na základě definování pozic pro dosažení robota zvolí jeho vhodné umístění. Příklad je vidět na obrázku 7-17, kde modré křížky představují vhodné místo pro situování robota.



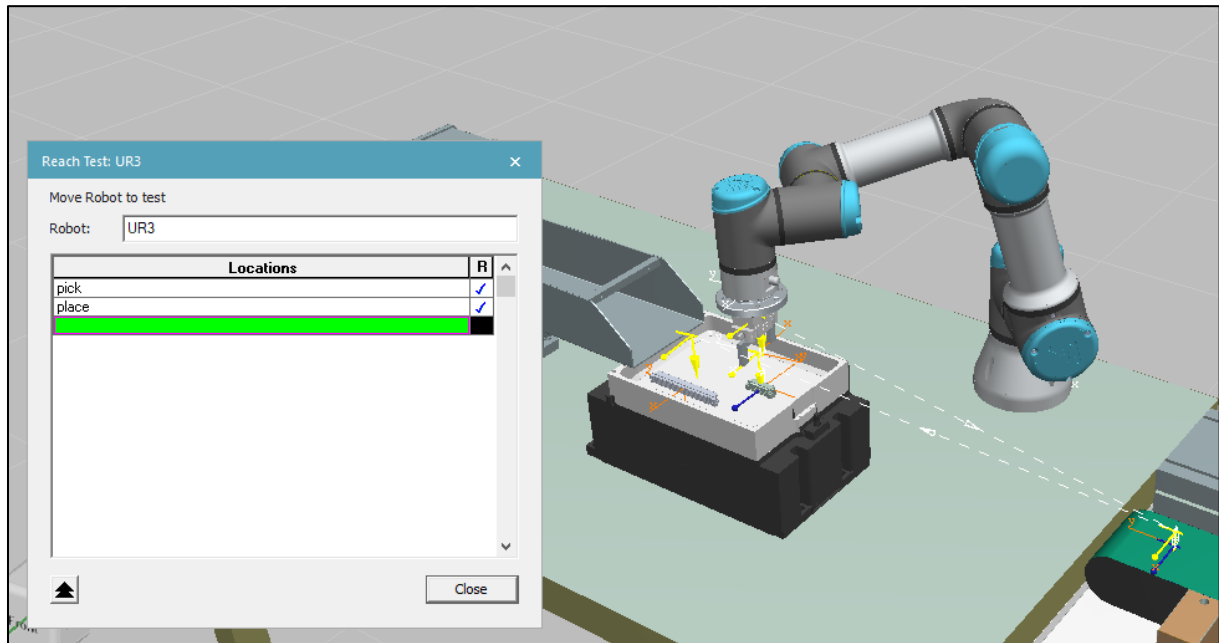
Obrázek 7-13: Kinematický editor



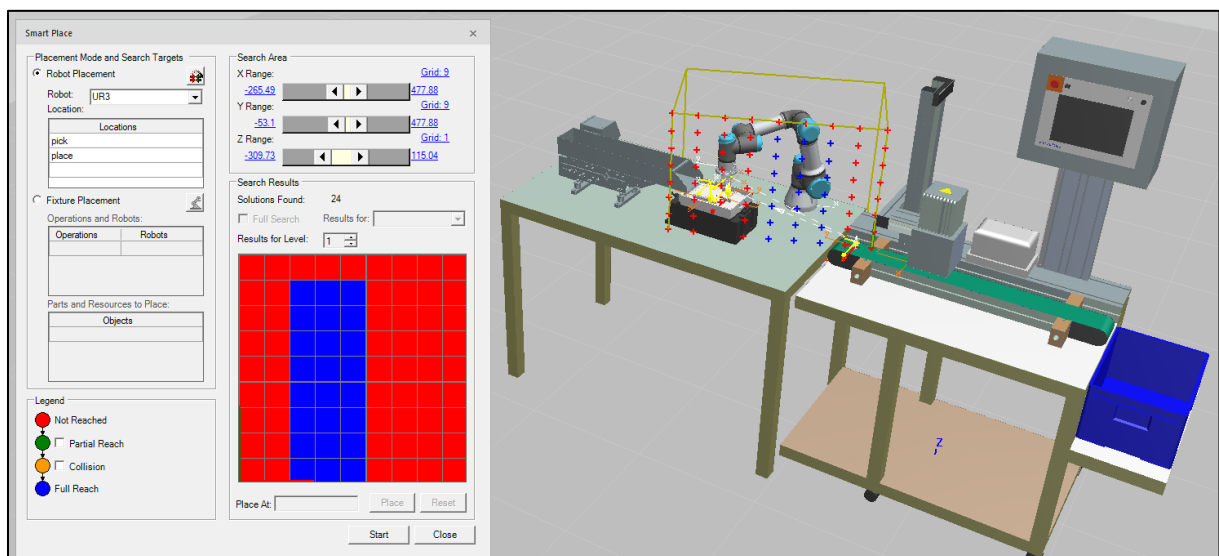
Obrázek 7-14: Nástroj Robot Jog



Obrázek 7-15: Příklad možných operací



Obrázek 7-16: Dosahový test



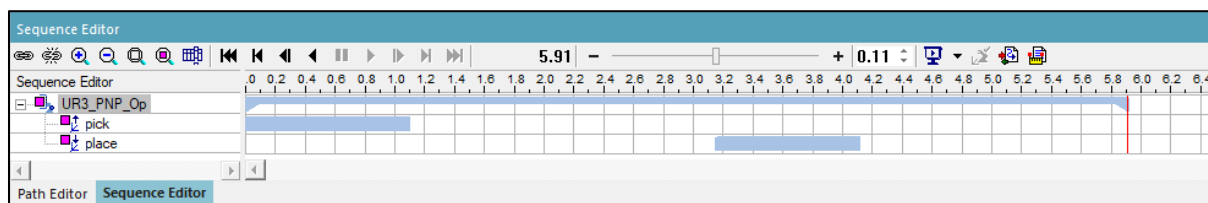
Obrázek 7-17: Funkce Smart Place

Po správném nastavení všech výše zmíněných parametrů je možné provést samotnou operaci. Průběh jednotlivými pozicemi může být sledován pomocí tzv. Path Editoru neboli editoru cesty, který je zobrazen na obrázku 7-18. Pozice robota je v tomto editoru možné měnit, přidávat či odebrat a dosahovat tak nižšího operačního času. Pro zajištění plynulé návaznosti operací slouží tzv. Sequence Editor neboli sekvenční editor znázorněný na obrázku 7-19.

V případě robota UR3 je čas na jednu operaci „Pick and place“ 5,14 sekund. Rychlosti pohybů jsou nastaveny pomocí technické specifikace.

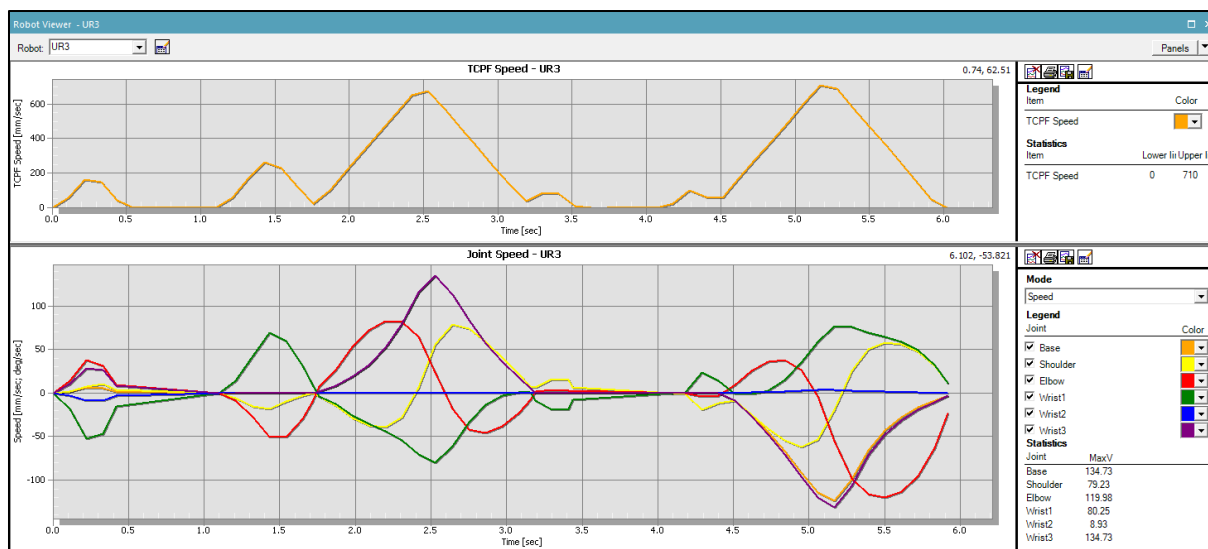
Paths & Locations	Attachment	X	Y	Z	RX	RY	RZ	Duration	OLP Commands	Robot	Speed	Time	Comment	Configuration
UR3_PNP_Op								5.92		UR3	1000 mm/s			
HOME		-907.00	-77.00	1000.00	-177.01	-0.81	-83.90	0.00						
pick		-901.00	-76.00	956.00	180.00	0.00	-90.00	1.10	# Destination gripper4cyf65_4rb1600 #		800 mm/s			
up		-901.00	-76.00	1050.00	180.00	0.00	-90.00	0.61			1000 mm/s			
down		-434.00	51.00	862.00	180.00	0.00	-90.00	1.44			1000 mm/s			
place		-434.12	51.42	842.00	180.00	0.00	-90.00	0.96	# Release fr1 # Destination gripper4cyf65_4rb1600 #		800 mm/s			
up2		-434.00	51.00	862.00	180.00	0.00	-90.00	0.28			1000 mm/s			
HOME2		-937.00	-150.00	1050.00	-177.01	-0.81	-83.90	1.51			1000 mm/s			

Obrázek 7-18: Editor cesty – UR3



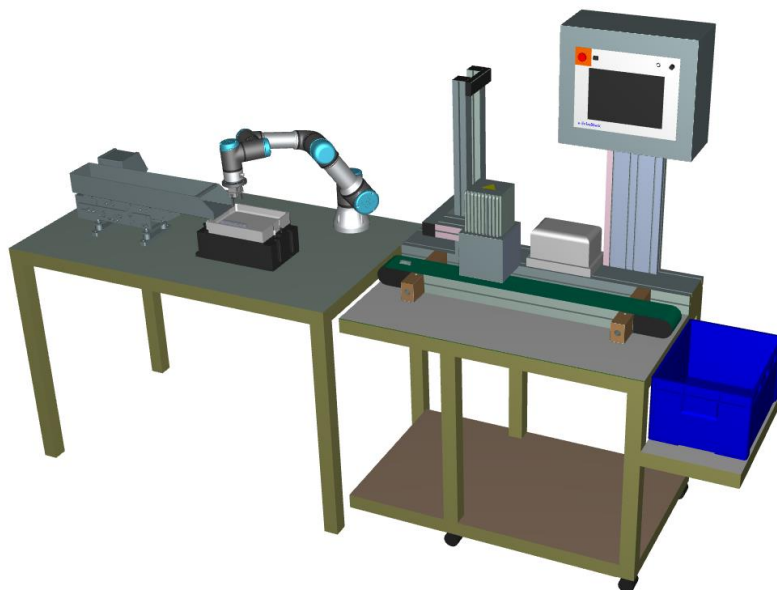
Obrázek 7-19: Sekvenční editor – UR3

Na obrázku 7-20 jsou znázorněny grafy pro pohyb nástroje a jednotlivých kloubů během celé operace. Rychlost nástroje dosahuje maximálně 710 mm/sec a nejvyšší rychlost cca 134 °/sec dosahuje základní kloub a zápěstí.



Obrázek 7-20: Grafické znázornění rychlostí nástroje a kloubů – UR3

Na obrázku 7-21 je znázorněn model pracoviště laserového potisku s robotem UR3.




Obrázek 7-21: Model pracoviště s robotem UR3

Kolaborativní robot KUKA LBR iiwa 7

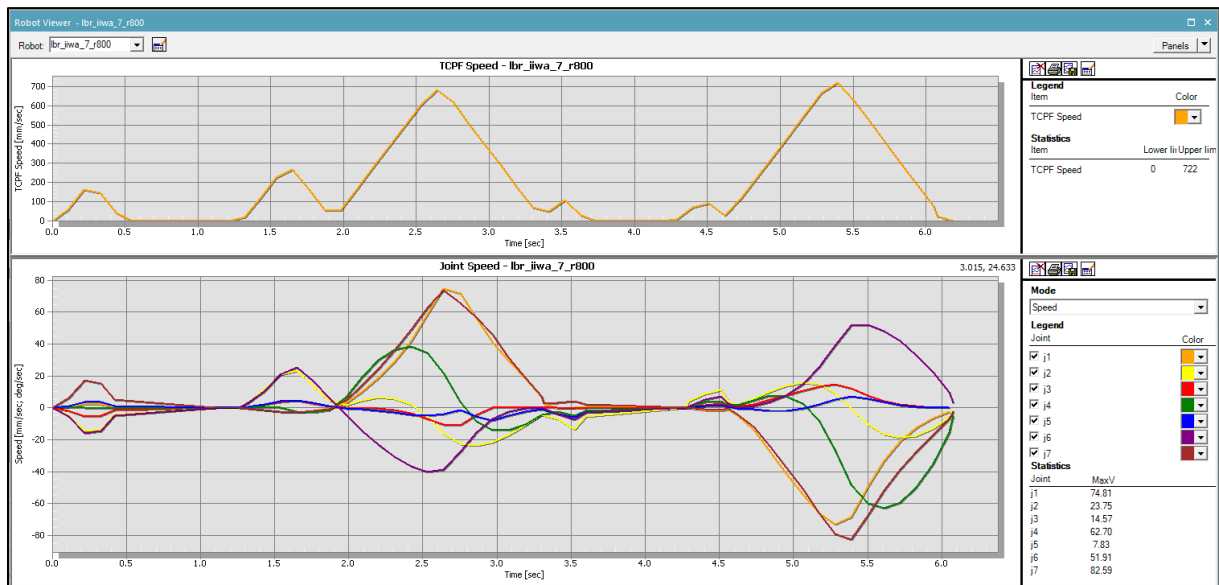
V tabulce 7-4 jsou sepsány technické parametry cobota KUKA.

Tabulka 7-4: Technická specifikace - KUKA LBR iiwa 7

Technická specifikace – KUKA LBR iiwa 7	
Rozměry: 500 mm x 483 mm x 190 mm	
Hmotnost: 22 kg	
Zatížení: 7 kg	
Max. dosah: 800 mm	
Stupně volnosti: 7 otočných kloubů	
- osa 1: 98°/s	
- osa 2: 98°/s	
- osa 3: 100°/s	
- osa 4: 130°/s	
- osa 5: 140°/s	
- osa 6: 180°/s	
- osa 7: 180°/s	
Povolená okolní teplota: 5°- 45°C	
Klasifikace IP: IP54	
Opakovatelnost: ±0,1 mm	

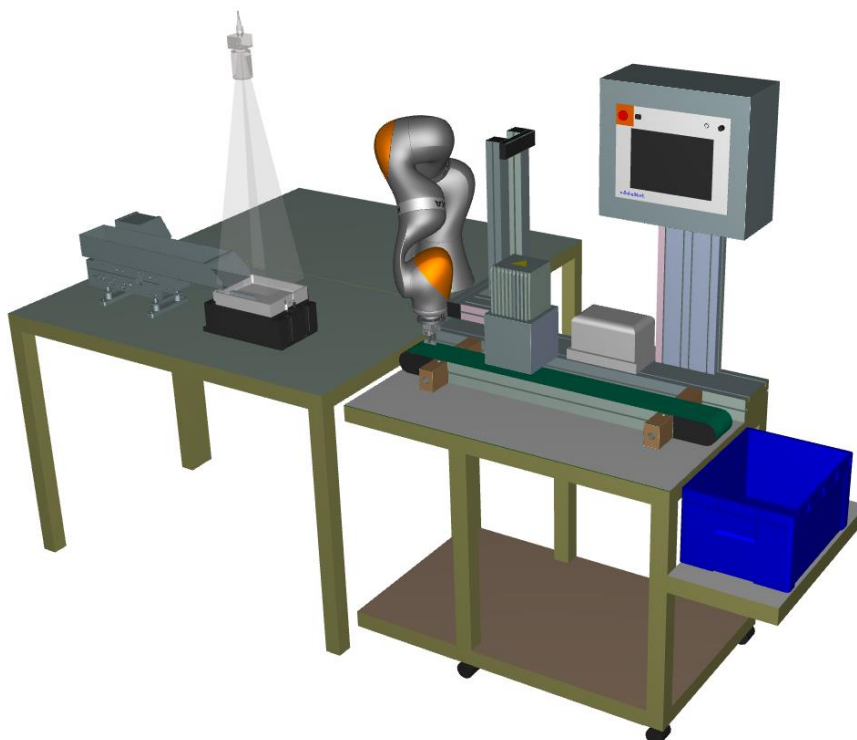
V případě cobota KUKA je čas na jednu operaci „Pick and place“ 5,21 sekund. Rychlosti pohybů jsou opět nastaveny pomocí technické specifikace.

Obrázek 7-22 graficky znázorňuje rychlosti nástroje, který dosahuje maximální rychlosti 722 mm/sec a rychlosti kloubů, kdy nejvyšší rychlosti cca 83 %/sec dosahuje osa 7.



Obrázek 7-22: Grafické znázornění rychlosti nástroje a kloubů - KUKA LBR iiwa 7

Model pracoviště s cobotem KUKA je na obrázku 7-23.




Obrázek 7-23: Model pracoviště s robotem KUKA LBR iiwa 7

Kolaborativní robot FANUC CR-4iA

Technické parametry cobota jsou znázorněny v tabulce 7-5.

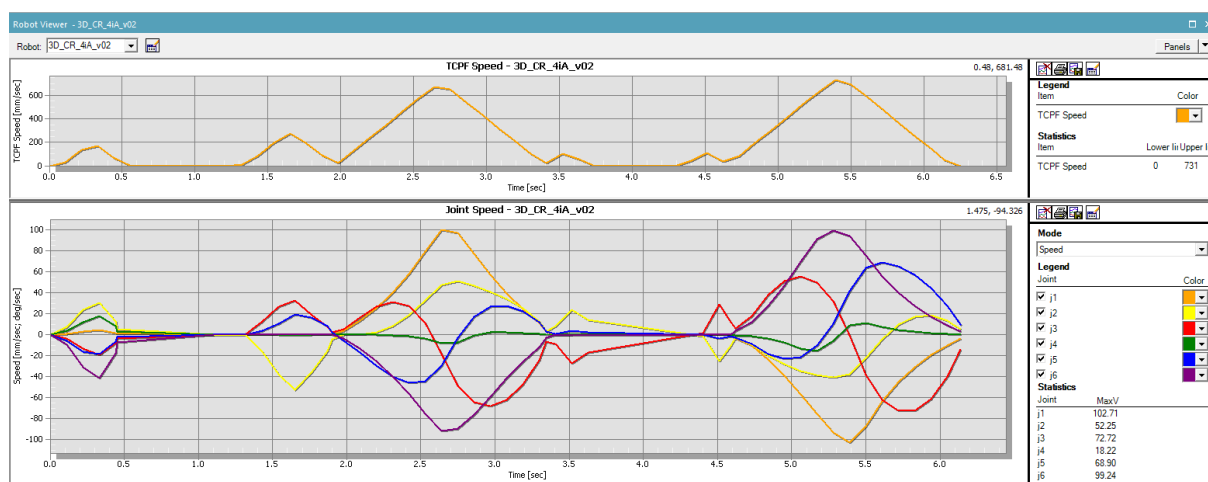
Tabulka 7-5: Technická specifikace - FANUC CR-4iA

Technická specifikace – Fanuc CR-4ia	
Rozměry:	737 mm x 360 mm
Hmotnost:	48 kg
Max. zatížení:	4 kg
Max. dosah:	550 mm
Stupně volnosti:	6 otočných kloubů
- osa 1:	340°
- osa 2:	150°
- osa 3:	354°
- osa 4:	380°
- osa 5:	200°
- osa 6:	720°
Max. rychlost:	500/1000 mm/s
Povolená okolní teplota:	+5°- +45°C
Klasifikace IP:	IP67
Opakovatelnost:	±0,013 mm



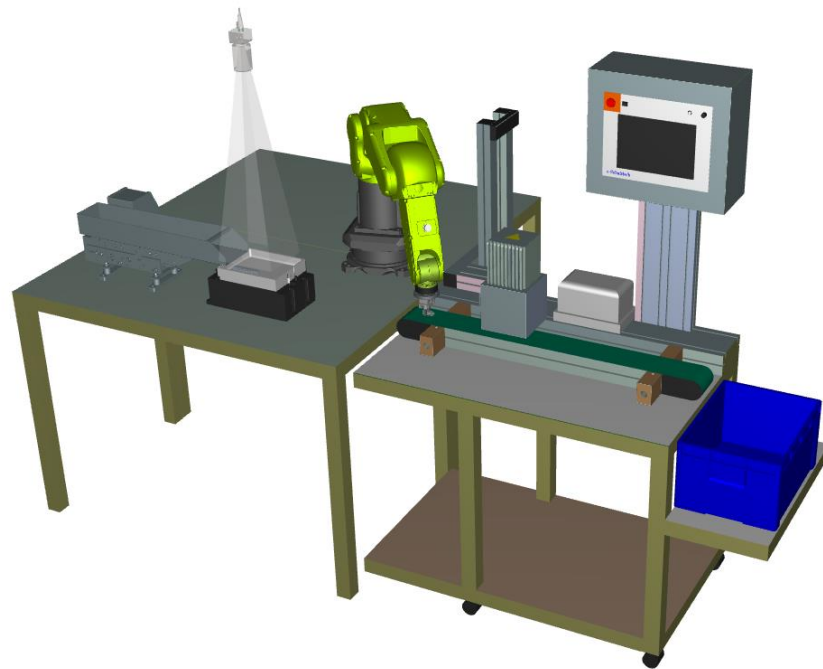
V případě robota FANUC je čas na jednu operaci „Pick and place“ 5,27 sekund.

Obrázek 7-24 graficky znázorňuje rychlosti nástroje, který dosahuje maximální rychlosti 731 mm/sec a rychlosti kloubů, kdy nejvyšší rychlosti cca 103 °/sec dosahuje osa 1.



Obrázek 7-24: Grafické znázornění rychlosti nástroje a kloubů - FANUC CR-4iA

Na obrázku 7-25 je model pracoviště s robotem FANUC.



Obrázek 7-25: Model pracoviště s robotem FANUC CR-4iA

7.3 Zhodnocení

Na základě provedených simulací byly získány jednotlivé procesní časy, které jsou:

- **UR3 – 5,14 sec/ks**
- **KUKA LBR iiwa 7 – 5,21 sec/ks**
- **FANUC CR-4iA – 5,27 sec/ks**

Jak již bylo napsáno výše, současná norma pro výrobu 1 ks je 3 sekundy. Této hodnoty nebude možné pomocí kolaborativního dosáhnout. Časy jsou navíc pouze orientační a v praxi se mohou nepatrně lišit. Výsledné rychlosti jsou také ovlivněny zvolením maximálních rychlostí robota, které nejsou v souladu s kolaborativním módem. Maximální rychlost každého robota se při simulaci pohybuje kolem 650 mm/s, kdežto kolaborativní mód povoluje při přímé kooperaci s člověkem rychlosti pouze do 250 mm/s. Nicméně na tomto pracovišti by se jednalo pouze o samostatnou práci robota bez lidské interakce, není tedy nutné kolaborativní mód dodržovat. Avšak v tomto případě je nutné vybavit pracoviště dodatečnými bezpečnostními prvky, jako například area senzorem, který bude mapovat pracoviště a v případě detekce operátora zpomalí rychlosti robota nebo jej dočasně zcela zastaví.

Na základě procesních časů je nejlepší robot UR3 a KUKA LBR iiwa7. Vzhledem k cenám robotů patří společnost Universal Robots dlouhodobě k nejvýhodnějším a nabízejí své roboty za nejnižší ceny na trhu. Cena robota UR3 je 19.750 EUR. Je proto doporučován pro implementaci na zadané pracoviště. Celková cena je ještě ovlivněna cenou nástroje - gripperu Robotiq 2F-85, která je přibližně 3.750 EUR. Další položkou je koncept vibračního zásobníku a kamerového systému, jejichž cenové kalkulace pro typ Asycube 240 a 530 jsou uvedeny v tabulce 7-6 a 7-7.

Tabulka 7-6: Cenová kalkulace Asycube 240 a SmartSight

Komponenta	Množství	Cena
Asycube 240 RED Backlight	1	12.950,- EUR
Flat vibrating plate – 240	1	700,- EUR
3l hopper 230 VAC 50-60Hz – 240	1	1.450,- EUR
Cable kit 5m – Asycube to Easyconnect box	1	240,- EUR
Vision kit M 5 Mpix – 240	1	2.550,- EUR
Cable kit 5m – Camera to Easyconnect box	1	200,- EUR
Easyconnect box	1	850,- EUR
Cable kit 5m – Easyconnect box	1	230,- EUR
Control unit SmartSight – 1 camera	1	7.650,- EUR
Robot calibration toolkit – 240	1	520,- EUR
Calibration plate – 240	1	650,- EUR
Flat dome lighting 400x300 mm RED	1	2.840,- EUR
	Celkem	30.830,- EUR

Tabulka 7-7: Cenová kalkulace Asycube 530 a SmartSight

Komponenta	Množství	Cena
Asycube 530 RED Backlight	1	16.200,- EUR
Flat vibrating plate – 530	1	470,- EUR
15l hopper 230 VAC 50-60Hz – 530	1	1.600,- EUR
Cable kit 5m – Asycube to Easyconnect box	1	390,- EUR
Vision kit M 5 Mpix – 530	1	2.550,- EUR
Cable kit 5m – Camera to Easyconnect box	1	200,- EUR
Easyconnect box	1	850,- EUR
Cable kit 5m – Easyconnect box	1	230,- EUR
Control unit SmartSight – 1 camera	1	7.650,- EUR
Robot calibration toolkit – 530	1	500,- EUR
Calibration plate – 530	1	650,- EUR
Bars lighting RED	1	2.390,- EUR
	Celkem	33.680,- EUR

Celková investice do navrhovaného konceptu obsahující vibrační zásobník Asycube 530 s kamerovým systémem SmartSight se pohybuje kolem 57.180 EUR, což je v přepočtu zhruba 1,46 mil. Kč bez DPH. Tato částka by byla navíc ještě navýšena o náklady spojené s integrací a uvedením celého konceptu do provozu, a odhaduje se tak kolem 1,7 mil. Kč.

Ekonomické hodnocení

Norma času pro operátora je 3 sec/ks. Hodinová sazba operátora je 260 Kč/hod. Pracoviště je v provozu v jedné ranní směně v délce 7,5 hodiny. Počet pracovních dní v roce byl odhadem stanoven na 220.

Norma času pro robota je 5,14 sec/ks. Odhadem byla stanovena odpisová třída 2, a tím je určena doba životnosti 5 let. Celková investice včetně nákladů na uvedení do provozu se odhaduje na 1 700 000 Kč. Robot bude pracovat 8 hod/směnu, časové ztráty budou 10% z času nominálního T_N . Úroková sazba robota je 1 %. Náklady na prostor jsou ve výši 220 Kč/m² za rok, kdy robot bude využívat plochu cca 2 m². Maximální výkon robota je 1 kW, ve výpočtech se bude počítat s 50 % výkonovým využitím. Cena proudu je stanovena dle průměru na 4,2 Kč/kWh. S ohledem na investici do nového robota se faktor oprav stanovuje na hodnotu 0,1. [48]

Dle výše zmíněných údajů můžeme stanovit strojní hodinovou sazbu robota SHS pro jednosměnný, dvousměnný a třisměnný provoz, určit případnou úsporu v nákladech a dobu návratnosti investice. Všechny uvedené výsledky jsou vzhledem k odhadovaným složkám nákladů orientační.

$$SHS = \frac{KA + KZ + KR + KE + KI}{T_V} \text{ [Kč/hod]} \quad (1)$$

Kde:

KA – kalkulované odpisy

KZ – kalkulované úroky

KR – prostorové náklady

KE – náklady na energie

KI – náklady na opravy

T_V – využitelný časový fond stroje

Jednosměnný provoz:

$$T_N = \text{počet pracovních dnů za rok} * \text{počet odpracovaných hodin} \text{ [hod/rok]} \quad (2)$$

$$T_N = 220 * 8 = 1760 \text{ hod/rok}$$

$$T_V = T_N - \text{časové ztráty} \text{ [hod/rok]} \quad (3)$$

$$T_V = 1760 - 0,1 * 1760 = 1584 \text{ hod/rok}$$

$$KA = \frac{\text{celková investice}}{\text{doba životnosti}} \text{ [Kč/rok]} \quad (4)$$

$$KA = \frac{1\,700\,000}{5} = 340\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$KZ = \frac{\text{celková investice}}{2} * \text{roční úroková míra [Kč/rok]} \quad (5)$$

$$KZ = \frac{1\,700\,000}{2} * 0,01 = 8\,500 \text{ Kč/rok}$$

$$KR = \text{plocha pracoviště} * \text{náklady na } 1 \text{ m}^2/\text{rok [Kč/rok]} \quad (6)$$

$$KR = 2 * 220 = 440 \text{ Kč/rok}$$

$$KE = T_V * \text{náklady na energii [Kč/rok]} \quad (7)$$

$$KE_1 = 1584 * 1 * 0,5 * 4,2 \cong 3\,326 \text{ Kč/rok}$$

$$KI = KA * \text{faktor [Kč/rok]} \quad (8)$$

$$KI = 340\,000 * 0,1 = 34\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$SHS_1 = \frac{340\,000 + 8\,500 + 440 + 3326 + 34\,000}{1\,584} \cong 244 \text{ Kč/hod}$$

Při výpočtu strojní hodinové sazby u dvousměnného a třisměnného provozu je výsledek závislý na zvýšení využitelného časového fondu stroje T_V a na změně nákladů na energie KE.

Dvousměnný provoz:

$$T_N = 220 * 16 = 3\,520 \text{ hod/rok}$$

$$T_V = 3520 - 0,1 * 3520 = 3\,168 \text{ hod/rok}$$

$$KE_2 = 3168 * 1 * 0,5 * 4,2 \cong 6\,653 \text{ Kč/rok}$$

$$SHS_2 = \frac{340\,000 + 8\,500 + 440 + 6\,653 + 34\,000}{3\,168} \cong 123 \text{ Kč/hod}$$

Třisměnný provoz:

$$T_N = 220 * 24 = 5\,280 \text{ hod/rok}$$

$$T_V = 5280 - 0,1 * 5280 = 4\,752 \text{ hod/rok}$$

$$KE_3 = 4752 * 1 * 0,5 * 4,2 \cong 9\,979 \text{ Kč/rok}$$

$$SHS_3 = \frac{340\,000 + 8\,500 + 440 + 9\,979 + 34\,000}{4\,752} \cong 83 \text{ Kč/hod}$$

Roční náklady na jednoho operátora:

$$N_o = \text{hod. sazba} * \text{počet hodin/směnu} * \text{počet prac. dní v roce} \text{ [Kč/rok]} \quad (9)$$

$$N_o = 260 * 7,5 * 220 = 429\,000 \text{ Kč/rok}$$

Roční náklady na jednoho robota:

$$N_r = SHS * \text{počet hodin/směnu} * \text{počet pracovních dní v roce} \text{ [Kč/rok]}$$

$$N_r = 244 * 8 * 220 = 429\,440 \text{ Kč/rok}$$

Z výpočtů výše vychází, že náhrada jednoho operátora jedním robotem nepřináší podniku úsporu, naopak podnik by se nacházel ve ztrátě 440 Kč/rok.

K úspoře by došlo až v případě nahrazení dvou pracovníků jedním robotem. Všechny nákladové složky zůstávají stejné, až na složku nákladů na energii KE, která je závislá na využitelném časovém fondu T_v . Výpočty nákladů energie pro jednosměnný i dvousměnný provoz jsou již vypsány výše, jejich rozdíl je vyjádřen jako ΔKE . [48]

$$KE_1 \cong 3\,326 \text{ Kč/rok}$$

$$KE_2 \cong 6\,653 \text{ Kč/rok}$$

$$\Delta KE = KE_2 - KE_1 \text{ [Kč/rok]} \quad (10)$$

$$\Delta KE = 6\,653 - 3\,326 = 3\,327 \text{ Kč/rok}$$

Roční náklady na dva operátory N_{2o} :

$$N_{2o} = 2 * 429\,000 = 858\,000 \text{ Kč/rok}$$

Roční náklady na robota zůstávají stejné, a to 429 440 Kč/rok.

Úspora v nákladech \dot{U}_N :

Odečtením ročních nákladů na jednoho robota od ročních nákladů na dva pracovníky získáme roční úsporu nákladů podniku.

$$\dot{U}_N = 858\,000 - (429\,440 + \Delta KE) = 858\,000 - (429\,440 + 3\,327) = 425\,233 \text{ Kč/rok}$$

Z roční úspory v nákladech je pak možné vypočítat dobu návratnosti celkové investice do konceptu robotizace T_N dle vzorce (11):

$$T_N = \frac{\text{celková investice}}{\text{úspora}} \text{ [rok]} \quad (11)$$

$$T_N = \frac{1\,700\,000}{425\,233} \cong 4 \text{ roky}$$

Dle výpočtů výše, se roční náklady na pracovníka téměř shodují s ročními náklady na robota. Podnik by se nacházel ve ztrátě 440 Kč/rok. Značnou úsporu by přineslo až nahrazení 2 pracovníků pomocí jednoho robota, kdy by celková roční úspora činila 425 233 Kč. Doba návratnosti při této úspoře by pak byla přibližně 4 roky.

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo osvojení literatury v oblasti Průmyslu 4.0, seznámení se s pojmy automatizace, digitalizace, umělé inteligence, simulace či internetem věcí a služeb. Hlavní zaměření je obecně na oblast robotiky, její vývoj, na rozdělení průmyslových robotů a na charakteristiku jejich hlavních konstrukčních částí. Největší pozornost je v této práci věnována kolaborativním robotům, u kterých se v budoucnosti předpokládá zásadní vývoj a nasazování ve všech oblastech průmyslu.

V rámci praktické části byl vytvořen 3D model pracoviště, který byl vložen do simulačního programu Tecnomatix Process Simulate. Stěžejní část je věnována navrhnutí celého konceptu robotizace, proto byl proveden průzkum nabídky samotných kolaborativních robotů, vhodných nástrojů, vibračních zásobníků pro konektory a kamerového systému pro jejich rozpoznávání. Na základě předem stanovených kritérií byly vybrány tři kolaborativní roboty, a to UR3, KUKA LBR iiwa 7 a FANUC CR-4iA. Za nástroj byl vzhledem k univerzálnosti implementace zvolen gripper Robotiq 2F-85. Vibrační zásobník byl zvolen od společnosti Asyril, a to Asycube 530 s kamerovým systémem SmartSight s 5Mpix kamerou pro kvalitní rozpoznávání detailů konektorů. Další důležitou částí jsou samotné simulace jednoduchých operací „Pick and Place“ pomocí všech tří typů robotů. Jednotlivé kroky simulace jsou přehledně sepsány. U všech třech robotů byly nastaveny stejné vstupní podmínky, které umožňují vzájemné porovnání výsledných časů operace. Na základě výsledných procesních časů, které jsou pro UR3 5,14 sec/ks, pro KUKU 5,21 sec/ks a FANUC 5,27 sec/ks, byl doporučen robot UR3, který je i vzhledem k cenové hladině nejvýhodnější.

Poslední podkapitola je věnována finančnímu a ekonomickému zhodnocení navrhovaného konceptu. Byly provedeny výpočty strojních hodinových sazeb robota v jednosměnném, dvousměnném i třísměnném provozu. Stanoveny byly také roční náklady na pracovníka i robota. Z přibližných výsledků je zřejmé, že případná investice by přinesla významnou roční úsporu až v případě nahrazení dvou operátorů jedním robotem, kdy doba návratnosti by byla přibližně 4 roky.

9 Seznam použité literatury

- [1] *Odstartujte 4. průmyslovou revoluci ve vaší společnosti.* Průmysl 4.0 [online]. Zlín, 2018 [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: <https://www.prumysl-4.cz>
- [2] VOJÁŘEK, Antonín. *Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0/ Průmysl 4.0? Automatizace* [online]. Praha, 2016 [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skryva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
- [3] MAŘÍK, Vladimír a kol. *Průmysl 4.0. Automatizace* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015 [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/files/prumysl_40_23stran_publikace_vladycr_0.pdf
- [4] CEJNAROVÁ, Andrea. *Od 1. průmyslové revoluce ke 4.* Technický týdeník [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html
- [5] POLÁK, Petr. *Internet věci skýtá velké příležitosti.* SystemOnline [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <http://m.systemonline.cz/it-pro-logistiku/internet-veci-skyta-velke-prilezitosti.html>
- [6] *What is virtual reality?.* Reality technologies [online]. Velká Británie, 2017 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html>
- [7] *Augmented reality.* Virtual reality society [online]. 2016 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://www.realitytechnologies.com/augmented-reality/>
- [8] BURIETA, Ján. *Simulace.* IPA Slovník [online]. 2007 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/simulace>
- [9] TYL, Jan. *Všudy přítomná umělá inteligence bude megatrendem příštích deseti let.* SystemOnline [online]. 2017 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/business-intelligence/vsudypritomna-umela-inteligence-bude-megatrendem-pristich-deseti-let.htm>
- [10] KYSILKA, Martin. *Jak umělá inteligence zvýší vaše prodeje.* 6D Hub [online]. 2017 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://www.6dhub.cz/struktura-a-trendy/struktura-a-trendy/jak-umela-inteligence-zvysi-vase-prodeje/>
- [11] BENEŠ, Pavel a kol. *Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace.* Brno: Computer Press, 2012. 978-80-251-3628-7.

- [12] IT SYSTEMS. *Robotická automatizace procesů rychle roste*. SystemOnline [online]. 2017 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/clanky/roboticka-automatizace-procesu-rychle-roste.htm>
- [13] KULHÁNEK, Milan. *Proč zvolit robotickou automatizaci procesů?* Deloitte [online]. 2017 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/cz/cs/pages/strategy-operations/solutions/robotic-process-automation.html#>
- [14] ICT revue. *Digitalizace výroby: prorůstání světa strojů se sférou dat*. Praha [online]. 2017 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: https://ictrevue.ihned.cz/c3-65803200-0ICT00_d-65803200-digitalizace-vyroby-prorustani-sveta-stroju-se-sferou-dat
- [15] *Big data*. ManagementMania. Praha [online]. 2018 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/big-data>
- [16] ČERNÝ, Michal. *Big data a jejich zpracování*. Root.cz. Praha [online]. 2013 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/big-data-a-jejich-zpracovani/>
- [17] IT Systems. *Industry 4.0 – Vítejte v budoucnosti výroby*. SystemOnline. Praha [online]. 2016 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/industry-4.0-vitejte-v-budoucnosti-vyroby.htm>
- [18] Redakce. *Kyberfyzikální systémy*. IoT portál. [online]. 2016 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/08/22/kyberfyzikalni-systemy/>
- [19] *Kybernetická bezpečnost (Cyber Security)*. CyberSecurity.CZ. [online]. 2017 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <https://www.cybersecurity.cz/basic.html>
- [20] HLAVÁČ, Václav. *Úvod do robotiky*. Fakulta elektrotechnická ČVUT. Praha [online]. 2017 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <http://people.ciirc.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/51Robotika/01UvodRobotika.pdf>
- [21] *18 Defining Moments In The History of Robotics*. Medium Corporation. US [online]. 2017 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <https://medium.com/@ReachRobotics/18-defining-moments-in-the-history-of-robotics-761de7a2fbba>
- [22] *Robot, Roboti, Robotika*. SVĚTVĚDY.CZ. [online]. 2017 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <http://svetvedy.cz/robot-roboti-robotika/>
- [23] CHLEBNÝ, Jan a kol. *Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2014. 978-80-251-3747-5.
- [24] *Robot Power Sources*. RobotWorx. Marion, Ohio [online]. 2018 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/robot-power-sources>

- [25] HAVLÍČEK, Daniel. *7 typů senzorů průmyslových robotů. Znáte je?*. Factory Automation. Praha [online]. 2015 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/7-typu-senzoru-prumyslovych-robotu-znate-je/>
- [26] *Executive Summary World Robotics 2018 Industrial Robots*. International Federation of Robotics. Frankfurt nad Mohanem [online]. 2018 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf
- [27] ŽÁČEK, Michal. *Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy?* Factory Automation. Praha [online]. 2018 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [28] *Rozdíly mezi kartézskými, šestiosými a SCARA roboty*. E-konstrukter. Praha [online]. 2014 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/rozdily-mezi-kartezskymi-sestiosymi-a-scara-roboty>
- [29] HAVLÍČEK, Daniel. *Co jsou to SCARA roboty?* Factory Automation. Praha [online]. 2018 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-scara-roboty/>
- [30] *SCARA Robots Make Fast, Repeatable And Precise Movements*. Automation World. Michigan, Chicago [online]. 2016 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.automationworld.com/article/technologies/robotics/scara-robots-make-fast-repeatable-and-precise-movements>
- [31] *Delta*. AutoCont Control Systems. Moravská Ostrava [online] [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.accs.cz/produkty-mitsubishi-electric/roboty/delta>
- [32] LOVELL, Sophie. *Wir sind die Roboter*. Style Park. Frankfurt nad Mohanem, Německo [online]. 2017 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.stylepark.com/de/news/hello-robot-vitra-design-museum>
- [33] HAVLÍČEK, Daniel. *Paletizační roboty. 8 věcí, které byste o nich měli vědět!* Factory Automation. Praha [online]. 2015 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/paletizacni-roboty-8-veci-ktere-byste-o-nich-meli-vedet/>
- [34] RŮŽIČKOVÁ, Veronika. *Od historie po současnost*. Datamix. Olomouc [online]. 2017 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://www.datamix.eu/blog/nova-prumyslova-revoluce-prumysl-4-0/>

- [35] BARTOŠÍK, Petr. *Bezpečnost kolaborativních robotů*. Automa. Děčín [online]. 2017 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/11040.pdf
- [36] *Kolaborativní roboti společnosti Universal Robots*. Universal Robots A/S. Odense, Dánsko [online]. 2017 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/>
- [37] VAŇKOVÁ, Radka. *Top 10 výrobců robotů na světě. Kolik instalovali robotů?* Factory Automation. Praha [online]. 2017 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/top-10-vyrobcu-robotu-na-svete-kolik-instalovali-robotu/>
- [38] OSTERGAARD, Esben. *Cobots as industry 5.0 drivers. Trends in robotics and automation*. Presentace Roboty 2018. Brno: Universal Robots, 2018.
- [39] DUCHOSLAV, Petr. *Co je to kolaborativní robot? 5 věcí, které byste o něm měli vědět*. Factory Automation. Praha [online]. 2017 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>
- [40] KALÁB, Vladimír. *Tradiční vs. spolupracující průmysloví roboti*. Factory Automation. Praha [online]. 2017 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <http://roboticjournal.aps-web.cz/wp-content/uploads/sites/18/2018/01/Robotic-Journal-02-2017.pdf>
- [41] LEE, Doug. *Universal Robots' UR3 Makes Table-Top Automation Easy, Safe and Flexible*. World industrial reporter. New York, USA [online]. 2015 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://worldindustrialreporter.com/universal-robots-ur3-makes-table-top-automation-easy-safe-and-flexible/>
- [42] BERNIER, Catherine. *Different End Effectors on the Market*. Robotiq. Quebec, Kanada [online]. 2013 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/65660/Different-End-Effectors-on-the-Market>
- [43] *Nové produkty OnRobot na Automatice 2018*. CAD.cz. Brno [online]. 2018 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/aktuality/77-aktuality/8907-nove-produkty-onrobot-na-automatice-2018.html>
- [44] *Asycube Series – 3-Axis vibraton Robotic Parts Feeder*. Asyril SA. Švýcarsko [online]. 2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.asyril.com/en/products/asycube-flexible-feeders.html>

- [45] *SmartSight-Intelligent visual part detection system for Asycube flexible feeders*. Asyril SA. Švýcarsko [online]. 2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z:
<https://www.asyрил.com/en/products/smartsight-visual-part-detection-system>
- [46] *Co-act EGP-C*. Schunk GmbH & Co. Německo [online]. 2019 [cit. 2019-04-14].
Dostupné z: https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/co-act-egp-c/
- [47] *Robotiq 2-Finger 85*. AMTECH, spol. s.r.o. Česká republika [online]. 2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z:
<https://www.amtech.cz/produkty/roboty/prislusenstvi/robotiq/robotiq-2-finger-85>
- [48] KLEINOVÁ, Jana. Ekonomické hodnocení výrobních procesů. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-364-7.

Seznam příloh

Všechny níže uvedené přílohy jsou dostupné v elektronické podobě na přiloženém CD.

Příloha č. 1: Katalog kolaborativních robotů a koncových efektorů

Příloha č. 2: Video soubor – Simulace Tecnomatic Process Simulate – UR3

Příloha č. 3: Video soubor – Simulace Tecnomatic Process Simulate – KUKA LBR iiwa 7

Příloha č. 4: Video soubor – Simulace Tecnomatic Process Simulate – FANUC CR-4iA