



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH PROJEKTU PRACOVIŠTĚ S KOLABORATIVNÍM
ROBOTEM V KONTEXTU PRŮMYSLU 4.0**

DESIGN OF ROBOTICS WORKCELL WITH COLLABORATION ROBOTS IN ACCORDING OF INDUSTRY 4.0

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Gabriel Kuba

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Gabriel Kuba**
Studijní program: Výrobní systémy
Studijní obor: Výrobní systémy
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh projektu pracoviště s kolaborativním robotem v kontextu Průmyslu 4.0

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem DP je podrobně se seznámit s novým trendem v robotice, kterou je aplikace kolaborativních robotů v průmyslu. Dále je nutné tento trend začlenit do přijatých zásad a principů Průmyslu 4.0 v podmínkách ČR. Úkolem je navrhnout projekt pracoviště s dostupným kolaborativním robotem vhodného typu, kde by se prováděly vzorové úlohy technologické operace ve vztahu spolupráce člověka s robotem.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.
Rešerše současného stavu v oblasti kolaborativních robotů a robotiky.
Průzkum trhu v oblasti nabídky kolaborativních robotů, jejich vlastnosti a charakteristiky.
Zásady a principy Národní iniciativy Průmysl 4.0, vydané v září 2015 Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR, v kontextu Industry 4.0.
Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.
Projekt ideového návrhu pracoviště s kolaborativním robotem v laboratoři ÚVSSR v souladu s principy Průmyslu 4.0.
Základní ekonomické vyhodnocení projektu navrhovaného robotizovaného pracoviště.
Analýza rizik projektu robotizovaného pracoviště.
Sestavení jedné vzorové úlohy práce s kolaborativním robotem pro účely výuky studentů.
Vyhodnocení dosažených výsledků a závěr.
Doporučení pro další rozvoj.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.).
Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady
vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá Priemyslom 4.0, kde sa postupne rozoberajú všetky podstatné elementy Priemyslu 4.0. Ďalej sú popísané kolaboratívne roboty a ich špecifikácie a následne na to, je zobrazený trh s týmito robotmi. Na Priemysel 4.0 je vytvorená robotizovaná bunka s kolaboratívnym robotom ABB Yumi, ktorá má slúžiť na školské účely. Na túto vytvorenú robotizovanú bunku je zobrazená vzorová úloha. Na robotizované pracovisko je v poslednej časti práce vytvorená analýza rizík. Celý tento protokol o analýze rizík je v prílohe.

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on Industry 4.0, where all essential elements of Industry 4.0 are gradually being discussed. This thesis presents the collaborative robots and their specifications are described and then the market for these robots is depicted. Subsequently, the robot cell is designed with collaborative robots ABB Yumi to serve the educational purposes. This created robotic cell is displayed exemplary role. In the last part of the thesis a risk analysis is created for this robotized workplace. This entire Risk Analysis Protocol is attached.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Kolaboratívny robot, robot, robotizovaná bunka, analýza rizík, ekonomický návrh

KEYWORDS

Collaborative robot, robot, robot cell, risk analysis, economic design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUBA, Gabriel. Návrh projektu pracoviště s kolaborativním robotem v kontextu Průmyslu 4.0. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116996>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

POĎAKOVANIE

Ďakujem doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. Za ochotu, rady a pomoc, ktorú mi poskytol počas práce na diplomovej práci. Veľmi rád by som taktiež poďakoval svojej priateľke a rodine za neustálu podporu v štúdiu.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím odbornej literatúry a prameňov.

V Brne dňa 20. mája 2019

.....

Bc. Gabriel Kuba

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA.....	16
3	ROZBOR SÚČASNÉHO STAVU VEDY A TECHNIKY U ROBOTIKY A PRIEMYSLU 4.0.....	17
3.1	Priemysel 4.0.....	18
3.1.1	Špecifikácia Priemyslu 4.0.....	18
3.1.2	Kyberneticko-fyzikálny systém CPS	20
3.1.3	Smart Factory	20
3.1.4	Digital Twin – digitálne dvojča	22
3.1.5	RFID technológia	23
3.1.6	Big Data	23
3.1.7	Cloud computing.....	23
3.1.8	Internet of Things, Services a People (IoT, IoS, IoP)	24
3.2	Robotika a roboty	27
3.2.1	Kolaboratívne roboty	28
3.2.1.1	Konštrukčné prvky jedinečné u kolaboratívneho robota	29
3.2.1.2	Kinematické dvojice kolaboratívnych robotov	30
3.2.1.3	Translačné kinematické dvojice.....	31
3.2.1.4	Rotačné kinematické dvojice	31
3.2.1.5	Kinematický reťazec kolaboratívnych robotov	33
3.2.1.6	Implementácia kolaboratívnych robotov v praxi	35
4	AKTUÁLNA PONUKA KOLABORATÍVNYCH ROBOTOV	39
4.1	ABB Yumi	40
4.2	Universal Robots UR5	41
4.3	KUKA LBR IIWA 7 R800	43
5	IDEOVÉ PRACOVISKO S KOLABORATÍVNYM ROBOTOM V SÚLADE S PRINCÍPOM PRIEMYSLU 4.0	46
5.1	Varianty pracovnej bunky	46
5.2	Popis robotizovanej bunky	47
5.3	Popis vzorovej úlohy pre účely výuky	50
6	ANALÝZA RIZÍK PROJEKTU ROBOTIZOVANÉHO PRACOVISKA	53
6.1	Kybernetická bezpečnosť	53
6.2	Analýza robotizovanej bunky	54
6.2.1	Blokový diagram.....	54
6.2.2	Identifikácia relevantných nebezpečí	55
6.2.3	Analýza významných nebezpečí	56
6.2.4	Prehľad identifikovaných závažných nebezpečí	57
6.2.5	Odhad rizík.....	59
7	ZÁKLADNÉ EKONOMICKÉ VYHODNOTENIE ROBOTIZOVANEJ BUNKY	63
8	ZÁVER.....	64

9	ZUSAMMENFASSUNG	65
9.1	Einleitung	65
9.2	Analyse zum aktuellen Stand der Technik und Industrie 4.0.....	66
9.3	Aktuelles Angebot kollaborativer Roboter	76
9.4	Arbeitsplatz mit einem kollaborierenden Roboter in Übereinstimmung mit dem Prinzip Industrie 4.0	78
9.5	Analyse der Risiken des robotisierten Arbeitsplatzprojekts	84
9.6	Wirtschaftliche Bewertung Roboterzelle	94
9.7	Zusammenfassung	94
10	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	97
10	ZOZNAM POUŽITÝCH NORIEM/ NORMEN	101
11	ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV	102
11	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	104
12	ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK.....	105
13	TABELLENVERZEICHNIS	106
	PRÍLOHA 1	107
	PRÍLOHA 2	108
	PRÍLOHA 3	109

1 ÚVOD

Súčasný podnik v priemysle sú nútené zvyšovať svoju flexibilitu a produktivitu z dôvodu, že zákazník si zvykol prispôbovať produkt podľa seba. Takéto flexibilné podniky sú súčasťou Priemyslu 4.0, kedy celý podnik je pripojený na internet s kybernetickou nadstavbou, vďaka ktorej sa stáva podnik plne automatizovaný.

V takomto podniku pracujú ľudia a stroje (kolaboratívne roboty) spolu, v tesnej blízkosti seba. Všetky informácie zo strojov, robotov, snímačov a kamier sú okamžite odosielané na vzdialené Cloud úložisko, kde sa s danými dátami ďalej pracuje a sú veľmi užitočné pre riadenie a konkurencieschopnosť podniku.

Cieľom diplomovej práce je návrh ideového pracoviska s kolaboratívnym robotom v princípe Priemyslu 4.0, kedy bude toto pracovisko v priestoroch laboratórií FSI VUT. Na toto vytvorené pracovisko je zostavená vzorová úloha, ktorá bude slúžiť k účelom výuky na univerzite. Spolu s konštrukčným návrhom je vytvorené ekonomické zhodnotenie a analýza rizík celého robotizovaného pracoviska.

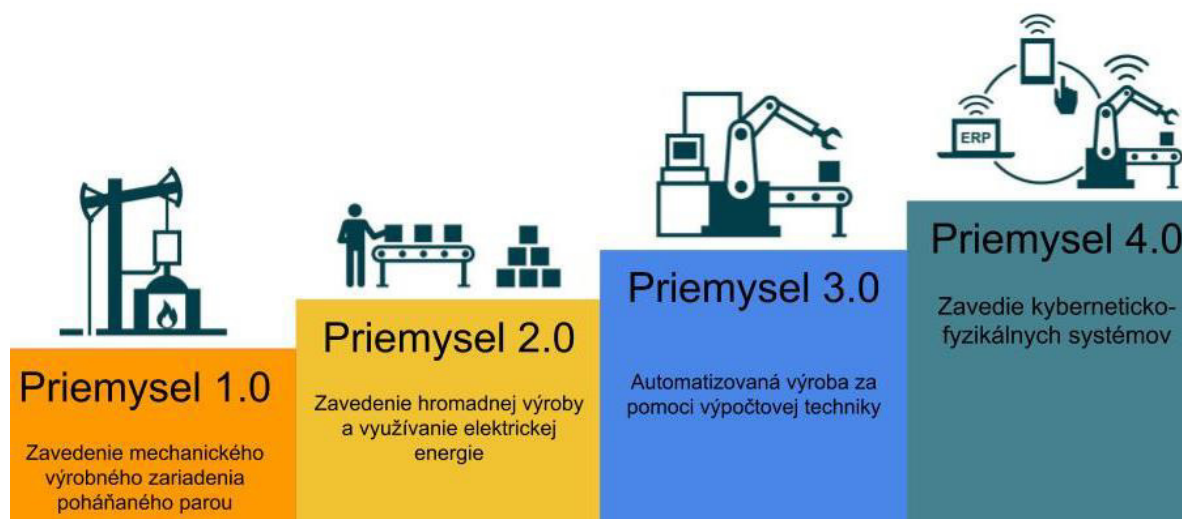
Diplomová práca sa zaoberá stavom súčasnej robotiky a kolaboratívnych robotov v koncepte Priemyslu 4.0. Konkrétne pri Priemysle 4.0 sa rozoberá kyberneticko-fyzikálny systém a jeho súvislosti so Smart Factory a Cloudom. U kolaboratívnych robotov je popisovaná konštrukcia a následne súčasný trh s tými kolaboratívnymi robotmi. Ukážka vzorovej úlohy je ukázaná obrázkami v kapitole 5 a v prílohe č. 1 je ukážka vo forme videa. Počas obhajoby bude prednesená ukážka vzorovej úlohy pomocou rozšírenej a virtuálnej reality.

2 MOTIVÁCIA

Najväčšou motiváciou pre písanie tejto diplomovej práce je myšlienka budúcnosti, kedy budú celé výrobné haly robotizované a dokážu autonómne pracovať bez nutnosti zásahu človeka. Je to síce ďaleká budúcnosť, kedy takýto stav nastane, ale pre mňa je to fascinujúce. Tým, že vytvorím diplomovú prácu robotizovaného pracoviska v zmysle Priemyslu 4.0, prispem k vývoju priemyslu. Vďaka takejto diplomovej práci by sa mohla v budúcnosti naplniť moja vízia autonómnej výrobnéj haly.

3 ROZBOR SÚČASNÉHO STAVU VEDY A TECHNIKY U ROBOTIKY A PRIEMYSLU 4.0

Novodobý trend súčasného priemyslu vo svete je zvyšovanie flexibility a produktivity podniku. Takýto nastolený trend však nemožno dosiahnuť len ľudskými zdrojmi, ale treba začleniť do výroby automatizáciu, kybernetiku a IT. Takáto implementácia novodobej automatizácie, kybernetiky a IT by nebola možná bez predchádzajúceho vývoja v priemysle. Priemyselné revolúcie, ktoré sme ako ľudstvo už prežili, nemali pevne ohraničený dátum, kedy započali a skončili. Dá sa povedať, že priemyselné revolúcie sa postupne medzi sebou prelínali. Začalo to prvou priemyselnou revolúciou v 18. storočí, kedy sa začali používať mechanické zariadenia poháňané parou. Druhá priemyselná revolúcia započala použitím elektrickej energie, ktoré sa začala používať k osvetleniu, pohonom strojov a automobilov. Veľkými míľnikmi počas druhej priemyselnej revolúcie boli vynálezy ako prvý benzínový motor od Daimlera alebo pohyblivá montážna linka a pásová výroba od H. Forda. Tretia priemyselná revolúcia začala neslávne, a to zhodením atómovej bomby na japonské mestá Hirošima a Nagasaki. Atómová bomba využívala riadenie termojaderných reakcií. Tretia priemyselná revolúcia je však hlavne spájaná s automatizáciou, elektronikou a rozvojom informačných technológií. V roku 1969 bol vyrobený prvý programovateľný logický automat PLC. Štvrtá priemyselná revolúcia je spojená s masovým rozširovaním internetu, a to vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Taktiež ju charakterizuje spolupráca človeka s robotom. Internet zaznamenáva od konca 90. rokov extrémny nárast užívateľov. K internetu nie sú pripojení len ľudia, ale aj stroje a zariadenia. Môžeme teda vidieť začínajúce prelínanie reálneho a virtuálneho sveta nazývané tiež kyberneticko-fyzikálny systém (CPS). Obrázok 1 zobrazuje vývoj priemyslu v skratke. [1, 2, 4]



Obrázok 1 Historický vývoj priemyslu

3.1 Priemysel 4.0

Koncept Priemyslu 4.0 (Industrie 4.0) vznikol v Nemecku na základe zadania od nemeckej vlády, ktorá v roku 2006 spustila projekt „High Tech strategy“. Tento projekt spája odborníkov na danú tému za účelom vzniku nových pokrokových technológií. Projekt sa zameriava na podporu výskumu a inovácii na potreby ľudstva ako napríklad zdravie, zmena klímy, energia, mobilita, mesto a vidiek, bezpečnosť a hospodárstvo. Obrázok 2 predstavuje ideu Priemyslu 4.0 podľa nemeckej vlády a jeho nadväznosti na ostatné odvetvia. [1, 3, 4, 6]



Obrázok 2 Koncept Priemyslu 4.0 a jeho súvislosti [3], Gesellschaftliche Herausforderungen – spoločenská výzva, Deutschlands Zukunftskompetenzen – budúce nemecké kompetencie, Offene Innovations- und Wagniskultur – Otvorená inovačná a riziková kultúra

3.1.1 Špecifikácia Priemyslu 4.0

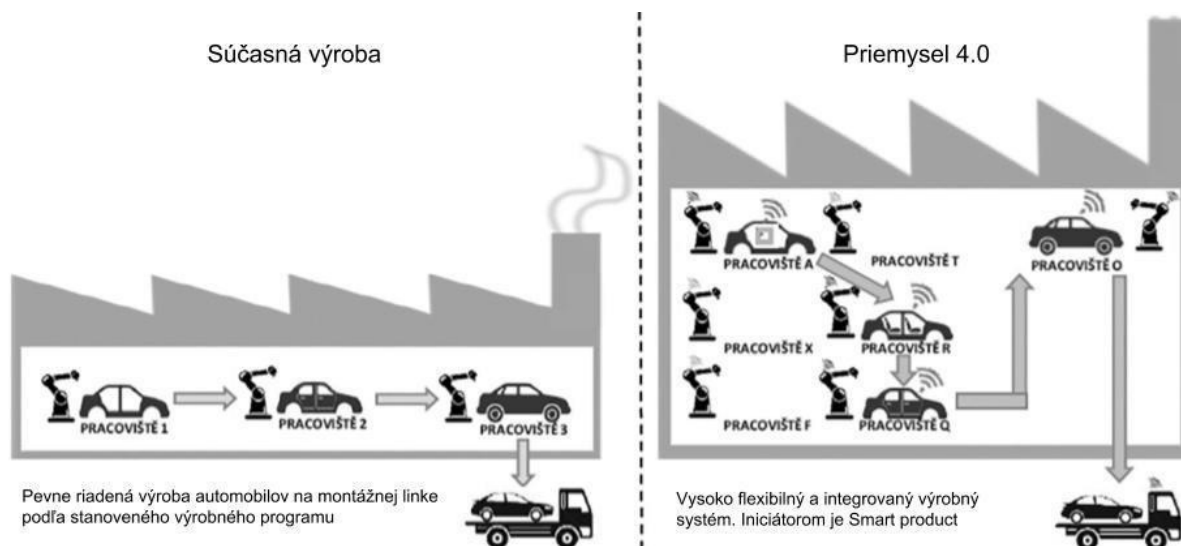
Vďaka nemeckej koncepcii Priemyslu 4.0 budú priemyselní výrobcovia schopní budovať flexibilné továrne, ktoré budú schopné rýchlejšie adaptability na nový produkt a na požiadavky zákazníka v rýchlom čase. Zavádzanie Priemyslu 4.0 má svoje významné ekonomické aspekty ako napríklad zvýšenie kvality, spoľahlivosti výrobkov, efektivity výroby, zvýšenie produktivity práce, ale hlavne zvýšenie konkurencieschopnosti. Priemysel 4.0 je koncept nemeckej vlády a taktiež prirodzený vývoj priemyslu, ktorý sa s vývojom elektroniky, mechaniky a IT dal očakávať. Pod pojmom aplikácie Priemyslu 4.0 možno chápať inteligentné výrobné zariadenie, ktoré dokáže rozhodovať na základe učenia z nazbieraných dát a tým, čo najefektívnejšie splniť dané úlohy. [1, 3, 4, 18]

Priemysel 4.0 je postavený na štyroch základných pilieroch, ktoré ho špecifikujú:

- Vertikálne prepojenie výrobného systému
- Horizontálna integrácia pomocou globálnych sietí hodnotového reťazca
- Toková výroba skrz celý hodnotový reťazec
- Implementácia Smart Technológie

Priemysel 4.0 je zameraný na Smart process, ktorý je možno pozorovať na obrázku 3. Priemysel 4.0 a jeho Smart Factory značia tieto hlavné atribúty:

- Zvládnutie výkyvov dopytu po produkte
- Odolnosť proti poruchám a ich predchádzanie
- Maximálna efektívnosť práce
- Rádiofrekvenčná identifikácia pomocou čipu



Obrázok 3 Porovnanie súčasnej výroby a výroby v zmysle Priemyslu 4.0 [1]

Stroje a zariadenia samé dokážu predvídať svoju poruchu. Ak nastane, definujú presný problém. Tým sa skráti doba opravy a údržby strojov, čím sa zvýši efektívnosť práce. Každý materiál, polotovar, súčiastka budú mať svoj rádiofrekvenčný čip (RFID), vďaka ktorému výrobok pozná cestu vo výrobnom procese a z ktorých častí sa skladá. Myšlienkou Priemyslu 4.0 je, aby všetku rutinnú a monotónnu prácu robili stroje a človek sa sústreďoval len na kreatívnu stránku práce. [1, 4, 7]

Ako už bolo vyššie spomenuté, tak internet za pomoci CPS prepojuje reálny a virtuálny svet. V Priemysle 4.0 sú pre výrobu riadenou počítačom použité komunikácie: Internet of Things (IoT), Big Data, Cloud computing, M2M, M2P a T2M. Vďaka týmto komunikáciám dosahuje CPS maximálnej efektivity. Pomocou IoT dokážu výrobky komunikovať so strojmi a pritom riadiť výrobu. Všetky dáta zo senzorov, kamier, snímačov, mikročipov, historické dáta, výrobné časy sa zálohujú na Cloud, odkiaľ sú dostupné okamžite z akéhokoľvek miesta na svete. Tento veľký obsah dát nazývame Big Data a sú dôležité pre analýzu, diagnostiku výroby a optimalizáciu.

V Priemysle 4.0 sa počíta s vývojom ďalších technológií a ich začlenením do výroby ako napríklad 3D tlačiarne, využívanie dronov, umelá inteligencia, roboty a nanotechnológie. Všetky tieto nové technológie prispievajú k zvýšeniu efektivity a zrýchleniu výrobného procesu. [1, 4, 6, 7]

3.1.2 Kyberneticko-fyzikálny systém CPS

Kyberneticko-fyzikálny systém, ďalej už len CPS, je najhlavnejší prvok Priemyslu 4.0. CPS má byť schopný automatickej výmeny informácií, vyvolaniu potrebných akcií v reakcii na aktuálne podmienky a schopný vzájomnej nezávislej kontroly (Obrázok 4). V CPS sú zapojené inteligentné objekty pomocou internetu, konkrétne Internet of Things (IoT) and Services (IoS). Komunikovať budú ľudia, stroje a zariadenia. Medzi inteligentné stroje môžeme zaradiť kolaboratívne roboty, priemyselné roboty a transportné zariadenia. CPS prepojuje reálny a virtuálny svet, čo označujeme ako digitalizácia výroby. Vznikne tak Digital Factory ako kópia reálnej Smart Factory. Digitálnu verziu reálnej továrne nazývame digitálne dvojča. Digital Factory prinesie virtuálne sledovanie výroby, simulovanie a optimalizáciu výrobného procesu. Smart Product pomocou CPS riadi výrobný proces a aktívne sa podieľa na vytváraní logistickej cesty. Pomocou rôznych senzorov dokáže CPS sledovať a súčasne zhromažďovať rôzne dáta o procese, ako je napríklad spotreba energie. Všetky tieto dáta smerujú okamžite skrz internet do Cloudu, kde sú prístupné a pridané na ďalšie analýzy. [1, 5, 6]

Vývoj CPS je možno charakterizovať troma fázami vývoja:

- 1. Generácia: implementácia RFID mikročipov, ktoré slúžia na jednoznačnú identifikáciu a sledovanie
- 2. Generácia: CPS vybavené senzormi s obmedzeným rozsahom funkcií
- 3. Generácia: CPS, ktoré sú schopné uchovať a analyzovať veľký súbor dát a sú vybavené senzormi pripojenými na IoT

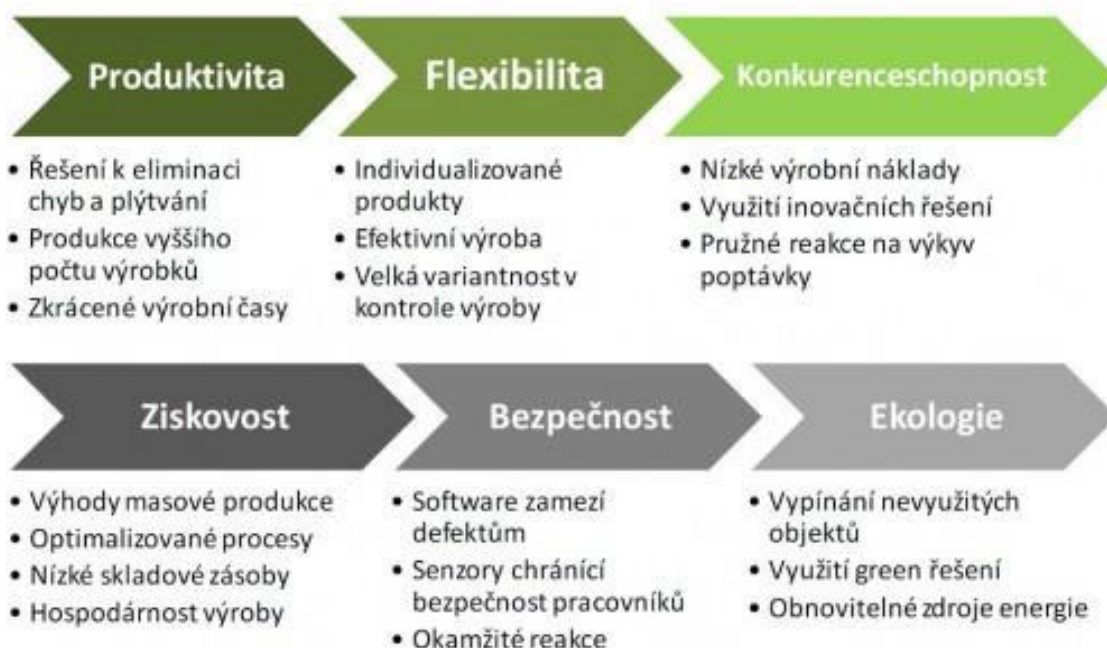


Obrázok 4 CPS systém a jeho logické spojitosti [5], computation – výpočet, communication-komunikácia, control – kontrola

3.1.3 Smart Factory

Smart Factory je súčasťou Priemyslu 4.0 a v praxi nadobúda stále reálnejších obrysov. Symbióza strojov s IT technológiou a internetom zvyšuje produktivitu, flexibilitu,

konkurencieschopnost, ziskovost, bezpečnost a ekologii. Obrázok 5 popisuje hlavné výhody Smart Factory. [5, 6, 7, 8]

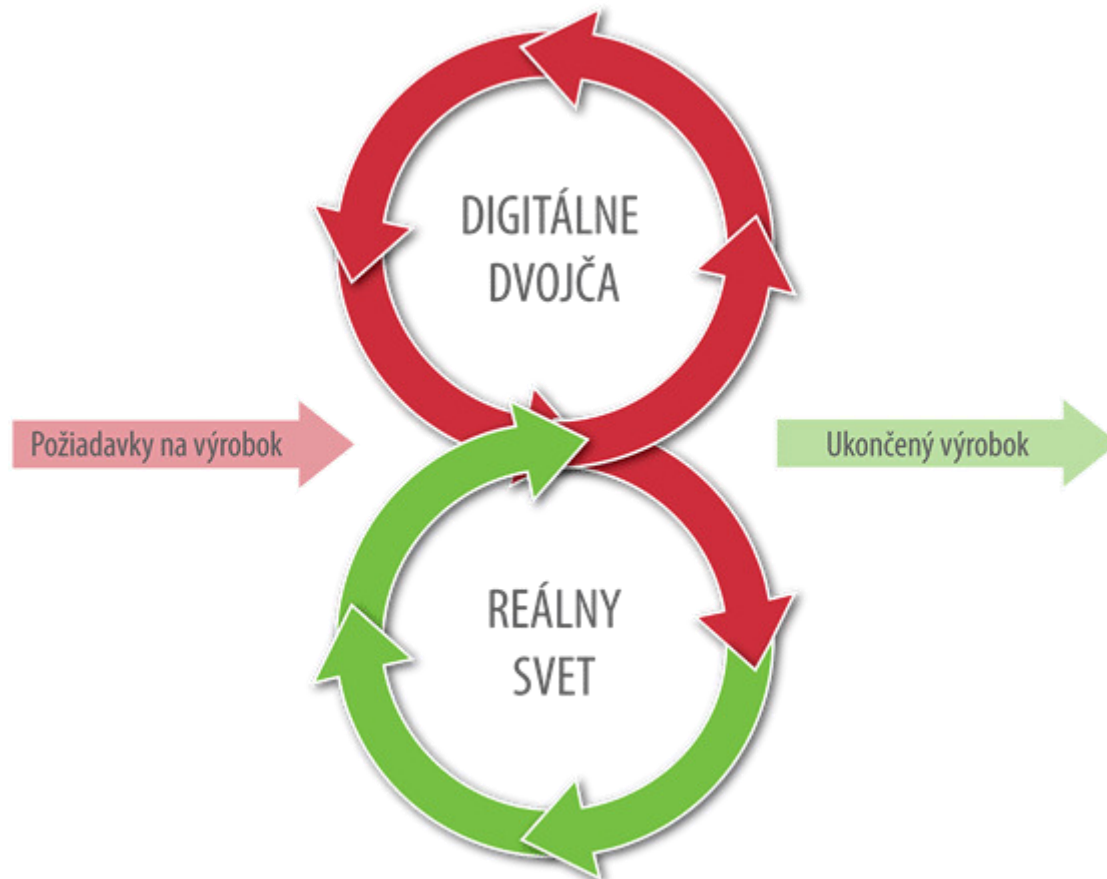


Obrázok 5 Výhody Smart Factory [8]

Smart Factory dokáže integrovat data z celopodnikového fyzického, prevádzkového a ľudského majetku za účelom riadenia výroby, údržby, monitorovania zásob, digitalizácie operácii prostredníctvom digitálneho dvojčata (Digital Twin). Smart Factory možno chápať tak, že je to továreň, ktorá dokáže dynamicky reagovať na zmenu na trhu. Výroba je vysoko automatizovaná, robotizovaná a autonómna. Vďaka senzorom a kamerám dochádza k digitalizácii výroby. Vďaka tomuto zaznamenávaniu možno porovnať reálny stav s virtuálnym a odchýlky riešiť v reálnom čase. Autonómnosť dokáže predchádzať poruchám, upozorňovať na údržbu či výmenu nástroja. Prepravu výrobkov zaisťujú Smart Logistics, za pomoci autonómnych prepravných prostriedkov. [5, 6, 7, 8]

3.1.4 Digital Twin – digitálne dvojča

Pojem digitálne dvojča predstavuje vytvorenie digitálnej kópie paralelne k skutočnému stroju, či celému výrobnému procesu. Digitálne dvojča spracováva dáta zo senzorov v reálnej fabrike, a následne ich používa na optimalizáciu činnosti. Ilustračný obrázok 6 zobrazuje zjednodušený model digitálneho dvojčata a ako funguje. [5, 9, 10, 13]

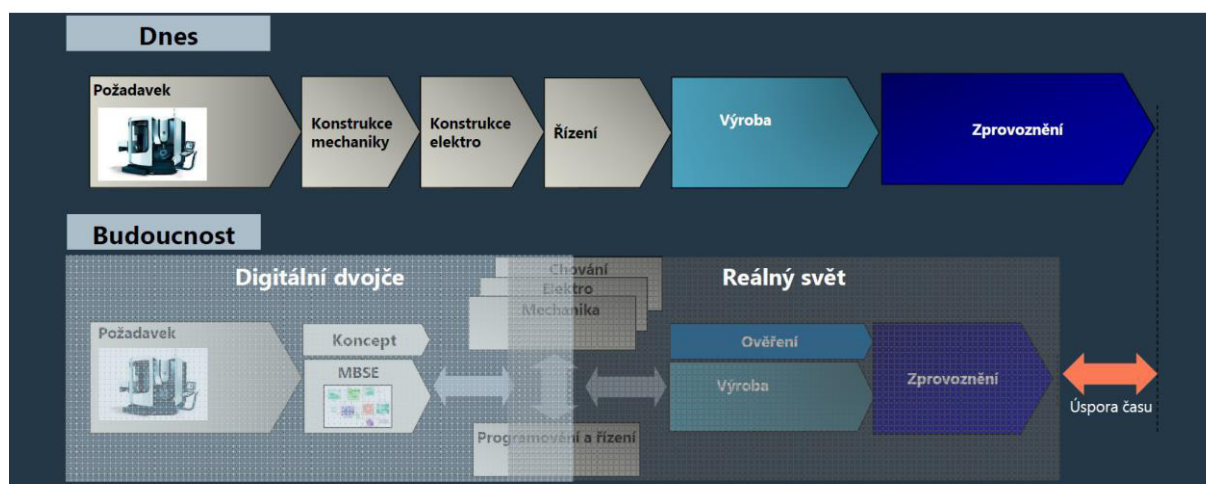


Obrázok 6 Model digitálneho dvojčata [11]

Koncept Digitálneho dvojčata (Digital Twin) sa skladá z troch hlavných častí:

- Fyzické produkty v reálnom priestore
- Virtuálne produkty vo virtuálnom priestore
- Pripojenie dát a informácií, ktoré spojí virtuálne a reálne produkty dohromady

Hlavnou myšlienkou, vytvorenia Digitálneho dvojčata je, aby vytváralo, testovalo a vyrábalo výrobok vo virtuálnom svete. Následne až po tom, ako je výrobok vo virtuálnom svete pripravený, prechádza výroba do reálneho sveta. Následne sa zložitejšie výrobky v reálnom svete zviažu prostredníctvom senzorov a IoT na svoje digitálne dvojča, a toto spojenie slúži na optimalizáciu. Obrázok 7 popisuje rozdiely v súčasnej výrobe a výrobu pomocou digitálneho dvojčata, kedy je zrejma úspora času v zavedení výrobku do reálnej výroby. [5, 9, 10, 13]



Obrázok 7 Porovnanie súčasnej výroby a výroby s digitálnym dvojčat'om [13]

3.1.5 RFID technológia

Jedná sa o technológiu, ktorá nahradí čiarové kódy, ale momentálne čiarové kódy a RFID technológia spolupracujú. RFID – Rádiofrekvenčná identifikácia sa skladá z rôznych technológií, ktoré využívajú na komunikáciu rôzne frekvencie, protokoly a jazyky. RFID tag sa skladá z veľmi malých silikónových čipov, ktoré sú pripevnené k úzkej anténe. Komunikácia medzi RFID čipom a čítacím zariadením prebieha skrz rádiové vlny. Komunikácia medzi anténou a čipom je rýchla, teda prenos dát prebieha okamžite a obojsmerne. Hlavnou výhodou RFID čipov je hromadné čítanie, kedy čítacie zariadenie dokáže načítať naraz stovky tagov za minútu. RFID čipy sú súčasťou množiny rôznych senzorov, ktoré zaznamenávajú dáta o výrobku, stroji alebo zariadení. Stroje s RFID čipom budú mať vlastnú IP adresu a budú pripojené do IoT. V Smart Factory bude RFID čip súčasťou polotovaru výrobku. V danom RFID čipe budú implementované informácie o výrobku a jeho vlastnostiach, konkrétny status či história. V spolupráci s CPS dokáže výrobok komunikovať, zhromažďovať dáta vo veľkom množstve (Big Data), riadiť vlastnú výrobu na online báze. [1, 5, 12]

3.1.6 Big Data

Pomocou pripojení IoT, IoS a IoP bude prebiehať vzájomná komunikácia spojená s obrovským objemom dát, s ktorými sa ďalej pracuje. Spolu s Cloud Computing umožňujú zber dát, analýzu a spracovanie dátových súborov. Zhromaždené Big Data zo senzorov, internetu, RFID čipov a zdieľaných diskov sa budú automaticky posielané do Cloudu, kde budú prístupné pre užívateľov, ktorí majú prístup. Takáto databáza dát slúži k plánovaniu zdrojov, predvídaníu predaja, virtuálnej výrobe, Supply chain managementu, projektovému managementu a údržbe. Veľkosť dát exponenciálne rastie v dôsledku zapojenia senzorov, internetu a technológií. Z toho dôvodu je potrebná online archivácia. [1, 5]

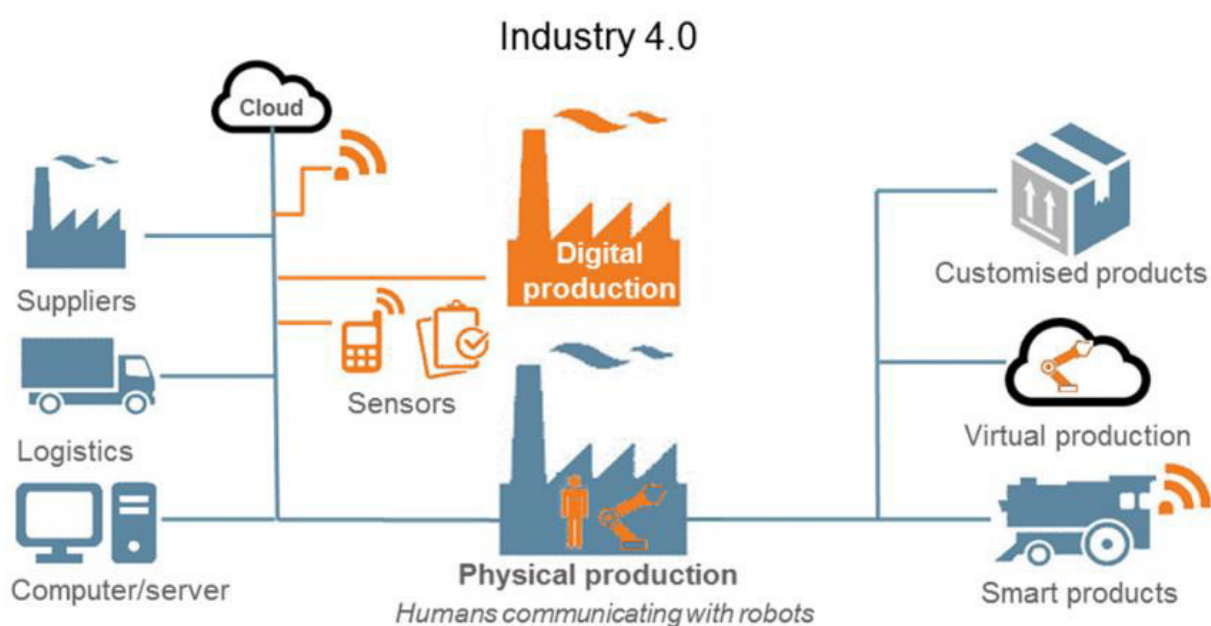
3.1.7 Cloud computing

Cloud computing je spôsob využívania softwaru alebo hardwaru formou služby, a to prostredníctvom internetu. Ponúkané sú výpočetné prostriedky platené od hodiny práce na CPU či GPU alebo za uložený GB. V Cloude musia byť všetky prostriedky vizualizované, to znamená, že prístup je skrz webovú aplikáciu a zákazník má prístup na zvolený software

na hardwaru. Obrázok 8 popisuje tok informácií z fyzickej produkcie až po Cloud. Primárnym cieľom Cloud computingu je redukcia nákladov na prevádzku svojho informačného systému. Veľkou nutnosťou plynulého nahrávania Big Dát na Cloud je rýchlosť internetu. [1, 5, 14]

Cloud computing je prístupný v troch modeloch:

- SaaS-Software as a Service: možnosť užívateľa používať softwarové aplikácie cez internet bez nutnosti ich vlastníctva (Např. Gmail, Microsoft Office 365)
- PaaS-Platform as a Service: opatruje užívateľovi výpočtnú platformu pre podporu webovej aplikácie cez internet (Google Apps)
- IaaS-Infrastructure as a Service: používanie počítačového hardwaru a systémového softwaru spolu s operačnými a komunikačnými systémami. O inštaláciu a údržbu sa stará poskytovateľ služby (Amazon EC2)



Obrázok 8 Infraštruktúra Priemyslu 4.0 [2], suppliers – dodávateľia, logistics – logistika, computer/server – počítač, customised products – upravené produkty, virtual production – virtuálna produkcia, Digital production – digitálna produkcia, physical production – fyzická produkcia

Výhody Cloud computingu sú: vzdialené dátové úložisko, výkonný hardware, veľká variantnosť možností, cena, nezávislosť na polohe užívateľa, spoľahlivosť a údržba. Nevýhodou je možné kybernetické napadnutie od hackerov. [5, 14]

3.1.8 Internet of Things, Services a People (IoT, IoS, IoP)

IoT

Hlavnou myšlienkou je vytvoriť smart produkty, stroje či zariadenia so senzormi a všetky tieto senzory pripojiť na internet (CPS). Prvým príkladom bolo pripojenie automobilu k internetu umožňujúcim väčšie bezpečie, navigačný systém upozorňujúci na nehody a zápchy (Waze, Google Maps), alebo systém, ktorý v prípade nehody či núdze vyšle núdzovú hlášku

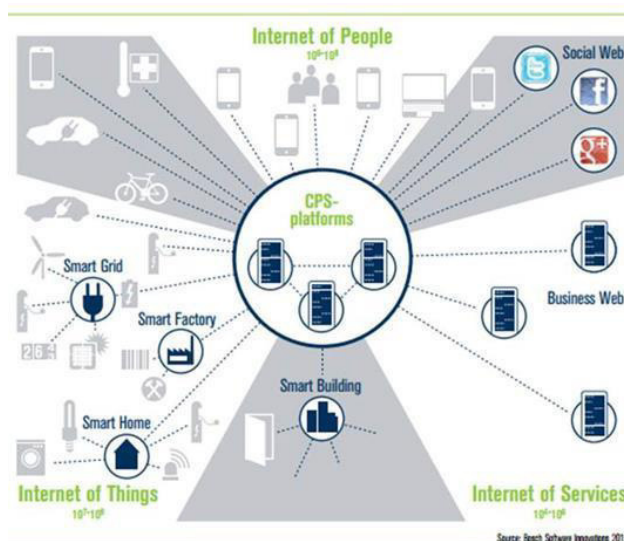
(Volvo Assistant). Internet vecí umožňuje ovládat připojené smart předměty na dálku bez už existující sítě infrastruktury, a tím se prolínají světy reálné a virtuální. Výsledkem je zvýšení efektivity (skrácení strojního času, kratší čas implementace nového stroje do výroby), přesnosti či ekonomické přínosy. [1, 5]

IoS

Velký dopyt po službách v oblasti IT zapříčinil vznik IoS, tedy internet servisu. Mezi tyto služby patří e-shop na internetu, webové stránky, online školení, kurzy nebo Cloud Computing, který je už popsán. IoS nie je ešte úplne integrovaný, je stále vo fáze vývoja z dôvodu bezpečnosti alebo spoľahlivosti. [1, 5]

IoP

Internet ľudí má za úlohu zblížovať ľudí a vďaka nemu môžu medzi sebou komunikovať a hľadať informácie. Veľký rozmach sociálnych sietí (Facebook, Instagram, Twitter, Whatsapp, YouTube), internetových obchodov a iných komunikačných kanálov vytvára veľký obsah dát Big Data. Veľkou a hlavnou podmienkou je rýchlosť a pokrytie internetom (4G, 5G sieť, optický kábel), pretože tento sociálny boom rastie veľmi rýchlo. [1, 5]



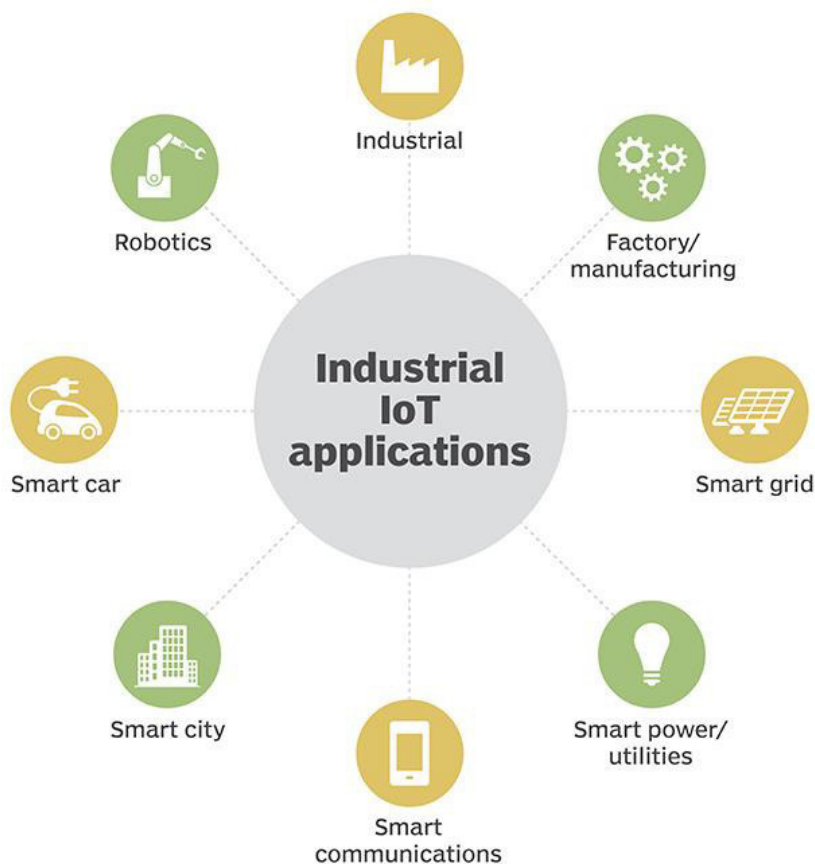
Obrázok 9 CPS systém – prepojenie IoT, IoP a IoS [15]

IoT má svoje uplatnenie v Priemysle 4.0, a to vo výrobe. Smart Factory bude vďaka Industrial Internet of Things (IIoT) bezdrôtovo prepojený, teda všetky senzory, RFID technológie, stroje a zariadenia budú medzi sebou komunikovať. Takéto prepojenie popisuje obrázok 9. Prepojením IoT, IoS a IoP je možné dosiahnuť komunikáciu medzi ľuďmi, strojmi a podnikmi. Celkové prepojenie nazývame Internet of Everything (IoE) a vďaka internetovému protokolu si vzájomne budú vymieňať dáta a informácie, analyzovať dáta či predchádzať chybám. [1, 5]

IIoT

Priemyselný internet vecí (Industrial Internet of Things) má za úlohu zlepšovať výrobné operácie a tým zlepšovať konektivitu, správu zariadenia, monitorovanie výroby a vzťahy

so zákazníkom (Obrázok 10). IIoT v porovnaní s IoT spojuje len stroje a zariadenia v priemyselných odvetviach. [27, 28]



Obrázok 10 IIoT a jeho kooperácia s priemyslom [28], industrial – priemysel, robotisc – robotika, smart car – smart automobil, smart city – smart mesto, smart communications – smart komunikácie, smart power – smart energia, smart grid – smart sieť, factory – fabrika

IIoT má svoje prínosy pre Priemysel 4.0, medzi ktoré patria [27, 28]:

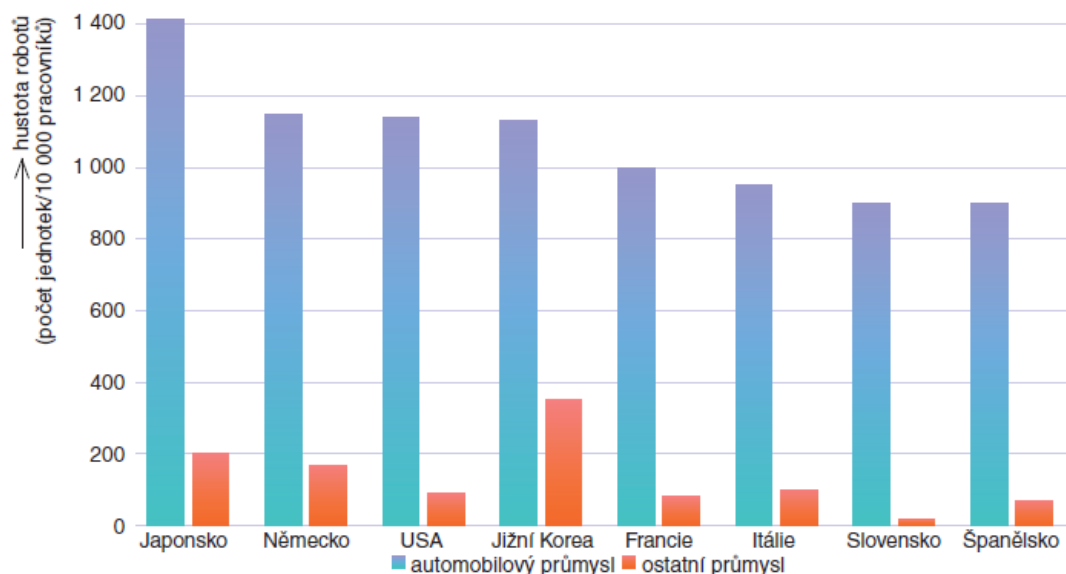
- **Monitorovanie výroby:** Vzhľadom na to, že IIoT prepája smart stroje, zhromažďuje a zdieľa množstvo dát, je možné monitorovať výrobu v reálnom čase. To umožňuje okamžitú reakciu na narušenie výroby a na prestoje.
- **Vzdialená správa zariadení:** Zariadenia, ktoré sú kompatibilné s IIoT a pripojené na sieť umožňujú vzdialenú správu zariadenia. Pripojenie na zariadenie skrz IIoT je možné odkiaľkoľvek na svete.
- **Údržba zariadení:** Zariadenia a stroje sa v spolupráci IIoT učia a dokážu predchádzať poškodeniu stroja alebo upozornia na údržbu v tom najvhodnejšom čase vo výrobe. Takáto predikcia údržby sa pozitívne odráža v zvyšovaní objemu výroby, obmedzení odstávok a znižovaní nákladov na údržbu.
- **Identifikácia položiek a komunikácie:** Identifikácia prebieha skrz RFID mikročipy, ktoré sú už popísané vyššie.
- **Všeobecné zlepšovanie vďaka analýze dát:** Pre rôzne koncepcie zlepšovania výroby je nutný veľký obsah dát. Preto je IIoT ako nástroj na zbieranie dát dôležitý. Následné opatrenia sa prevádzajú skrz IIoT.

- Autonomná manipulácia s materiálom: Medzi zariadenia, ktoré sú pripojené na IIoT patria aj zariadenia pre manipuláciu s materiálom. Všetky tieto manipulačné zariadenia pracujú autonómne na základe informácii z IIoT.
- Zlepšenie komunikácie s dodávateľmi: Smart Factory si skrz IIoT medzi sebou vymieňajú informácie o výrobe, a tým sa dokážu flexibilne prispôbiť akejkolvek zmene.
- Lepšie vzťahy so zákazníkmi: IIoT umožňuje odberateľskému kanálu poskytnúť prehľad o výške skladových zásob dokončeného výrobku. To môže znížiť úroveň skladových zásob, znížiť prepravné náklady a znížiť skladovacie náklady.
- Lepšie rozhodnutie managementu: V dnešnom vysoko konkurenčnom prostredí musí mať tým managementu k dispozícii informácie o výrobe v reálnom čase, aby mohol prijímať rozhodnutia s výrazným dopadom na náklady a zisky firmy.

3.2 Robotika a roboty

Využitie robotov v Priemysle 4.0 je predovšetkým v sériovej výrobe a znamenajú významný prostriedok na zvyšovanie produktivity. Roboty teda sú súčasťou Smart Factory a spolupracujú s ľuďmi vo výrobe. Roboty preberajú monotónnu, ťažkú a neergonomickú prácu od ľudí. Trend vo vývoji robotov je taký, aby mal každý robot na sebe senzory a RFID čipy, ktoré budú neustále posielat' dáta do Cloudu cez IoT. Vďaka týmto dátam sa bude optimalizovať pracovný proces a aj sám robot sa bude učiť z týchto dát. Roboty teda budú vnímať svoje prostredie vókol seba. Tieto senzory budú slúžiť tiež ako bezpečný prvok pred zranením spolupracovníka vedľa robota. Takýto príklad vnímavého robota už je vidieť v praxi. Takéto roboty nazývame kolaboratívne roboty. Zavádzanie robotiky do priemyslu má svoje významné ekonomické aspekty ako napríklad zvýšenie kvality, spoľahlivosti výrobkov, efektivity výroby, zvýšenie produktivity práce a hlavne zvýšenie konkurencieschopnosti. [1, 3, 4, 5, 6, 25]

Súčasný stav robotiky a automatizácie v praxi je taký, že vo väčšine prípadov sú roboty nasadené len vo veľkých spoločnostiach. Pod veľkými spoločnosťami možno chápať automobilky, ktoré pracujú s veľkou sériou produktov a návratnosť investície je prijateľná. Obrázok 11 vykresľuje hustotu robotov v automobilovom a ostatnom priemysle podľa štátov na konci roku 2016. Pre malé a stredné firmy je nasadenie robota neekonomické, a to z hľadiska ceny za robota a s tým súvisiacou návratnosťou investície avšak nie nemožné. Najväčšie zastúpenie robotov v strednej Európe má Slovenská republika a to z dôvodu sídlacích štyroch automobiliek. [1, 3, 4, 5, 6, 25]



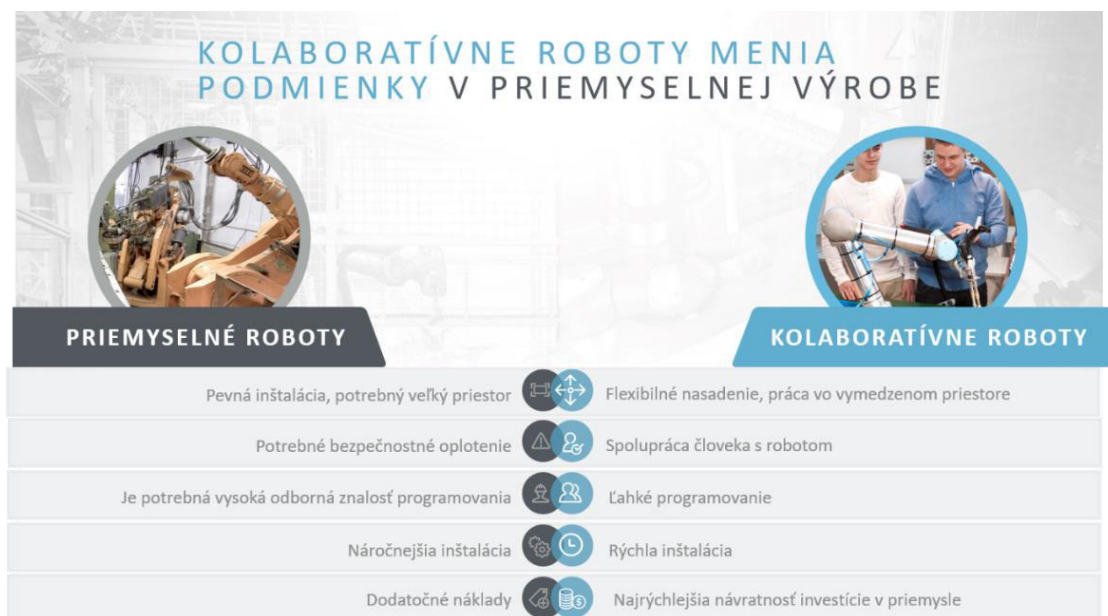
Obrázok 11 Hustota robotov v automobilovom a ostatnom priemysle [25]

3.2.1 Kolaboratívne roboty

Myšlienka kolaboratívneho robota vznikla v roku 1995 v rámci výskumného projektu General Motors Foundation. Kolaboratívne roboty (koboty) predstavujú rozšírenie akčného rádiusu priemyselných robotov. To znamená, že v porovnaní s priemyselným robotom nie je potrebné ochranné oplotenie. Práca bez oplotenia, umožňuje spoluprácu medzi človekom a kobotom a to bez rizika úrazu. Takáto spolupráca prináša vyššiu flexibilitu práce ako u priemyselného robota. Porovnanie kolaboratívneho a priemyselného robota popisuje obrázok 12. Kolaboratívny robot zaberá v priestore omnoho menší priestor ako priemyselný robot, ale naproti tomu kolaboratívny robot nedosahuje takej záťažovej nosnosti ako priemyselný. Všetky robotizované bunky kolaboratívnym robotom musia spĺňať bezpečnostnú normu ČSN EN ISO 10218-1 a ISO 10218-2. V tejto norme je stanovené, ktoré bezpečnostné zaistenia musia roboty obsahovať. Prvé tri zaistenia sú pre priemyselné roboty a štvrté zaistenie prináleží kobotom. [28,29, N01, N02]

- U bezpečnostne monitorovaného zastavenia je robot riadený automaticky až do okamžiku, kedy je funkcia aktivovaná. To znamená, že ak vstúpi osoba do monitorovaného priestoru robota, robot sa zastaví. Je to typické pre oplotený priestor a kľetku. Používa sa tejto funkcie pri údržbe, výmene nástroja a podobne.
- U ručného navádzania robota je robot navádzaný ľudskou obsluhou a následne po ukončení funkcie sa opäť spustí automatické riadenie. Je to typické pre učenie robota.
- Pri sledovaní rýchlosti a vzdialenosti je robot riadený svojím riadiacim systémom a ak dôjde k kontaktu s obsluhou, tak sa zastaví alebo spomalí na bezpečnostnú rýchlosť a zníži silu na hranicu bezpečnosti. Toto zaistenie je vhodné v prevádzke kedy obsluha v určitú dobu spolupracuje s robotom, ale nedochádza k bezprostrednému kontaktu.
- Pri obmedzení sily a výkonu je robot riadený tak, aby obsluha nemohol nijak ublížiť. Je to jediná funkcia robota (kobota), ktorá umožňuje plnú spoluprácu riadiaceho systému robota s obsluhou.

Hlavnou myšlienkou Priemyslu 4.0 u robotom je, aby boli pripojené skrz IoT na Cloud, kam budú neustále posielat' dáta zo senzorov a čipov. Takáto myšlienka je už v súčasnosti reálna z hľadiska toho, že koboty majú na sebe nespočetné množstvo senzorov a dokážu mať aj kamery. Priemysel 4.0 sa vďaka kolaboratívnym robotom stáva skutočnosťou. [28,29]



Obrázok 12 Porovnanie predností priemyselného a kolaboratívneho robota [30]

3.2.1.1 Konštrukčné prvky jedinečné u kolaboratívneho robota

Z dôvodu spolupráce medzi obsluhou a kobotom musí kobot mať implementované jedinečné konštrukčné prvky ako napríklad [28]:

- Rýchlostné a momentové senzory v kĺboch signalizujúce, akou silou pôsobí kobot na obsluhu pri kontakte a v prípade prekročenia stanovených limitov sily sa kobot okamžite zastaví.
- Znižovanie hmotnosti ramena – to znamená, že je cieľom pri každej konštrukcii kobota znižovať hmotnosť z dôvodu hmotnosti v pohybe a tým zabezpečiť vyššiu bezpečnosť obsluhy.
- Pomalý pohyb kobotov – hlavnou myšlienkou je, aby rýchlosť kobota bola vždy taká, aby dokázal okamžite zastaviť.
- Oblé tvary kobota – sila ramena sa pri kontakte s obsluhou rozloží na väčšiu plochu a tým sa zníži náraz.
- Mäkká vrstva na povrchu kobota
- Sensitive skin – citlivá vrstva na povrchu kobota podobná koži je tvorená veľkoplošným kapacitným senzorom, ktorý neustále detekuje prostredie a pri približovaní objektu k ramenu kobota vydá pokyn na pribrzdenie pohybu, tak aby v okamžiku dotyku kobota s obsluhou bola rýchlosť kobota bezpečná. Riadi sa to normou ČSN EN ISO 10218-1 a 10218-2.
- Sériové elastické členy v kĺboch ramena
- Okolie kobota je monitorované kamerami, ktoré upozornia kobota na blížiacu sa obsluhu. Taktiež kamery slúžia na orientáciu kobota v priestore, aby dokázal zbierať rôzne typy výrobných súčiastok a vkladal ich do rúk obsluhy.

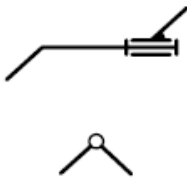
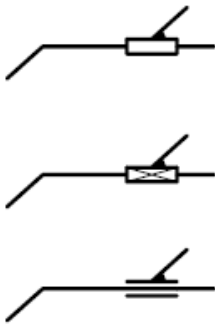
Vďaka týmto bezpečnostným prvkom sa kolaboratívne roboty čím ďalej tým viac začleňujú do súčasnej výroby, a tým sa viac približujú fabriky k Priemyslu 4.0. Obrázok 13 zobrazuje vývoj predaja kolaboratívnych a priemyselných robotov. Z vývoja je zaujímavá skutočnosť, že kolaboty sa budú v roku 2024 predávať v takom množstve ako sa predávali v roku 2017 priemyselné roboty.



Obrázok 13 Vývoj a predpoveď predaja priemyselných a kolaboratívnych robotov [31]

3.2.1.2 Kinematické dvojice kolaboratívnych robotov

Akčný systém kolaboratívneho robota je rovnaký ako u priemyselného robota. Rozdiel je v hmotnosti celého celkového ramena a to z dôvodu bezpečnosti a kompaktnosti. Akčný systém je pohybový mechanizmus, ktorý pozostáva z rôznych konštrukčných podskupín, uzlov a častí, ktoré sa pomenúvajú členy sústavy. Kolaboratívne roboty majú implementované do svojich kinematických dvojíc len dva druhy kinematických dvojíc (väzieb) a to rotačné (R) a posuvné (T). Vzhľadom ku ktorej z ôs súradnicového systému sa uskutočňuje pohyb, dopĺňa sa index osy – Rx, Ry, Rz, Tx, Ty, Tz. Pre určenie polohy telesa v priestore je nutných 6 nezávislých súradníc. Trieda dvojice je počet stupňov voľnosti (DOF), ktoré sú konkrétnej dvojici telesa odobrané (Obrázok 14). [32]

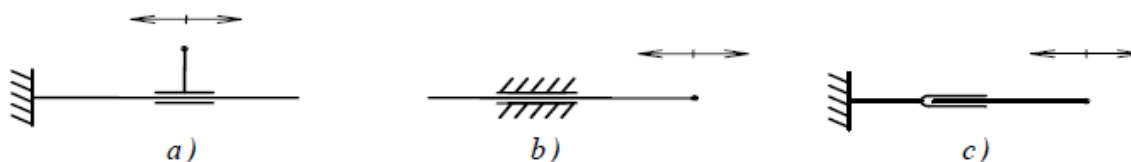
Kinematická dvojice	Počet stupňů volnosti	Značení	Třída dvojice	Zobrazení
rotační	1	R	5	
posuvná	1	T	5	

Obrázok 14 Popis kinematických dvojíc [32]

3.2.1.3 Translačné kinematické dvojice

Translačné kinematické dvojice sú na grafické znázornenie jednoduché, pretože zobrazujú len translačný posuv dvoch telies po sebe. Je však nutné podotknúť, že sa môžu len po sebe posúvať a nemôžu rotovať. Nutnosťou je však rešpektovať relatívnosť pohybu posúvajúcich sa telies. [32]

- Po dlhom vedení sa posúva krátke teleso-suportové alebo saňové vedenie (Obrázok 15a)
- Po krátkom vedení sa posúva dlhé teleso-smykadlové vedenie (Obrázok 15b)
- Výsuvne, poprípade teleskopické vedenie (Obrázok 15c)

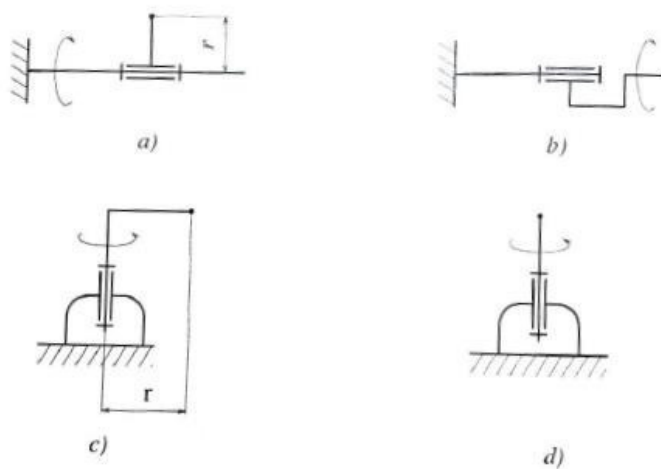


Obrázok 15 Translačné kinematické dvojice [32]

3.2.1.4 Rotačné kinematické dvojice

Rotačné kinematické dvojice predstavujú rotáciu okolo vlastnej osi alebo rotáciu ramena o dĺžke „r“ okolo svojej vlastnej osi (kĺb) a zároveň aj smer pohľadu (nárys, pôdorys, bokorys) na otočný kĺb. Konštrukčné riešenia sú graficky zobrazené na obrázku 16 a 17. Obrázok 18 zobrazuje kolaboratívny robot značky FESTO BionicCobot so 7 stupňami

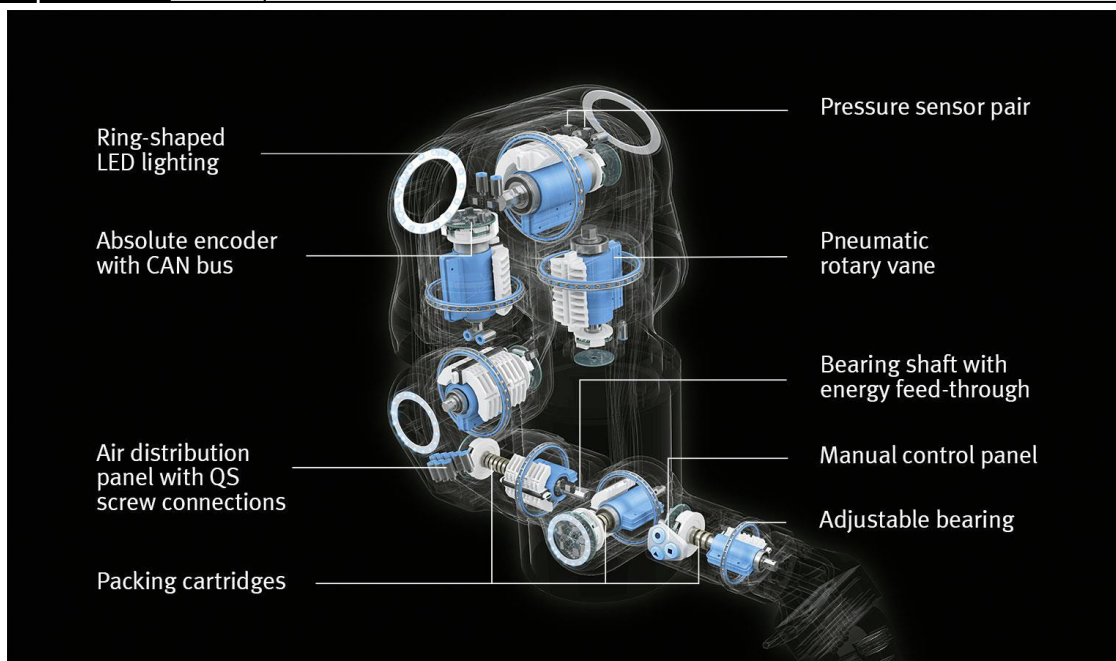
voľnosti. Z obrázka je vidieť, že sa kolaboratívny robot podobá ľudskej paži a to bol aj zámer výrobcu. [32]



Obrázok 16 Otočné kinematické dvojice bez obmedzenia uhlu a) a c) s ramenom „r“, b) d) okolo vlastnej osi ($r=0$) [32]



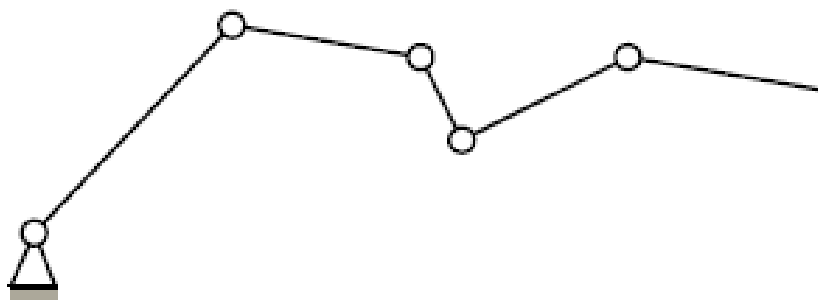
Obrázok 17 Rotačné kinematické dvojice s ramenom „r“ v náryse a pôdoryse a) bez obmedzenia uhlu natáčania kĺbu b) s obmedzením [32]



Obrázok 18 Kolaboratívny robot FESTO BionicCobot so 7 stupňami voľnosti [33], ring-shaped led lighting – krigové osvetlenie, absolute encoder with CAN bus – snímač s CAN zbernicou, air distribution panel with QS screw connections – panel distribúcie vzduchu so skrutkou, packing cartridges – kazety, pressure sensor pair – tlakový senzor, pneumatic rotary vane – pneumatický rotačný posúvač, bearing shaft with energy feed-through – ložiskový hriadeľ s priechodom energie, manual control panel – ovládací manuálny panel, adjustable bearing – staviteľné ložisko

3.2.1.5 Kinematický reťazec kolaboratívnych robotov

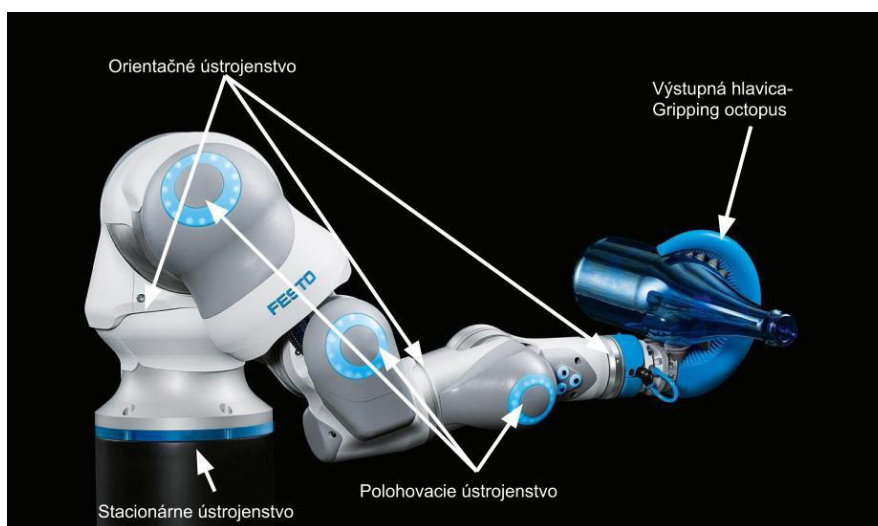
Spájaním kinematických členov sa zostavuje kinematický reťazec. Takýto kinematický reťazec je u kolaboratívnych robotov vždy otvorený. Manipulačná schopnosť kolaboratívneho robota je priamo úmerná počtu kinematických dvojíc obsiahnutých v reťazci. Každá kinematická dvojica predstavuje jeden stupeň voľnosti a z toho vyplýva, že počet stupňov voľnosti (DOF) zodpovedá počtu kinematických dvojíc v reťazci. [32]



Obrázok 19 Otvorený kinematický reťazec [33]

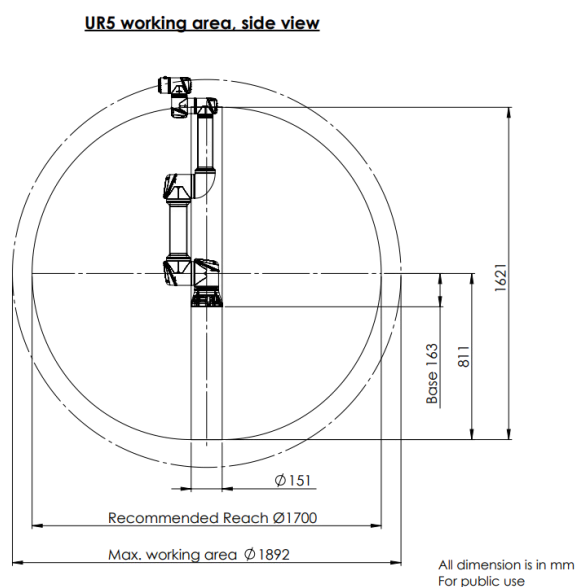
Pre zaistenie polohy a orientácie predmetu v priestore, je nutný kinematický reťazec kolaboratívneho robota so šiestimi stupňami voľnosti, teda tri stupne pre polohovanie a tri stupne voľnosti na orientáciu. Kolaboratívny robot sa z hľadiska konštrukcie rozdeľuje na akčné systémy (Obrázok 20):

- Pojazdové alebo stacionárne ústrojenstvo
- Polohovacie ústrojenstvo
- Orientačné ústrojenstvo
- Výstupná hlavica (gripper)



Obrázok 20 Kolaboratívny robot FESTO BionicCobot s akčnými členmi

Kinematický reťazec vytvára v priestore svoj charakteristický tvar pracovného priestoru, ktorý opisuje koncový referenčný bod kolaboratívneho robota. U kolaboratívnych robotov je pravidlom, že pracovný priestor je argulárny (torusový). Výhodou takéhoto pracovného priestoru je jeho efektivita využitia celého priestoru. Tvar takéhoto pracovného priestoru vyzerá ako nedokonalá guľa alebo vysoký prstenec (Torus). Obrázok 21 popisuje pracovný priestor kolaboratívneho robota UR5.



Obrázok 21 Pracovný priestor kolaboratívneho robota UR5 [34]

3.2.1.6 Implementácia kolaboratívnych robotov v praxi

Priemyselné a kolaboratívne roboty majú široké uplatnenie v praxi, v skratke neexistuje oblasť použitia kam by sa nedali implementovať.

Príkladom nasadenie kolaboratívneho robota v praxi je spoločnosť SLOVARM sídliaca na Slovensku v meste Myjava. Firma patrí medzi stredné firmy s dlhoročnou tradíciou a zaoberá sa výrobou armatúr a podobného sortimentu.

Kolaboratívny robot od spoločnosti Universal Robots je umiestnený v obrobni na stroji z polovice 60-tych rokov 20.storočia. Stroj patrí v závode k naviac vyťaženým strojom, preto malo význam uvažovať o kooperácii robota so strojom. Úlohou kolaboratívneho robota UR5 je zakladanie výkovkov do upínacích čelustí stroja a po následnom opracovaní ich výber a spustenie na dopravník. Robot disponuje manipulačnými čelustami s bezpečnostným snímačom na detekciu výkovku. Z dôvodu neustálej prítomnosti oleja, majú čeluste vyššiu chemickú odolnosť IP67. Výkovky sú brané zo zásobníka s kapacitou 368 kusov, pričom za zmenu sa ich obrobí približne 1400. Zásobník sa skladá z 8 žľabov a každý z nich pohltí 46 výkovkov. Pracovný takt robota pri zakladaní a vykladaní závisí na rýchlosti opracovania stroja a pohybuje sa na úrovni 13 sekúnd. Výrobnosť linky po zavedení robota do prevádzky stúpla tak, že na linke sa vyrobilo za 7 hodín daný počet kusov zodpovedajúci 8 hodinám práce. Obrázok 3 ukazuje zakladanie výkovku do čelustí stroja. [19, 20]



Obrázok 22 Zakladanie výkovku do stroja [19]

V tomto procese robot nahradil človeka z dôvodu vysokej monotónnosti práce, avšak ho úplne nevyradil z výrobného procesu. Pracovník dopĺňa zásobník akonáhle vidí, že sa určitý žľab vyprázdnil. Použitý robot Universal Robots UR disponuje 6 DOF a má nosnosť 5 kg pri opakovateľnosti $\pm 0,1\text{mm}$ pri stupni krytia IP54. Pracovný priestor robota má tvar torusu o rádiuse 850mm. [19, 20]

Ďalším príkladom nasadenia kolaboratívneho robota v praxi je v spoločnosti Scott Fetzer Group v Tennessee v USA. Spoločnosť je líder v oblasti inteligentných energetickým riešení ako sú napríklad elektromotory, zdroje a transformátory. Spoločnosť je známa širokým množstvom rôznych druhov výrobkov s nízkym objemom. Je použitý robot Universal Robots

UR5. Robot nemá pevne stanovú prácu, keďže každý deň pracuje na inej práci. Škála prác je rôzna, od ohýbania plechov, cez štandardné „pick and place“ úlohy až po skladanie súčiastok do konečného výrobku. Víziou spoločnosti bolo zvýšenie konkurencieschopnosti zavedením kolaboratívneho robota do výrobného procesu. Víziu naplnili tak, že optimalizovali produkciu až o 20% prevzatím monotónnej nebezpečnej práce od zamestnancov. Na výrobných linkách sa s pomocou kolaboračných robotov UR zvýšil pracovný takt o 20 %. V celej spoločnosti sú použité len roboty UR a to UR 3, 5 a 10. Všetky roboty UR sú medzi sebou spárované, vedia o sebe a neustále zbierajú údaje (maximálna veľkosť prúdu, priemerná veľkosť prúdu, počet dokončených cyklov), ktoré sú následne posielané do dátového úložiska, kde sa s nimi ďalej pracuje. Obrázok 5 ukazuje vyššie popísanú spoluprácu človeka s robotom pri ohýbaní plechu, jedná sa o kolaboratívneho robota UR10. [22, 23]



Obrázok 23 Zavedenie UR 10 do prevádzky [23]

Ďalším príkladom nasadenia kolaboratívnych robotov v praxi spolu s Priemyslom 4.0 je spoločnosť BSH Hausgeräte GmbH v Nemecku. Jedná sa o najmodernejšiu továreň na umývačky riadu v Európe. Robot prevzal prácu po človekovi, ktorá bola monotónna a ergonomicky nepohodlná. Jedná sa o prácu, kedy robot montuje upevnenie čerpadla v umývačke. Pracovník sa pred tým musel nepohodlne nakláňať do umývačky a tým si zaťažoval chrbát. Ďalšou výhodou využitia kolaboratívneho robota je neustála dokumentácia jeho práce. S týmito dátami sa ďalej pracuje v analýzach. Kolaboratívny robot indikuje správne upevnenie skrutky a tým zaznamenáva celú svoju prácu. Bol použitý kolaboratívny robot KUKA flexFELLOW so 6 DOF. Celá linka s kolaboratívnym robotom je zatiaľ v fáze testovania, ale je veľká pravdepodobnosť, že takýto druh automatizácie zostane na trvalú výrobu. Obrázok 6 ukazuje danú monotónnu prácu, kedy kolaboratívny robot montuje 4 skrutky na čerpadlo. [24, 25]



Obrázok 24 Kuka flexxFELLOW pri montáži skrutiek v umývačke riadu [24]

Ako posledným príkladom nasadenia kolaboratívneho robota v praxi je nasadenie UR5 do výroby súčiastok do prevodovky. Jedná sa o spoločnosť Osvald Jensen A/S, je to dánska rodinná firma, ktorá vyvíja súčiastky do prevodoviek ako napríklad šnekové prevodovky, prevodové ústrojenstvo a ozubené kolesá. Spoločnosť sa rozhodla investovať investície do kolaboratívneho robota UR5 na obsluhu CNC strojov z dôvodu zvýšenia automatizácie. Obrázok 25 zobrazuje kolaboratívny robot UR5 pri obsluhu CNC stroja. Ako prvé začala spoločnosť s OnRobot koncovým nástrojom, kedy jeho návratnosť bola menej ako tri mesiace. Časom spoločnosť chcela ešte viac zvýšiť efektivitu práce a rozhodla pre kúpu uchopovača RG2 od OnRobot. Jedná sa o dvojité uchopovač, v porovnaní s jednoduchým uchopovačom zvyšuje produktivitu. Po zavedení dvojitého uchopovača do výroby bolo jasne viditeľné zlepšenie produktivity (Obrázok 26). Jednoduchý uchopovač dokázal zadanú úlohu splniť za 27 sekúnd a dvojité zvláda túto úlohu za 15 sekúnd. Jedná sa o rozdiel 12 sekúnd na každý cyklus. Týmto krokom sa podarilo spoločnosti skrátiť dĺžku obrábania takmer o polovicu a významne tým zvýšiť produktivitu a konkurencieschopnosť. [35]



Obrázok 25 Kolaboratívny robot UR 5 obsluhujúci CNC stroj [35]



Obrázok 26 Dvojité uchopovač RG2 Dual Gripper od spoločnosti OnRobot [35]

4 AKTUÁLNÁ PONUKA KOLABORATÍVNYCH ROBOTOV

V súčasnej dobe je trh s kolaboratívnymi robotmi rozsiahly a zákazník si dokáže vybrať presne podľa svojich potrieb. V nasledujúcej tabuľke 1 je zobrazené porovnanie kolaboratívnych robotov, ktoré sú v dispozícii na trhu. Roboty sú medzi sebou porovnávané z hľadiska stupňov voľnosti, užitočného zaťaženia, rozsahu pracovného priestoru, celkovej hmotnosti, rýchlosti pohybu a možnosti využitia.

Tabuľka 1 Prehľad ponúkaných kolaboratívnych robotov na trhu

Výrobca	Model	Obrázok	Stupne voľnosti	Pracovný priestor [mm]	Užitočné zaťaženie [kg]	Hmotnosť [kg]	Rýchlosť [m/s]	Využitie
Universal Robots	UR 3		6	500	3	11	1	použitie v malom priestore, montáž malých objektov, lepenie, skrutkovanie, ovládanie nástrojov, spájkovanie, natieranie
Universal Robots	UR 5		6	850	5	18,4	1	odoberanie, uskladnenie, testovanie, práca s ľahkými objektami
Universal Robots	UR 10		6	1300	10	28,9	1	balenie, paletizácia, montáž, uskladnenie
ABB	Yumi		2 x 7	680	0,5 x 2	38	1,5	jemná práca so súčiastkami, vysoká presnosť
Fanuc	CR-4iA		6	550	4	48	0,5 ak je pracovný priestor monitorovaný kamerami tak 1	balenie, ukladanie, skladanie, práca s ľahkými objektami
Fanuc	CR-7iA		6	717	7	53	0,5 ak je pracovný priestor monitorovaný kamerami tak 1	balenie, ukladanie, skladanie, práca s ľahkými objektami
Fanuc	CR-15iA		6	1441	15	255	0,8 ak je pracovný priestor monitorovaný kamerami tak 1,5	Manipulácia, obsluha strojov, logistika
Fanuc	Cr-35iA		6	1813	35	990	0,25 ak je pracovný priestor monitorovaný kamerami tak 0,75	manipulácia, obsluha strojov, logistika, práca s ťažšími objektami
KUKA	LBR iiwa 7 R800		7	911	7	22,3	90°/s až 180°/s	balenie, ukladanie, skladanie, práca s ľahkými objektami
KUKA	LBR iiwa 14 R820		7	931	14	29,5	70°/s až 180°/s	balenie, paletizácia, montáž, uskladnenie
Rethink Robotics	Baxter		2x7	1041	2x 2,3 (spolu s gripperom)	75	1	odoberanie, uskladnenie, testovanie, práca s ľahkými objektami
Festo	BionicCobot		7	N/A	1,5	N/A	N/A	použitie v malom priestore, montáž malých objektov, lepenie, skrutkovanie, ovládanie nástrojov, spájkovanie, natieranie

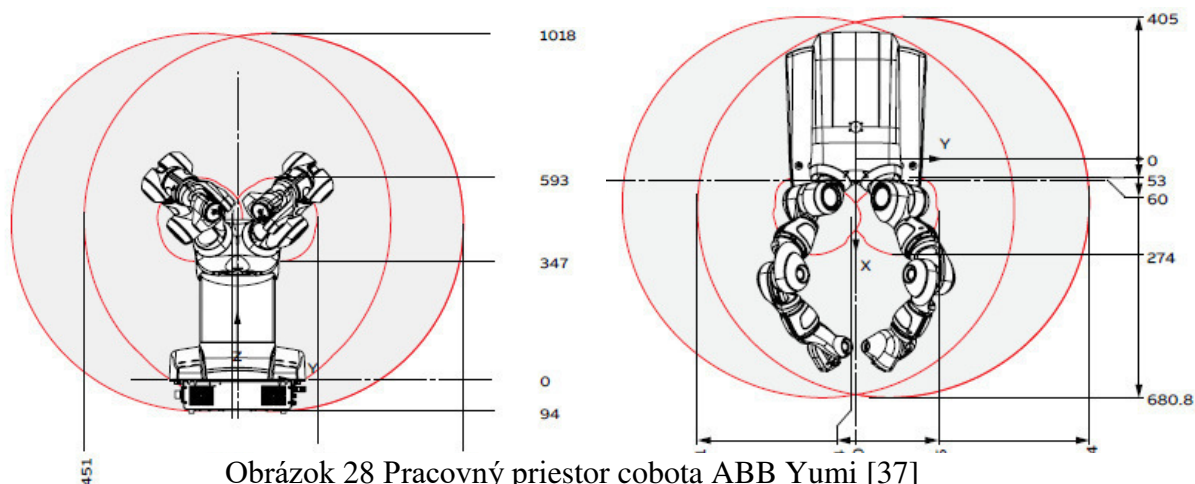
V danej tabuľke sú vybrané kolaboratívne roboty, ktoré sú na trhu najviac známe. Na trhu existujú aj ďalšie kolaboratívne roboty menej známych značiek, ktoré nie sú v tabuľke zobrazené ako napríklad BionicRobotics, Franka, Bosch, Kawada Industries, Kawasaki, Mabi, MRK Systeme a Precise Automation. Využitie kolaboratívnych robotov nie je presne definované a zákazník si dokáže každého prispôbiť k svojim potrebám. Trh s kolaboratívnymi robotmi neustále rastie, a s ním rastú aj požiadavky na bezpečnosť. Bezpečnosť kolaboratívnych robotov popisuje norma ČSN EN ISO 10218-1 a ISO 10218-2. Nie je však možné tvrdiť, že kolaboratívny robot vybavený bezpečnostnými prvkami je za každých okolností bezpečný a z toho dôvodu, že vhodné vždy urobiť analýzu rizík daného pracoviska. [35, N01, N02]

4.1 ABB Yumi

Kolaboratívny robot ABB Yumi bol predstavený na veľtrhu v Hannoveru v roku 2015, kde predstavoval jedinečný koncept kolaboratívneho robota (obrázok 27). Yumi disponuje dvomi ramenami a každé z nich má 7 stupňov voľnosti. Ramená dokážu pracovať nezávisle na sebe. Bol navrhnutý na prácu s malými súčiastkami a spoluprácu s človekom. Yumi nedisponuje v porovnaní s konkurenciou veľkým užitočným zaťažením, ktoré je 0,5kg. Zato v maximálnej rýchlosti koncového efektora vyniká a to až s rýchlosťou 1,5 m/s. Opakovateľná presnosť je $\pm 0,02\text{mm}$. Pracovný priestor ABB Yumi sú dve prekrývajúce sa gule (obrázok 28). Yumi je vybavený, ako aj konkurencia citlivými senzormi, ktoré rozpoznávajú odpor a sledujú okolie a teda umožňujú spoluprácu s človekom. [37]



Obrázok 27 Kolaboratívny robot ABB Yumi [37]



Obrázok 28 Pracovný priestor cobota ABB Yumi [37]

Yumi disponuje stupňom krytia IP30, čo znamená ochrana robota pred vniknutím nástroja do medzery maximálne 2,5mm veľkej. Nedisponuje žiadnym krytím pred prachom, preto výrobca doporučuje čisté pracovné prostredie. [37]

Gripper

Výber griperrov u robota Yumi je široký. Dajú sa kombinovať rôzne typy ako napríklad dispozícia vákuových prísaviek spolu s kamerou alebo mechanické kliešte a podobne. Takýto rozmanitý výber gripperov u Yumiho popisuje ilustračný obrázok 29. [37]



Obrázok 29 Gripperi na ABB Yumi [37]

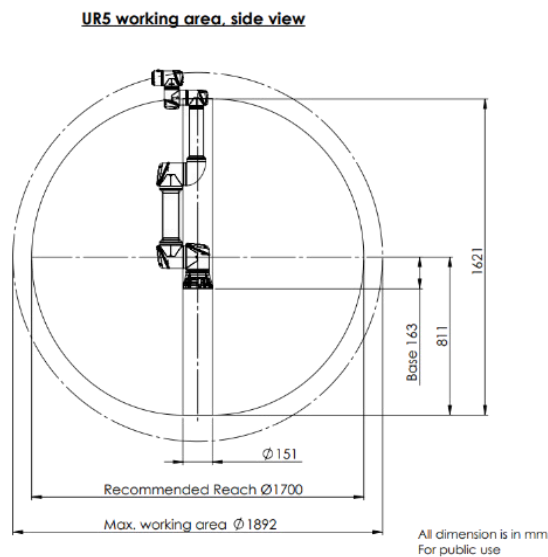
4.2 Universal Robots UR5

Kolaboratívny robot UR5 od spoločnosti Universal Robots patrí do radu kolaboratívnych robotov s označením UR (Obrázok 30). Jedná sa o stredný model robota, kedy číslo v názve označuje aj maximálne užitočné zaťaženie 5kg. UR5 je vhodný na odoberanie, ukladanie či testovanie výrobku s nízkou hmotnosťou. Často je využívaný na obsluhu CNC strojov, balenie a paletizáciu či montáž. [38]



Obrázok 30 Cobot UR 5 od spoločnosti Universal Robots [38]

Rameno má 6 stupňov voľnosti a krytie IP54, čo znamená, že disponuje veľmi malými medzerami v konštrukcii (<1mm) a je chránené voči veľmi drobným časticiam. Pracovný priestor ukazuje obrázok 31 a má tvar gule. Spoločnosť sa pyšní tvrdením, že návratnosť robota UR5 v závislosti na vyťažení je v priemere 195 dní. Opakovateľná presnosť koncového efektora je $\pm 0,1\text{mm}$. V konštrukcii robota sú implementované citlivé senzory na tlak, preto je schopný spolupracovať s človekom. [38]



Obrázok 31 Pracovný priestor robota UR5 [38]

Gripper

Paleta gripperov u kolaboratívneho robota UR5 je širšia ako u ABB Yumi, z dôvodu toho, že grippery nevyrába len Universal Robots, ale aj iní výrobcovia. Názorným príkladom výrobcu je spoločnosť PIAB AB (Obrázok 32). Jedná sa o vákuový gripper s dvoma prísavkami nazvaný Picobot. Je vhodný k baleniu či paletizácii. Výhodou je jeho kompatibilita so všetkými modelmi UR a jeho maximálne užitočné zaťaženie je 7kg. [39]



Obrázok 32 Gripper spoločnosti PIAB AB [39]

Druhým príkladom výrobu je spoločnosť Weis Robotics a ich gripper Gripskit-CR (Obrázok 33). Jedná sa o gripper, ktorý je univerzálny k väčšine prác, či ide o paletizáciu, balenie alebo montáž. Tento gripper tiež disponuje kompatibilitou s ostatnými UR okrem UR10. Pohon čelústí zabezpečujú servo-elektrické pohony a čeluste dokážu vyvinúť maximálnu silu až 30N. [40]



Obrázok 33 Gripper spoločnosti Weiss Robotisc [40]

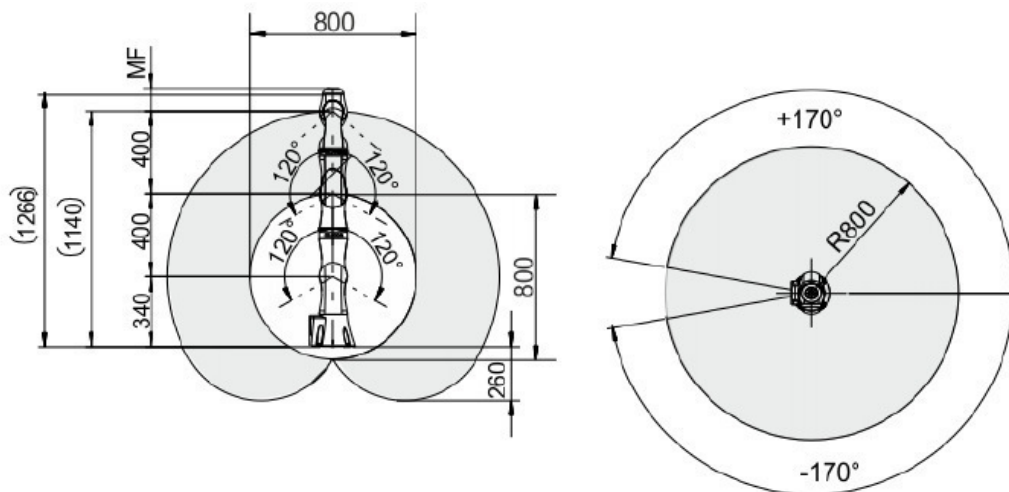
4.3 KUKA LBR IIWA 7 R800

Kolaboratívny robot KUKA LBR IIWA 7 R800 je jeden z dvoch kolaboratívnych robotov série LBR IIWA od spoločnosti KUKA (Obrázok 34). Jedná sa o robota s ľahkou konštrukciou „Leichtbauroboter“ a rameno má 7 stupňov voľnosti. Skratka IIWA znamená „intelligent industrial work assistant“ a to už napovedá, že sa jedná o kolaboratívny robot. Je vybavený senzormi citlivými na tlak, ktoré sú implementované v kĺboch a tým dokáže okamžite redukovať silu a rýchlosť robota. [41]



Obrázok 34 Kolaboratívny robot KUKA IIWA 7 R800 [41]

Užitočné zaťaženie kolaboratívneho robota je v prípade R800 7 kg ako napovedá názov. Pracovný priestor je guľa (torus) o polomere 800 mm ako zobrazuje obrázok 35.



Obrázok 35 Pracovný priestor KUKA IIWA 7 R800 [41]

IIWA je vhodná k manipulácii s nástrojmi, paletizácii, baleniu, montáži, meraniu či testovaniu. Presnosť koncového efektora je $\pm 0,1\text{mm}$. Stupeň krytia konštrukcie ramena je IP54, čo znamená, že disponuje veľmi malými medzerami v konštrukcii ($<1\text{mm}$) a je chránené voči veľmi drobným časticiam. Zaujímavosťou je, že spoločnosť KUKA deklaruje o robota IIWA 7 R800 záruku 30 000 hodín, bez nutnosti servisu. [41]

Gripper

Výber gripperov na kolaboratívne roboty KUKA IIWA je ťažší ako u predchádzajúcich popísaných robotoch. Dôvodom sú minimálne informácie o gripperoch od spoločnosti KUKA, ktoré sú voľne dostupné. Zaujímavý gripper na KUKA IIWA 7 R800 je gripper od spoločnosti Active Robots. Je možné ho použiť aj na kolaboratívne roboty spoločnosti Universal Robots alebo Rethink Robots. Jedná sa o gripper na princípe špongie, ktorá prisaje vákuovo predmet. Obrázok 36 zobrazuje gripper nasadený na IIWA 7 R800. [42]



Obrázok 36 Gripper spoločnosti Active Robots pre KUKA IIWA 7 R800 [42]

Z dostupných informácií, dokáže gripper zdvihnúť predmet o maximálnej hmotnosti 10 kg, pričom, sám váži 420 g. Je vhodný k paletizácii či presunu predmetov na pás a pod. [42]

Druhý gripper je taktiež od spoločnosti Active Robots a jedná sa o mechanický gripper s čeľustami, vhodný na valcovité predmety (Obrázok 37). Gripper je pneumatický a maximálna sila čeľustí je 100 N. Gripper je podobne ako predchádzajúci model kompatibilný aj s inými kolaboratívnymi robotmi, kedy sa len mení adaptér na pripojenie. Využitie grippera je veľké, avšak najviac sa využije pri paletizácii alebo montáži s valcovitými predmetmi. [43]



Obrázok 37 Gripper spoločnosti Active Robots na valcovité predmety [43]

5 IDEOVÉ PRACOVISKO S KOLABORATÍVNYM ROBOTOM V SÚLADE S PRINCÍPOM PRIEMYSLU 4.0

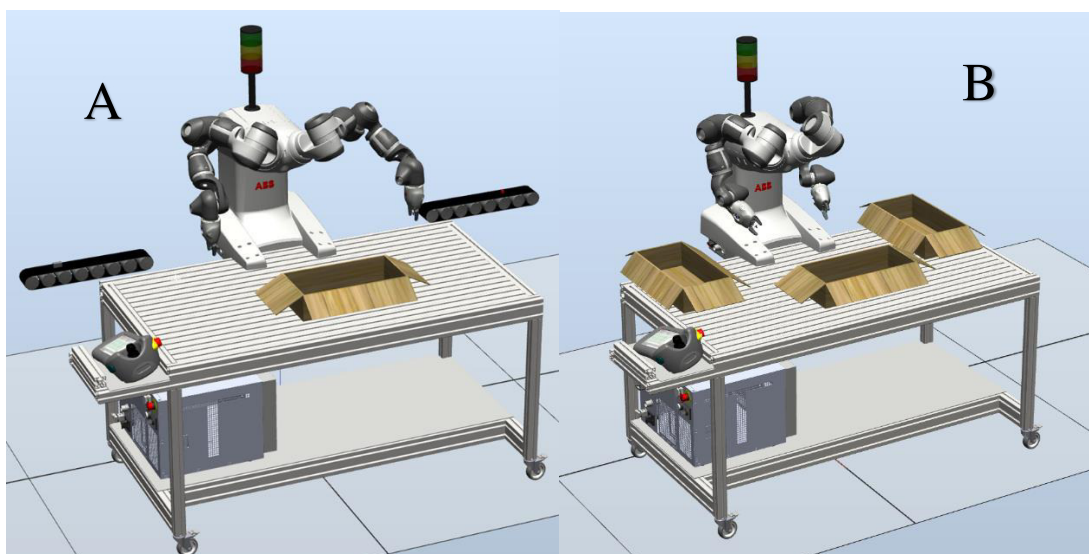
Hlavným cieľom je vytvorenie pracoviska, na ktorom bude spolupracovať operátor a kolaboratívny robot. Obsluha a kolaboratívny robot pracujú na spoločnom pracovisku (pracovný stôl) a ich pohyby sú na sebe navzájom závislé podľa stanoveného pracovného postupu. Takýto druh pracoviska zobrazuje obrázok 38. Celé toto pracovisko je založené na princípe Priemyslu 4.0.



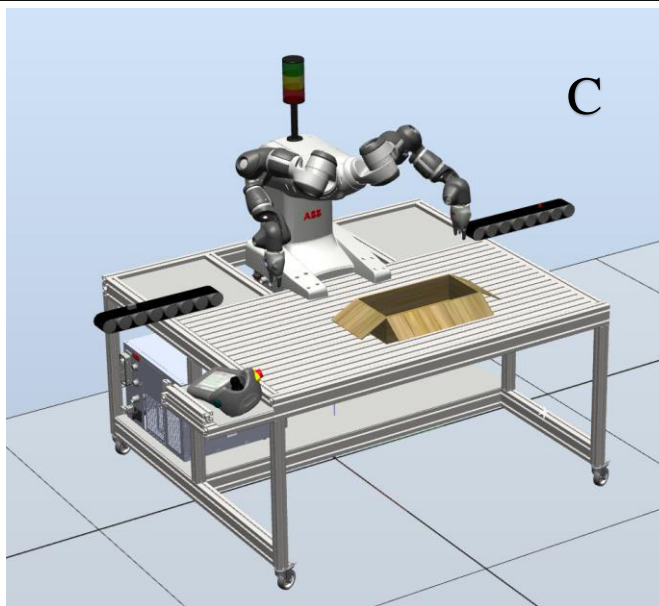
Obrázok 38 Sekvenčná spolupráca kolaboratívneho robota s operátorom [36]

5.1 Varianty pracovnej bunky

Na stavbu robotizovanej bunky boli navrhnuté tri varianty. Kedy variant A pozostáva z dvoch dopravníkov, ktoré dovážajú materiál do stredu pracovného stola. Kolaboratívny robot ABB Yumi je v strede stola a v blízkosti obsluhy sa nachádza krabica na zakladanie súčiastok. Variant B pozostáva z pracovného stola, na ktorom je umiestnený kolaboratívny robot ABB Yumi a na pracovnej doske sú použité tri krabice. Obrázok 39 zobrazuje oboje varianty.



Obrázok 39 Variant A a B robotizovanej bunky

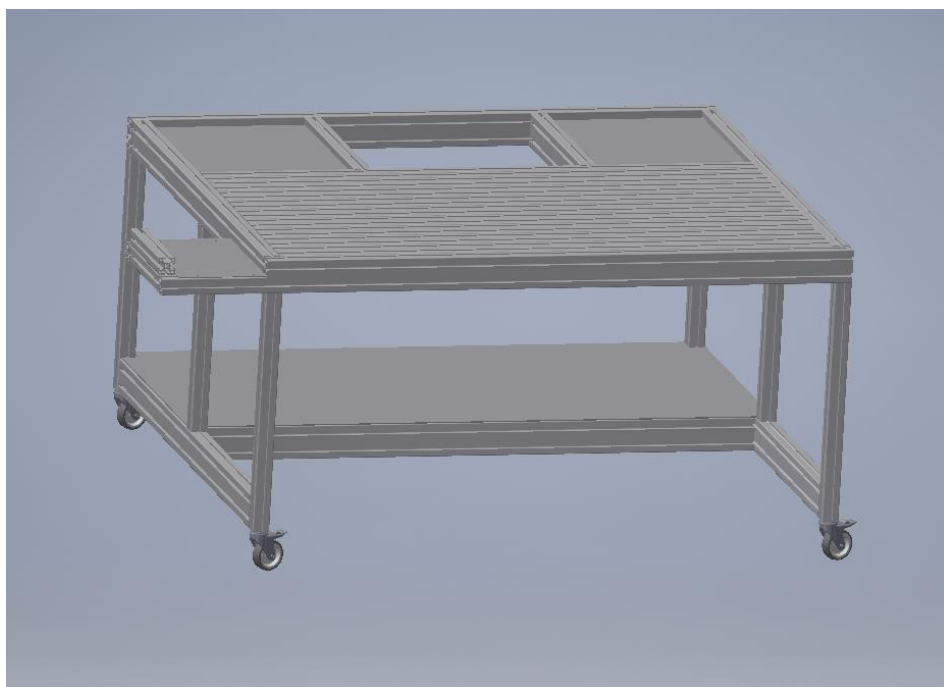


Obrázok 40 Variant C robotizovanej bunky

Tretí variant C je podobný variantu B, len rozdiel je v dĺžke pracovného stola. Variant C zobrazuje obrázok 40. Po konzultácii s vedúcimi diplomovej práce som sa rozhodol použiť variant C, z dôvodu vyššej vizualizácií kolaboratívnosti a väčšej stability stola, ktorá hrá v analýze rizík veľkú rolu.

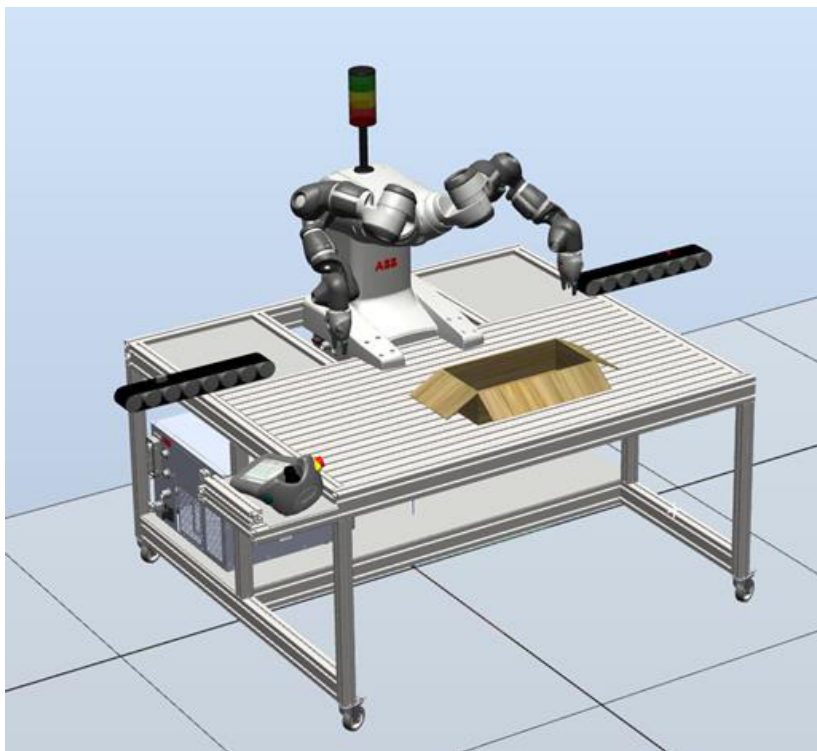
5.2 Popis robotizovanej bunky

Robotizovaná bunka sa skladá z pracovného stola, ktorý je zostavený z hliníkových profilov (Obrázok 41). Rozmery stola sú 1400x1250 mm (v strede priestor na robot) pri výške 750 mm. Celý stôl disponuje kolieskami s brzdou.



Obrázok 41 Mobilný pracovný stôl

Na pracovnom stole je uchytený kolaboratívny robot ABB Yumi a v spodnej časti je uchytený kontroler ABB IRC5 Kompakt. Pre vizuálnu kontrolu činnosti kolaboratívneho robota je na vrchnej časti robota priskrutkovaný signalizačný maják. Z oboch strán pracovného stola sú privedené dopravníky na súčiastky. Celú túto zostavu pracovnej mobilnej bunky zobrazuje obrázok 42.

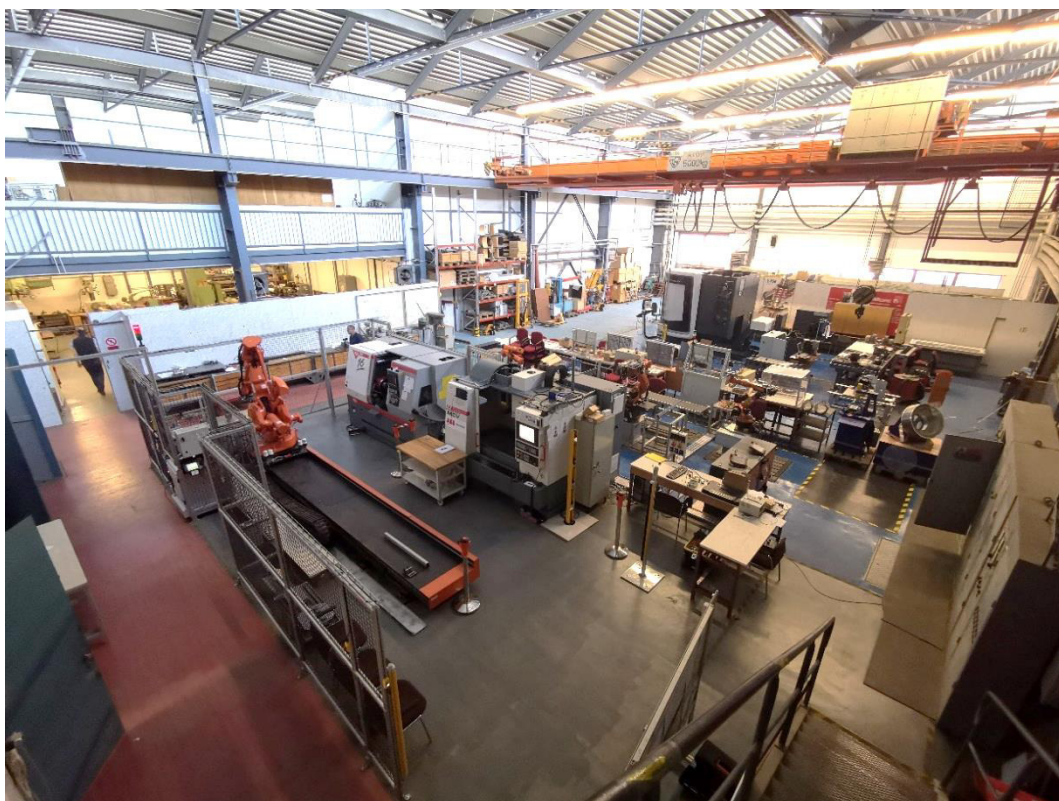


Obrázok 42 Mobilná pracovná bunka

Súčiastky, ktoré sú privedené dopravníkmi majú na povrchu QR kódy a implementované RFID čipy. V hale VUT FSI by mal byť nainštalovaný RFID vysielač, ktorý slúži k zapisovaniu informácií na implementované RFID čipy. Kolaboratívny robot ABB Yumi disponuje gripperom s mechanickými kliešťami a kamerou, ktorá slúži k čítaniu QR kódov na povrchu súčiastok. Všetky informácie robota z kamery, snímačov robota sú posielané pomocou wifi siete na externý Cloud. Cloud zabezpečuje externá služba Amazon EC2. Tieto dáta sú v dispozícii kedykoľvek a z akéhokoľvek miesta na zemi a slúžia ku kontrole pracoviska, plánovaniu výroby, k daným štatistikám pracovnej bunky alebo k práci s digitálnym dvojčaťom. Privádzaná energia do pracovnej bunky je meraná a tieto dáta sa posielajú do veľkej skupiny dát (Big data) na Cloud.

Popis pracoviska

Priestor, kde je použitá mobilná pracovná bunka s robotom je hala VUT FSI blok C1 (Obrázok 43). Mobilné pracovisko môže byť napríklad v pozícii ako ukazuje obrázok 44.



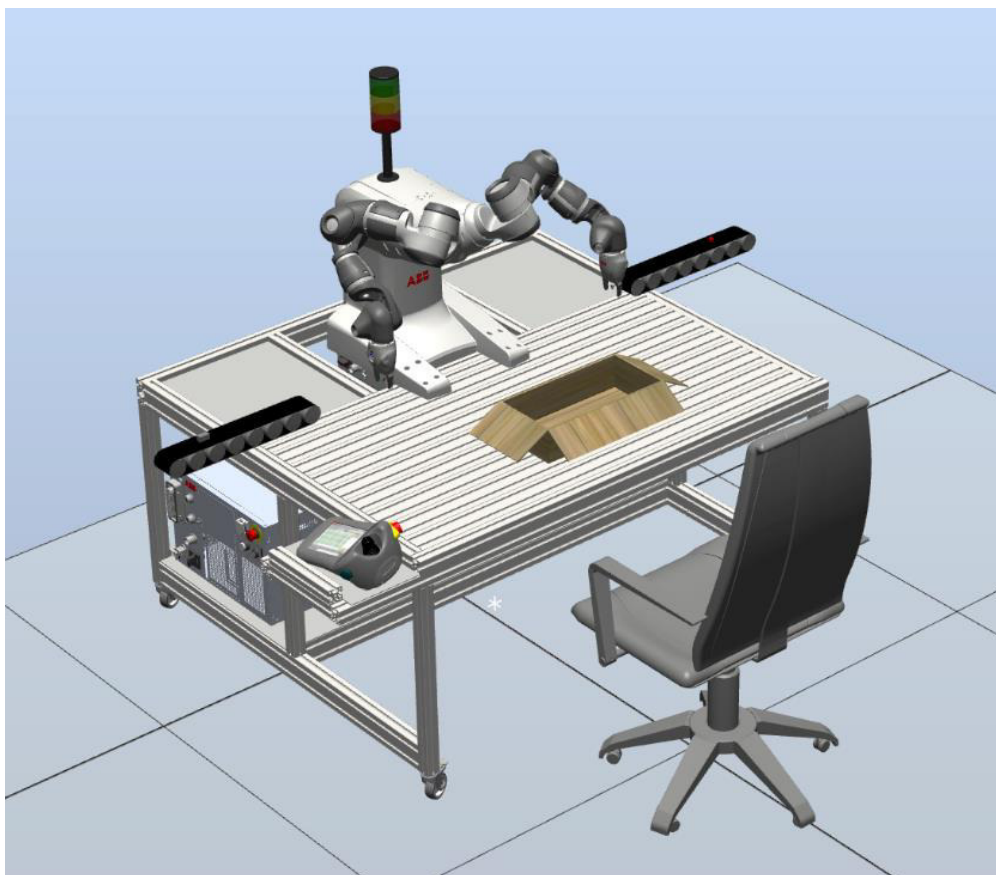
Obrázok 43 Pohľad na halu VUT FSI



Obrázok 44 Zobrazenie pracovnej bunky v priestoroch haly (software Vuforia)

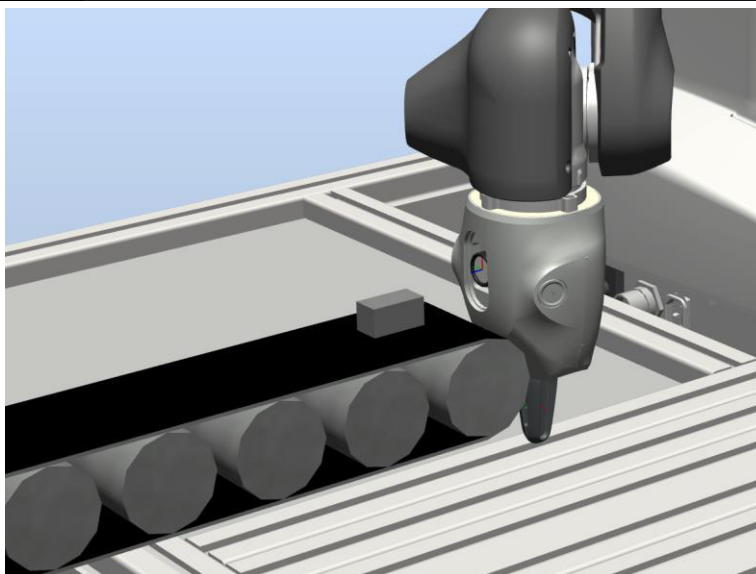
5.3 Popis vzorovej úlohy pre účely výuky

Vzorová úloha, ktorá má slúžiť pre účely školskej výuky je zostavená z mobilnej robotizovanej bunky a potrebných dvoch externých dopravníkov. Hlavnými dvoma členmi tejto pracovnej bunky sú kolaboratívny robot ABB Yumi a operátor (v školských podmienkach študent). Obrázok 45 zobrazuje mobilnú pracovnú bunku so stoličkou pre operátora, ktorý by mal sedieť. Stolička je kancelárska, s kolieskami a nastaviteľnou výškou sedáku a bedrovej časti. Priestor pre nohy má dĺžku 600 mm, kedy podľa nariadenia vlády Českej republiky č. 246/2018 Sb. je nutných minimálne 500 mm.



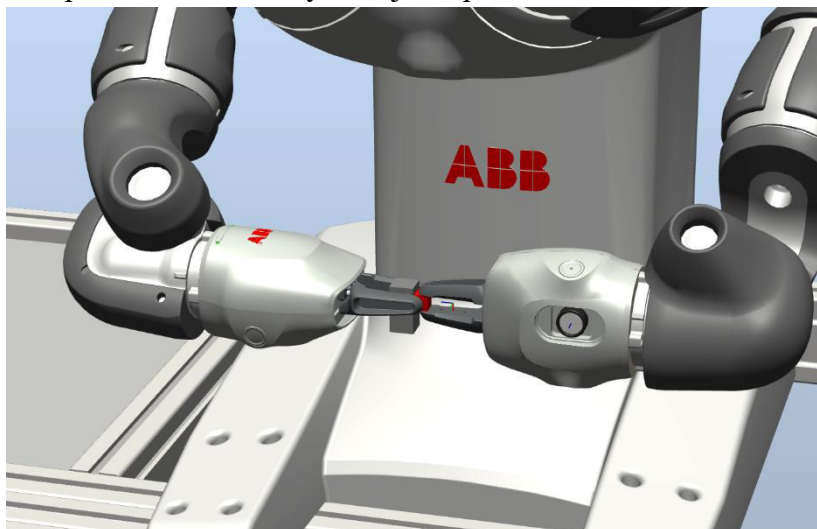
Obrázok 45 Mobilná pracovná bunka s operátorom

Súčiastkami, ktoré sú montované pomocou kolaboratívneho robota sú zobrazené zjednodušene. Na obidvoch dopravníkoch je na konci trasy súčiastky optický senzor, ktorý identifikuje polohu súčiastky. V okamžiku ako súčiastka pretnie optický senzor, kolaboratívny robot pomocou kamery v gripperu nasníma QR kód na ploche súčiastky (Obrázok 46). Informácia z QR kódu o tom, že je súčiastka na danom pracovisku, je poslaná na Cloud a hneď na to RFID vysielateľ pošle signál do RFID čipu v súčiastke. Tieto informácie v RFID čipe sú dôležité z toho hľadiska, že v okamžiku spojenia týchto dvoch súčiastok sa nalepuje na plochu s QR kódom nálepka a už by nebolo možné dohľadanie informácií o danom produkte. RFID čipy budú nielen celý čas v sebe informácie o daných súčiastkach, akými stanoviskami prešli, čo sa na nich urobilo a podobne. Robot sníma QR kód pomocou Vision Systému, ktorý je súčasťou Robotstudia, ale nie školskej verzie.



Obrázok 46 Snímanie QR kódu zo súčiastky

Ďalším krokom montáže je spojenie dvoch súčiastok do celku, ako zobrazuje obrázok 47. Tieto súčiastky sú pevne mechanicky spojené. Robot po spojení týchto dvoch súčiastok pokračuje v pohybe vpred, kde operátor nalepí na predom špecifikovanú plochu súčiastky nálepku. Ako posledný krok založí kolaboratívny robot súčiastku do krabice. Tento popísaný pracovný postup robota a operátora sa stále v cykle opakuje. V okamžiku, kedy je krabica plná súčiastok, zoberie operátor krabicu a vymení ju za prázdnu.



Obrázok 47 Spojenie dvoch súčiastok v jednu

Názornú ukážku danej vzorovej úlohy zobrazuje video v prílohe 1. Počas obhajoby diplomovej práce bude vzorová úloha ukázaná vo virtuálnej realite, pre ešte lepšie zobrazenie úlohy.

Tvorba programu

Tvorba programu prebieha v Robotstudio a na začiatku je nahraný CAD model pracovného stola, stoličky a dvoch dopravníkov. Pracovný stôl a dopravníky boli vytvorené v Autodesk Inventor a stolička bola stiahnutá z prístupných zdrojov ABB. Formát CAD modelov bol .sat.

V prvom kroku prípravy programu sa importujú CAD modely a umiestnia sa v priestore. Potom sa importuje z rozhrania programu robot Yumi a taktiež sa umiestni do súradnicového systému. Pomocou integrovaného jednoduchej CAD nadstavbe sa v Robotstudio vytvoria dve kocky (súčiastky), ktoré sa následne spájajú.

Tvorba programu prebieha pomocou Target bodov v priestore. Target bod predstavuje bod v priestore, do ktorého sa dostáva nami definovaná časť robota. Keďže Yumi disponuje 7 DOF je nutné si dávať pozor na orientáciu každej osi ramena. Na toto slúži Auto Configuration, ktorý navrhne niekoľko riešení nastavenia orientácie osí robota. Pre možnosť používania efektoru robota je nutné vytvoriť z efektorov smart komponenty. Tieto smart komponenty majú v našom prípade integrované linear senzory na detekciu súčiastky. Na to, aby Smart komponenty fungovali, musia mať definované signály vstupov a výstupov, vďaka ktorým dokážu fungovať ako ich nastavíme. Z Targetov sa vytvorí trajektória, kadiaľ sa bude pohybovať rameno robota. Táto trajektória má nastavenú rýchlosť a interpoláciu medzi bodmi. V okamžiku, kedy je vytvorená celková trajektória, vytvorené body, v ktorých prebieha činnosť Smart komponentov sa pomocou príkazu Synchronize nahrávajú všetky dáta do RAPIDU, kde sa prevedú do jazyka robota. Následne na to, je možné spustiť simuláciu. Takáto simulácia bude prezentovaná na obhajobe ako video alebo VR.

6 ANALÝZA RIZÍK PROJEKTU ROBOTIZOVANÉHO PRACOVISKA

Robotizované pracoviště jako celek musí splňat bezpečnostní normu ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2. Vzhledem na to, že na pracovišti by měla pracovat obsluha (operátor, student) spadá toto robotizované pracoviště aj pod nariadenie vlády Českej republiky č. 361/2007 Sb., ktorá stanovuje podmienky ochrany zdravia pri práci. Podrobná analýza rizík na robotizovanom pracovišti je v prílohe 2.

6.1 Kybernetická bezpečnosť

S nástupom Priemyslu 4.0 vznikajú nové bezpečnostné riziká, ale aj nové výzvy. Mnoho automatických systémov je spoločne závislých na sebe ako napríklad elektronický platobný styk alebo diaľkové ovládanie prvkov kritickej infraštruktúry dopravných systémov. V okamžiku akejkolvek poruchy vznikajú problémy, ktoré môžu priniesť spoločenskú nestabilitu. [44, 45, 46]

Čím je systém zložitejší, tým môže viac ublížiť aj nedostatočná znalosť princípov jeho fungovania. Bezpečnosť a spoľahlivosť systému Priemyslu 4.0 musí byť chápaná komplexne a systémovo, čo znamená, že je chápaná od dátovej a komunikačnej bezpečnosti na najnižšej úrovni, cez infraštruktúru spoľahlivosti a bezpečnosť až po celkovú globálnu systémovú bezpečnosť na úrovni podniku. [44, 45, 46]

Kybernetické hrozby sú zamerané predovšetkým v Priemysle 4.0 na priemyselný riadiaci systém, ako sú distribuované riadiace systémy, programovateľné logické automaty (PLC, PAC) a ich siete, systém zberu, regulácia a dohľad dát, systém a rozhranie človek-stroj. Tieto všetky nebezpečenstvá vznikajú zanedbaním bezpečnostných medzier vychádzajúcich z zlého návrhu architektúry, zanedbanej starostlivosti o počítačovú bezpečnosť alebo zastaranosťou komponent v systéme. Štandardy kybernetickej bezpečnosti, podľa ktorej by sa mali riadiť podniky aby odolali útokom je norma ISO 27001 alebo IEC-62443. V okamžiku porozumenia rizikám, môžu implementovať správne a konkrétne bezpečnostné prvky v rovine softwaru alebo hardwaru. [44, 45, 46]

Akýkoľvek útok na systém môže mať veľké dopady na bezpečnosť, ako napríklad [44, 45, 46]:

- Nedostupnosť systému
- Strata riaditeľnosti systému
- Dátové manipulácie a straty
- Výkonové straty
- Poruchy systému s následkami na zdraví
- Poruchy systému s následkami na životnom prostredí
- Ekonomické straty (strata Know-how, strata konkurencieschopnosti, krach)

Medzi hlavné piliere bezpečnosti proti útokom na systém patria [44, 45, 46]:

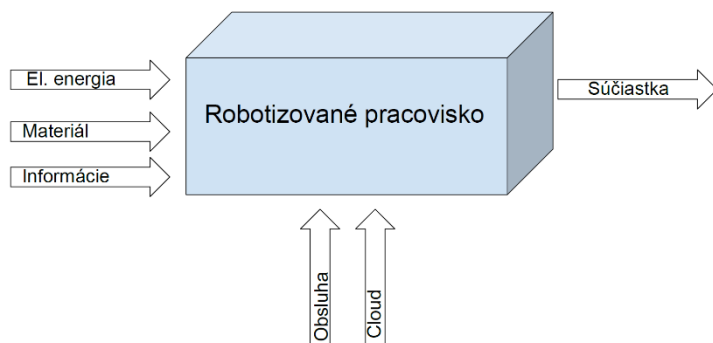
- Fyzická bezpečnosť (napríklad proti neautorizovanému prístupu a manipulácii s podnikovou infraštruktúrou)
- Sieťová bezpečnosť (inteligentné oddelovanie sietí pomocou firewallov a ich vlastných obranám proti hrozbám)

- Systémová integrita (v zmysle ochrany proti zmenám softwaru dôležitým pre prevádzku ako napríklad kvôli vírom, neautorizovanému prístupu)

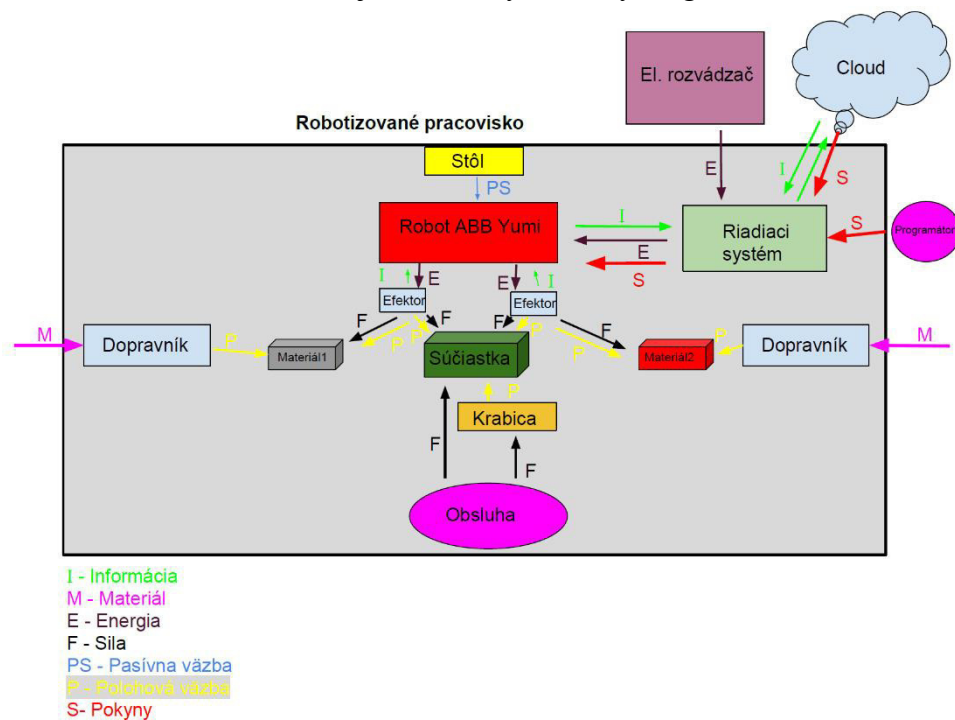
6.2 Analýza robotizovanej bunky

Analýza robotizovanej bunky spočíva vo vytvorení blokového diagramu, v ktorom budú jasne rozlíšené prvky robotizovanej bunky a interakcie medzi nimi. Obrázok 48 a 49 zobrazujú blokový diagram robotizovanej bunky. Na základe tohto diagramu sa stanoví identifikácia relevantných nebezpečí. Robotizovaná bunka spadá pod normy ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2. Z hľadiska 8 hodinovej smeny prebiehajúcej v robotizovanej bunke musí pracovisko spĺňať nariadenie vlády Českej republiky č. 246/2018 Sb. [N01, N02]

6.2.1 Blokový diagram



Obrázok 48 Zjednodušený blokový diagram



Obrázok 49 Blokový diagram robotizovanej bunky

6.2.2 Identifikácia relevantných nebezpečí

Z blokového diagramu a podľa normy ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2 a nariadenia vlády Českej republiky č.246/2018 Sb. sú definované všetky relevantné nebezpečia spojenie s robotizovanou bunkou (tab. 2). [N01, N02]

Tabuľka 2 Identifikácia relevantných nebezpečí

Názov komponentu systému	Poloha komponentu v systéme	Typ nebezpečia podľa normy ČSN EN ISO 10218-1 a 10218-2
Robot	Pracovný priestor	mechanické nebezpečenstvo (1.1-1, 1.4-1, 1.5-1, 1.5-3), elektrické nebezpečenstvo (2.3-1), nebezpečenstvo vibrácií (3.1-1), ergonomické nebezpečenstvo (4.2-2)
Efektor	Pracovný priestor	mechanické nebezpečie (1.1-2, 1.1-3 1.2-1, 1.2-2, 1.3-1, 1.3-3, 1.3-4, 1.4-1, 1.4-2, 1.5-2, 1.5-3, 1.7-1), ergonomické nebezpečenstvo (4.2-2)
Dopravník	Pracovný priestor	mechanická nebezpečenstvo (1.1-3, 1.3-2, 1.5-1, 1.6-1)
Manipulovateľný materiál	Pracovný priestor	mechanické nebezpečenstvo (1.1-3, 1.3-4, 1.4-1, 1.4-2), ergonomické nebezpečenstvo (4.2-2, 4.3-1)
Súčiastka	Pracovný priestor	mechanické nebezpečenstvo (1.1-3, 1.3-4, 1.4-1, 1.4-2), ergonomické nebezpečenstvo (4.2-2)
Pracovný stôl	Pracovný priestor	mechanické nebezpečenstvo (1.1-3, 1.3-5, 1.8-1), elektrické nebezpečenstvo (2.1-1), nebezpečenstvo vibrácií(3.1-2), ergonomické nebezpečenstvo (4.1-1, 4.2-2, 4.3-1)
Riadiaci systém	Pracovný priestor	elektrické nebezpečenstvo(2,3-1), kybernetické nebezpečenstvo (5.1-1, 5.2-1)
Cloud	Okolie stroja	kybernetické nebezpečenstvo (5.1-1, 5.2-1)
El. Rozvádzač	Okolie stroja	elektrické nebezpečenstvo (2.1-1, 2.1.-2, 2.2-1)

Krabica	Pracovný priestor	ergonomické nebezpečenstvo (4.2-3, 4.3-2)
---------	-------------------	--

6.2.3 Analýza významných nebezpečí

Analýza významných nebezpečí je stanovená podľa normy ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2 a nariadenia vlády Českej republiky č.246/2018 Sb. V jednoduchosti sa jedná o rozšírenie relevantných nebezpečí, ktoré zobrazuje tabuľka 3. [N01, N02]

Tabuľka 3 Analýza významných nebezpečí

Analýza významných nebezpečí				
V priebehu prevádzky, opravy				Pracovná bunka
Poradové číslo	Fáza životného cyklu	Typ nebezpečia (Podľa ČSN EN ISO 10218-1, 10218-2)		
		Stručný popis	Id. číslo	Popis nebezpečnej udalosti:
1	Prevádzka			
1.1	Robot	Stlačenie, vymrštenie, narazenie, skrat, nebezpečie únavy, vibrácie	1.1-1 1.4-1 1.5-1 1.5-3 2.3-1 3.1-1 4.2-2	Pri pohybe ramien môže prísť k stlačeniu medzi akýmkoľvek pevným objektom (pracovný stôl, dopravník, základňa stroja). Hrozí nebezpečenstvo narazenia pri neočakávanom pohybe robotického ramena . Z dôvodu zlého uchytenia robota o pracovný stôl môžu vznikáť vibrácie.
1.2	Manipulovateľný materiál	stlačenie, odrenie, vymrštenie, nebezpečenstvo únavy	1.1-3 1.3-4 1.4-1 1.4-2 4.2-2	Pri manipulácií s materiálom môže dôjsť k vymršteniu materiálu.

1.3	Koncový efektor	stlačenie, porezanie, odrenie, vymrštenie, narazenie, strih, nebezpečenstvo únavy	1.1-2 1.1.-3 1.2-1 1.2-2 1.3-1 1.3-3 1.3-4 1.4-1 1.4-2 1.5-2 1.5-3 1.7-1 4.2-2	nebezpečenstvo stlačenie, porezanie, odrenia, vymrštenia, narazenia a strihu vzniká pri koncových efektoroch robota. Pri nesprávnej pracovnej kolaborácii s robotom môže vzniknúť únava obsluhy.
1.4	Cloud	Následky na zdraví, ekonomické nebezpečie	5.1-1 5.2-1	Pri hackerskom útoku na riadiaci systém môže nastať nedostupnosť systému alebo strata dát (Know- how). Taktiež môže nastať zmena nastavení bunky a z toho vzniknúť nebezpečie na zdraví. Všetky tieto nebezpečia sú úzko spojené s ekonomickými stratami spoločnosti.
2	Vyhľadávanie porúch a ich odstránenie			
2.1	Oprava	Odrenie, zasiahnutia	1.3-5 2.1-2	Pri oprave pracovného stola sa môže obsluha odrieť o ostrý roh stola alebo môže nastať zasiahnutie el. prúdom z dôvodu živej časti stola v dôsledku el. poruchy

6.2.4 Prehľad identifikovaných závažných nebezpečí

Prehľad slúži k definovaniu nebezpečí v robotizovanej bunke ako napr. mechanické, elektrické, ergonomické alebo kybernetická nebezpečie. Všetky tieto nebezpečia sú kategorizované podľa jednotlivého druhu nebezpečia. Tabuľka 4 zobrazuje daný prehľad.

Tabuľka 4 Prehľad identifikovaných závažných nebezpečí

Prehľad identifikovaných závažných nebezpečí	
1	Mechanické nebezpečie
1.1	Nebezpečenstvo stlačením
1.1-1	Nebezpečenstvo stlačenia pri pohybe časti ramena
1.1-2	Nebezpečenstvo stlačenia pri pohybe koncového efektora

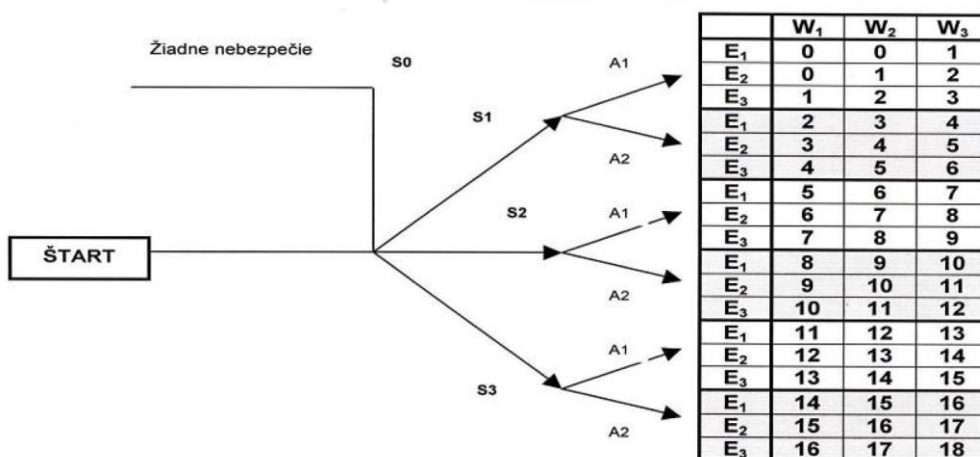
1.1-3	Nebezpečenstvo stlačenia medzi koncovým efektorom a akýmkoľvek pevným objektom (pracovný stôl, základňa robota, dopravník)
1.2	Nebezpečenstvo porezania
1.2-1	Nebezpečenstvo porezania pri pohybe alebo rotácii ostrého nástroja na koncovom efektore
1.2-2	Nebezpečenstvo porezania pri nechcenom pohybe koncového efektora
1.3	Nebezpečenstvo odrenia
1.3-1	Nebezpečenstvo odrenia pri nechcenom pohybe alebo aktivácii koncového efektora
1.3-2	Nebezpečenstvo odrenia pri nechcenom pohybe dopravníka
1.3-3	Nebezpečenstvo odrenia pri nechcenom uvoľnení nástroja
1.3-4	Nebezpečenstvo odrenia pri nechcenom uvoľnení manipulovaného predmetu
1.3-5	Nebezpečenstvo odrenia o pracovný stôl
1.4	Nebezpečenstvo vymrštenia
1.4-1	Nebezpečenstvo vymrštenia pri prekročení maximálnej rýchlosti efektora materiálu alebo výrobku
1.4-2	Nebezpečenstvo vymrštenia pri manipulácii s výrobkami a materiálmi
1.5	Nebezpečenstvo narazenia
1.5-1	Nebezpečenstvo narazenia pri nechcenom pohybe robota alebo časti dopravníka pri manipulačných operáciách
1.5-2	Nebezpečenstvo narazenia pri polohovaní a orientácii nástroja koncového efektora
1.5-3	Nebezpečenstvo narazenia pri chybe programu
1.6	Nebezpečenstvo navinutia
1.6-1	Nebezpečenstvo navinutia voľného odevu alebo vlasov o časť dopravníka
1.7	Nebezpečenstvo strihu
1.7-1	Nebezpečenstvo strihu dvoch efektorov ramien robota
1.8	Nebezpečenstvo straty stability pracovného stola
1.8-1	Nebezpečenstvo straty stability pracovného stola pri manipulácii so stolom
2	Elektrické nebezpečenstvo
2.1	Nebezpečenstvo smrti elektrickým prúdom
2.1-1	Nebezpečenstvo smrti pri kontakte so živými časťami alebo spojmi
2.1-2	Nebezpečenstvo smrti elektrickým prúdom pri dotyku s objektami, ktoré sa stali živými v dôsledku poruchy
2.2	Nebezpečenstvo skratu
2.2-1	Nebezpečenstvo skratu pri použití nevhodných káblov
3	Nebezpečenstvo vibrácií
3.1	Nebezpečenstvo vibrácií robota
3.1-1	Nebezpečenstvo vibrácií robota pri neprávnom pripevnení k pracovnému stolu

3.1-2	Nebezpečnost vibrací pracovního stola
4	Ergonomická nebezpečnost
4.1	Nebezpečnost lidské chyby
4.1-1	Nebezpečnost lidské chyby při nevhodném umístění ovládače
4.1-2	Nebezpečnost lidské chyby slabým osvětlením robotizované bunky
4.2	Nebezpečnost únavy
4.2-1	Nebezpečnost únavy způsobené slabým osvětlením v robotizované bunce
4.2-2	Nebezpečnost únavy způsobené nesprávnou ergonomií při kolaborácii s robotom
4.2-3	Nebezpečnost únavy způsobené častým přemísťováním těžkého břemena (krabice)
4.3	Nebezpečnost svalového kostrového poškození
4.3-1	Nebezpečnost svalového kostrového poškození vlivem zlé ergonomie při kolaborácii s robotom
4.3-2	Nebezpečnost únavy způsobené přemísťováním břemena (krabice)
5	Kybernetické nebezpečí
5.1	Nebezpečí poruchy systému s následky na zdraví
5.1-1	Nebezpečí poruchy systému s následky na zdraví kvůli útoku na systém
5.2	Ekonomické nebezpečí
5.2-1	Ekonomické nebezpečí pro firmu

Po analýze robotizované bunky bylo zistených 32 významných nebezpečí. Z toho 31 nebezpečí na zdraví obsluhy a 1 nebezpečí zneužitia informácií.

6.2.5 Odhad rizik

Pre zistenie veľkosti rizika, je potrebné urobiť odhad, ktorý je súčasťou procesu analýzy rizík. Celkový odhad rizika sa robí pomocou formulára na odhad rizík. Následné hodnotenie rizík sa robí pomocou grafu v obrázku 50, kde sa ako prvé určí závažnosť úrazu, potom doba vystavenia tomuto riziku, následne možnosti vyvarovania sa riziku a ako posledné pravdepodobnosť výskytu takéhoto nebezpečia. Tieto riziká sú spojené s bezpečnosťou obsluhy. Vo formulári sa ako prvé uvedie počiatočné riziko a následne na to sa aplikujú opatrenia, ktoré toto riziko znižujú. Po každom opatrení sa prepočítava odhad rizika a na konci týchto opatrení zostáva výsledná hodnota rizika, ktorú tiež nazývame zostatkové riziko.



Obrázok 50 Graf pre odhad rizík [47]

Závažnosť ujmy na zdraví „S“:

- žiadne nebezpečenstvo (S0)
- ľahké poškodenie s prechodnými následkami (S1)
- ťažké zranenie s trvalými následkami (S2)
- smrť (S3)

Početnosť a doba trvania ohrozenia (doba pobytu v oblasti nebezpečenstva) „A“:

- zriedka až častejšie (A1)
- často až trvale (A2)

Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu „E“:

- možné (E1)
- možné za určitých okolností (E2)
- sotva možné (E3)

Pravdepodobnosť výskytu nebezpečnej udalosti „W“:

- malá či nepravdepodobná (W1)
- stredná (W2)
- veľká (W3)

Riziká je potrebné usporiadať podľa veľkosti kedy 0 až 4 sú akceptovateľné riziká, 5 až 6 akceptovateľné riziká po preverení a 7 až 18 sú neakceptovateľné riziká.

U kybernetického nebezpečenstva nastáva ekonomické nebezpečenstvo, kedy som musel pozmeniť vážnosť škody.

Závažnosť škody (exekúcia) „S“:

- žiadne nebezpečenstvo (S0)
- malá finančná strata (S1)
- veľká finančná strata (S2)
- krach (S3)

Tabuľka 5 zobrazuje príklad formuláru pre mechanické nebezpečenstvo, kedy môže dôjsť k stlačeniu. Takýto formulár sa musí použiť pre každé významné nebezpečenstvo. Všetky formuláre na relevantné nebezpečia sú v prílohe 2 ako aj celková analýza robotizovanej bunky.

Tabuľka 5 Príklad formuláru pre mechanické nebezpečenstvo č. 3

VUT, FSI ÚVSSR	Formulár pre odhad rizika	Robotizovaná bunka		
	Spracoval: Gabriel Kuba	Dátum: 13.4.2019		
Číslo nebezpečia	Identifikačné číslo	Označenie nebezpečia podľa ČSN EN ISO 10218-1 a 10218-2		
		1. Mechanické nebezpečie		
1.1-3	3	Nebezpečie stlačením		
Životná etapa bunky:	Prevádzka	Nebezpečný priestor: Pracovný priestor		
Ohrozené osoby:	Obsluha	Prevádzkový stav: v prevádzke		
Popis nebezpečnej situácie/udalosti	Nebezpečenstvo stlačenia medzi koncovým efektorom a akýmkoľvek pevným objektom (pracovný stôl, základňa robota, dopravník)			
Počiatočné riziko:	Závažnosť ujmy na zdraví	S2- ťažké zranenie (trvalé následky)	Veľkosť rizika	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2- často až trvale	9	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2- možné za určitých okolností		
	Pravdepodobnosť výskytu nebezpečnej udalosti	W1- malá		
Krok 1: opatrenia zabudovanie v konštrukcii				
Popis opatrení:	Implementované senzory v časti ramena a efektora robota			
Počiatočné riziko:	Závažnosť ujmy na zdraví	S1- ľahké poranenia	Veľkosť rizika	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2- často až trvale	2	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E1- bežné		
	Pravdepodobnosť výskytu nebezpečnej udalosti	W1- malá		
Krok 2: Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia				
Popis opatrení:	Otestovanie nového programu v offline Robotstudio a potom aj v reále			
Znížené riziko po opatrení	Závažnosť ujmy na zdraví	S1- ľahké poranenia	Veľkosť rizika	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1- zriedka až častejšie	0	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E1- bežné		
	Pravdepodobnosť výskytu nebezpečnej udalosti	W1- malá		
Krok 3: Informácie pre používanie				
Popis opatrení:	Preškolenie obsluhy, že pri pohybe rúk v blízkosti robota dbať na bezpečnosť			
Znížené riziko po opatrení	Závažnosť ujmy na zdraví	S1- ľahké poranenia	Veľkosť rizika	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1- zriedka až častejšie	0	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E1- bežné		
	Pravdepodobnosť výskytu nebezpečnej udalosti	W1- malá		

7 ZÁKLADNÉ EKONOMICKÉ VYHODNOTENIE ROBOTIZOVANEJ BUNKY

Celkové ekonomické vyhodnotenie je nutné z dôvodu celkovej predstavy o nákladoch na robotizovanú bunku. Použité ceny v tabuľke 6 sú orientačné. Z vyhodnotenia vyplýva, že celková počiatočná cena na vytvorenie robotizovanej bunky je 67 154 € (1 725 000 CZK). Cena za Cloud u Amazon EC2 je veľmi orientačná skrz to, že nie sú prístupné žiadne bližšie informácie o danej službe.

Tabuľka 6 Ekonomické vyhodnotenie robotizovanej bunky

Popis	Počet kusov	Odhadovaná cena [Euro]
ABB Yumi s efektorami a spolu s IRC5 kontrolérom	1	50000
Konštrukcia stola	1	1000
Polohovateľná stolička	1	450
Dopravník s linear snímačom	2	500
RFID technológia	1	2000
RFID čipy	2	2
Krabica	1	0,5
Priemyselné osvetlenie	1	500
Robotstudio (1rok)	1	2200
Cloud Amazon EC2 (1 rok)	1	10000
		67154,5

8 ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberala návrhom riešenia robotizovanej bunky s kolaboratívnym robotom ABB Yumi. Celý tento návrh bol v súlade s princípmi Priemyslu 4.0. V úvode práce boli rozoberané základné časti Priemyslu 4.0. Táto časť bola v podobe rešerše a rozoberala kyberneticko-fyzikálny systém, Smart Factory, digitálne dvojča, RFID technológie, Big Data, Cloud computing a IoT. V druhej časti bolo popísané rozdelenie robotov a následne na to popísaná konštrukcia kolaboratívnych robotov a ich implementácia v praxi. Tretia časť bola prieskumom aktuálnej ponuky kolaboratívnych robotov na európskom trhu. Štvrtá časť sa zaoberala ideovým pracoviskom s kolaboratívnym robotom. Bol vybraný kolaboratívny robot ABB Yumi s dvomi ramenami a 7 DOF. Pracovná bunka bola vybraná z troch variant, kedy výsledná bunka mala najlepšie ťažisko stola a ukazovala najlepšie princípy Priemyslu 4.0. Následne na túto robotizovanú bunku bola navrhnutá vzorová úloha, ktorá má slúžiť na výuku.

Zobrazenie vzorovej úlohy je v prílohe vo formáte videa a na obhajobe bude zobrazená v podobe rozšírenej a virtuálnej reality. Piata časť práce sa zaoberá analýzou rizík tejto robotizovanej bunky. Po zhodnotení všetkých rizík vyšlo 32 významných nebezpečí. Na tieto nebezpečia sú v prílohe formou formulárov urobené opatrenia. Posledná časť práce zobrazuje základné ekonomické vyhodnotenie robotizovanej bunky. Približná cena za takúto robotizovanú bunku je 67 154 € (1 725 000 CZK).

9 ZUSAMMENFASSUNG

9.1 Einleitung

Die heutigen Industriegesellschaften werden gezwungen Flexibilität und Produktivität zu erhöhen. Der Grund ist die Anforderung des Kunden auf anpassenden des Produktes. Diese Gesellschaften sind ein untrennbarer Teil der Industrie 4.0. In der Industrie 4.0 ist die Gesellschaft zu dem Internet mit dem kybernetischen Aufbau verbunden.

In diesen Gesellschaften arbeiten Menschen und Roboter (kollaborativer Roboter) mit. Alle Informationen von Maschinen, Robotern, Sensoren und Kameras werden auf Cloud Lagerhaltung geschickt.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist Entwurf eines Roboterarbeitsplatzes mit einem kollaborativen Roboter im Rahmen von Industrie 4.0. Dieser Roboterarbeitsplatz wird in UVSSR-Labor sein. Auf den Roboterarbeitsplatz wird eine beispielhafte Aufgabe zur kollaborativen Arbeit von einem Mensch und einem Roboter für Ausbildung erstellt. Zusammen mit dem Entwurf wird grundlegende wirtschaftliche Bewertung der Roboterarbeitsstätte und Risikoanalyse des Roboterarbeitsplatzes gebildet.

Die Diplomarbeit wird den aktuellen Stand der Robotik und kollaborativen Robotern im Rahmen von Industrie 4.0 behandeln. Konkret bei dem Industrie 4.0 wird das kybernetische System (CPS) und sein Zusammenhang mit Smart Factory und Cloud behandelt. Bei kollaborativen Robotern wird die Konstruktion und das Angebot auf dem Markt mit kollaborativen Robotern beschrieben. Das Beispiel einer beispielhaften Aufgabe zur kollaborativen Arbeit vom Menschen und Robotern für die Ausbildung wird im Kapitel 5 und in Anlage 1 (Príloha 1) in der Videoform beschrieben. Während der Verteidigung wird eine beispielhafte Aufgabe durch virtuelle (AR) und erweiterte Realität (VR) vorgetragen.

9.2 Analyse zum aktuellen Stand der Technik und Industrie 4.0

Das Konzept der Industrie 4.0 hat in Deutschland auf dem Grund der Aufgabenstellung von der Bundesregierung entstanden. Die Bundesregierung hat im Jahr 2006 Projekt „High Tech strategy“ gestartet. Abbildung 1 zeigt die Idee der Industrie 4.0 nach der Bundesregierung beschrieben. [1, 3, 4, 6]



Abbildung 1 Konzept der Industrie 4.0 und seine Zusammenhänge [3]

Die Industrie 4.0 ist natürliche Entwicklung der Industrie, die mit der Entwicklung der Elektronik, Mechanik und IT erwartet hat. Unter den Begriff Anwendung der Industrie 4.0 kann man intelligentes Gerät verstehen, das aus gesammelten Daten Lernentscheidungen treffen und die Aufgaben am effektivsten erledigen kann. Die Idee von Industrie 4.0 ist, damit die Maschinen alle routinemäßige und monotone Arbeit erledigen und Mensch kann nur auf kreative Seite der Arbeit zu konzentriert. [1, 3, 4, 18]

Maschinen und Geräte selbst können ihren Ausfall vorhersagen. Wenn es auftritt, das genaue Problem definieren. Dies reduziert die Reparatur- und Wartungszeiten der Maschine und erhöht so die Arbeitseffizienz. Jedes Material, Halbprodukt, Bestandteil wird eigen RFID Chip besitzen.

Das Internet verbindet durch kybernetisch-physikalisches System (CPS) reale und virtuelle Welt. In Industrie 4.0 wird Kommunikation für die computergesteuerte Herstellung verwendet: Internet of Things (IoT), Big Data, Cloud computing, M2M, M2P und T2M. Dank dieser Kommunikation erreicht CPS maximale Effizienz. Mit Hilfe von IoT

kann ich mit den Maschinen kommunizieren und gleichzeitig die Produktion steuern. Alle Daten von Sensoren, Kameras, Mikrochips, historischen Daten, Produktionszeiten werden in der Cloud gesichert, von wo aus sie sofort weltweit verfügbar sind. Wir nennen diesen Daten Big Data und sind wichtig für Analyse, Produktionsdiagnose und Optimierung.

Kybernetische Systeme

Das kybernetische System (CPS) ist das wichtigste Element von Industrie 4.0. Das System ermöglicht den automatischen Informationsaustausch, die Einleitung notwendiger Aktionen als Reaktion auf die aktuellen Bedingungen und eine unabhängige Steuerung. Intelligente Objekte sind über das Internet mit dem CPS verbunden, konkrete Internet of Things (IoT) and Services (IoS). Zwischen intelligente Maschinen gehören kollaborative Roboter, Industrieroboter und Transportgeräte. CPS verbindet die reale und die virtuelle Welt, die wir als Produktionsdigitalisierung bezeichnen. Dadurch wird eine Digital Factory als Kopie der echten Smart Factory erstellt. Die digitale Version einer echten Fabrik wird als digitaler Zwilling bezeichnet. Digital Factory wird virtuelle Produktionsverfolgung, Simulation und Produktionsprozessoptimierung bereitstellen. [1, 5, 6]

Smart Factory

Smart Factory ist eine Fabrik, die dynamisch auf Marktveränderungen reagieren kann. Die Produktion ist hoch automatisiert, robotisiert und autonom. Dank Sensoren und Kameras wird die Produktion digitalisiert. Dank dieser Aufnahme ist es möglich, den realen Zustand mit den virtuellen Zuständen zu vergleichen und die Abweichungen in Echtzeit zu lösen. Die Autonomie kann Fehlfunktionen, Warnungen bei Wartungsarbeiten oder Werkzeugwechsel verhindern. [5, 6, 7, 8]

Digital Twin- Digitaler Zwilling

Der Begriff Digitaler Zwilling bezeichnet die Erstellung einer digitalen Kopie parallel zur tatsächlichen Maschine oder zum gesamten Produktionsprozess. Der digitale Zwilling besteht aus drei Hauptteilen:

- Physikalische Produkte im realen Raum
- Virtuelle Produkte im virtuellen Raum
- Anhängen von Daten und Informationen, die virtuelle und reale Produkte miteinander verbinden

RFID Technologie

RFID Radio Frequency Identification besteht aus verschiedenen Technologien, die unterschiedliche Frequenzen, Protokolle und Sprachen für die Kommunikation verwenden. Der RFID-Tag besteht aus sehr kleinen Silikonchips, die von einer schmalen Antenne angebracht werden. Die Kommunikation zwischen dem RFID-Chip und dem Lesegerät erfolgt über Funkwellen. Die Kommunikation zwischen Antenne und Chip ist schnell, sodass die Datenübertragung sofort und bidirektional erfolgt. Der Hauptvorteil von RFID-Chips ist das Massenlesen, bei dem das Lesegerät von Tags pro Minute lesen kann. Im angegebenen RFID-Chip werden Informationen über das Produkt und seine Eigenschaften, den spezifischen Status oder die Historie implementiert. In Zusammenarbeit mit CPS kann das Produkt kommunizieren, große Daten sammeln (Big Data) und die eigene Produktion online steuern. [1, 5, 12]

Big Data

Durch die Verbindung von IoT, IoS und IoP wird eine wechselseitige Kommunikation mit der riesigen Datenmenge verbunden, an der gerade gearbeitet wird. Zusammen mit Cloud Computing ermöglichen sie das Sammeln, Analysieren und Verarbeiten von Dateien. Die gesammelten Big Data von Sensoren, dem Internet, RFID-Chips und gemeinsam genutzten Festplatten werden automatisch in die Cloud gesendet, wo sie für Benutzer zugänglich sind, die Zugriff haben. Eine solche Datendatenbank dient zur Planung von Ressourcen, zur Vorwegnahme von Vertrieb, virtueller Produktion, Supply Chain Management, Projektmanagement und Wartung. Die Größe der Daten wächst exponentiell durch die Einbeziehung von Sensoren, Internet und Technologie. Deshalb ist eine Online-Archivierung erforderlich. [1, 5]

Cloud computing

Cloud Computing ist eine Möglichkeit, Software oder Hardware in Form eines Dienstes über das Internet zu verwenden. Es werden Berechnungsmittel angeboten, die aus stundenlangen Arbeiten auf CPU oder GPU oder auf gespeicherten GB angeboten werden. In der Cloud müssen alle Ressourcen visualisiert werden, d. H. Der Zugriff erfolgt über eine Webanwendung, und der Kunde hat Zugriff auf die ausgewählte Software auf Hardware. Abbildung 2 beschreibt den Informationsfluss von der physischen Produktion zur Cloud. Das Hauptziel von Cloud Computing besteht darin, die Betriebskosten Ihres Informationssystems zu senken. Das reibungslose Hochladen von Big Data in der Cloud ist die Geschwindigkeit des Internets. Cloud Computing ist in einigen Modellen verfügbar:

- SaaS-Software als Service: Die Fähigkeit des Benutzers, Softwareanwendungen über das Internet zu nutzen, ohne diese zu besitzen (zum Beispiel Google Mail, Microsoft Office 365).
- PaaS-Plattform als Service: Bietet dem Benutzer eine Computerplattform zur Unterstützung der Webanwendung über das Internet (Google Apps).
- IaaS-Infrastruktur als Service: Nutzung von Computerhardware und Systemsoftware zusammen mit Betriebs- und Kommunikationssystemen. Der Service Provider (Amazon EC2) sorgt für Installation und Wartung

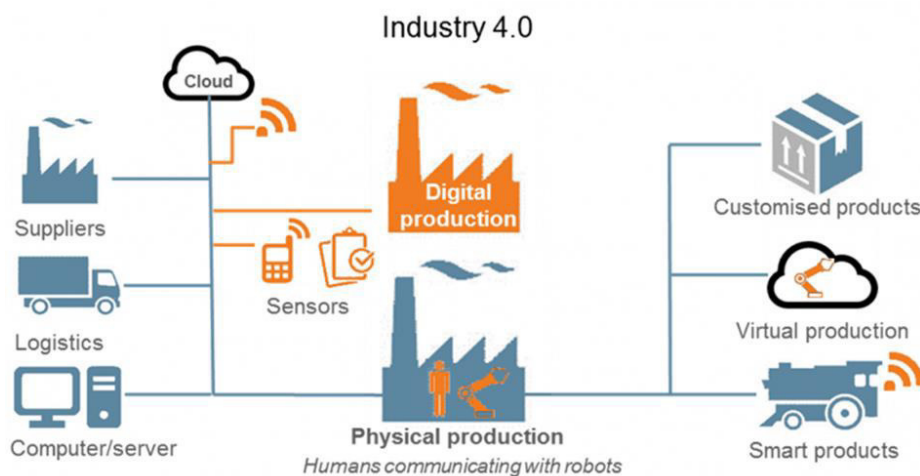


Abbildung 2 Infrastrukturindustrie 4.0 [2]

Cloud Computing bietet folgende Vorteile: Remote-Datenspeicherung, leistungsstarke Hardware, vielfältige Optionen, Kosten, Benutzerfreundlichkeit, Zuverlässigkeit und Wartung. Der Nachteil ist der mögliche Cyberangriff von Hackern. [5, 14]

Internet of Things, Services a People (IoT, IoS, IoP)

IoT

Die Hauptidee ist, intelligente Produkte, Maschinen oder Geräte mit Sensoren zu erstellen und all diese Sensoren mit dem Internet (CPS) zu verbinden. Das erste Beispiel war die Verbindung eines Autos mit dem Internet für mehr Sicherheit, ein System zur Warnung vor Unfälle (Waze, Google Maps) oder ein System, das bei einem Unfall oder Notfall eine Notfallnachricht sendet. Mit dem Internet der Dinge können Sie verbundene intelligente Objekte über vorhandene Netzwerkinfrastrukturen fernsteuern und so die reale und virtuelle Welt miteinander verbinden. Das Ergebnis ist eine erhöhte Effizienz (verkürzte Maschinenzeit, kürzere Einführungszeit für neue Maschinen), Genauigkeit oder wirtschaftliche Vorteile. [1, 5]

IoS

Die große Nachfrage nach IT-Diensten wurde durch das Aufkommen des Internet-Dienstes IoS verursacht. Diese Dienstleistungen umfassen E-Shop im Internet, Websites, Online-Schulungen oder -Kurse und bis zu Cloud Computing, das bereits beschrieben wurde. IoS ist noch nicht vollständig integriert und befindet sich noch in der Entwicklungsphase für Sicherheit oder Sicherheit. [1, 5]

IoP

Das Internet der Menschen hat die Aufgabe, Menschen zusammenzubringen, und dank Internet können sie miteinander kommunizieren und nach Informationen suchen. Der große Boom sozialer Netzwerke (Facebook, Instagram, Twitter, Whatsapp, YouTube), Internet-Shops und anderer Kommunikationskanäle schafft Big Data Big Data. Die Hauptbedingung ist Geschwindigkeit und Internetabdeckung (4G, 5G-Netzwerk, Glasfaserkabel), da dieser soziale Boom sehr schnell wächst. [1, 5]

IoT findet seine Anwendung in Industrie 4.0 in der Herstellung. Smart Factory wird drahtlos mit Industrial Internet of Things (IIoT) verbunden, dh alle Sensoren, RFID-Technologien, Maschinen und Geräte kommunizieren miteinander. Durch die Verknüpfung von IoT, IoS und IoP ist es möglich, eine Kommunikation zwischen Personen, Maschinen und Unternehmen herzustellen. Die Gesamtverbindung wird als Internet of Everything (IoE) bezeichnet und tauscht Daten und Informationen aus, analysiert Daten oder verhindert Fehler durch ein Internetprotokoll. [1, 5]

IIoT

Das industrielle Internet der Dinge hat die Aufgabe, die Produktionsabläufe zu verbessern und damit Konnektivität, Gerätemanagement, Produktionsüberwachung und Kundenbeziehungen zu verbessern (Abbildung 3). Im Vergleich zu IoT verbindet das IIoT nur Maschinen und Geräte in industriellen Bereichen. [27, 28]

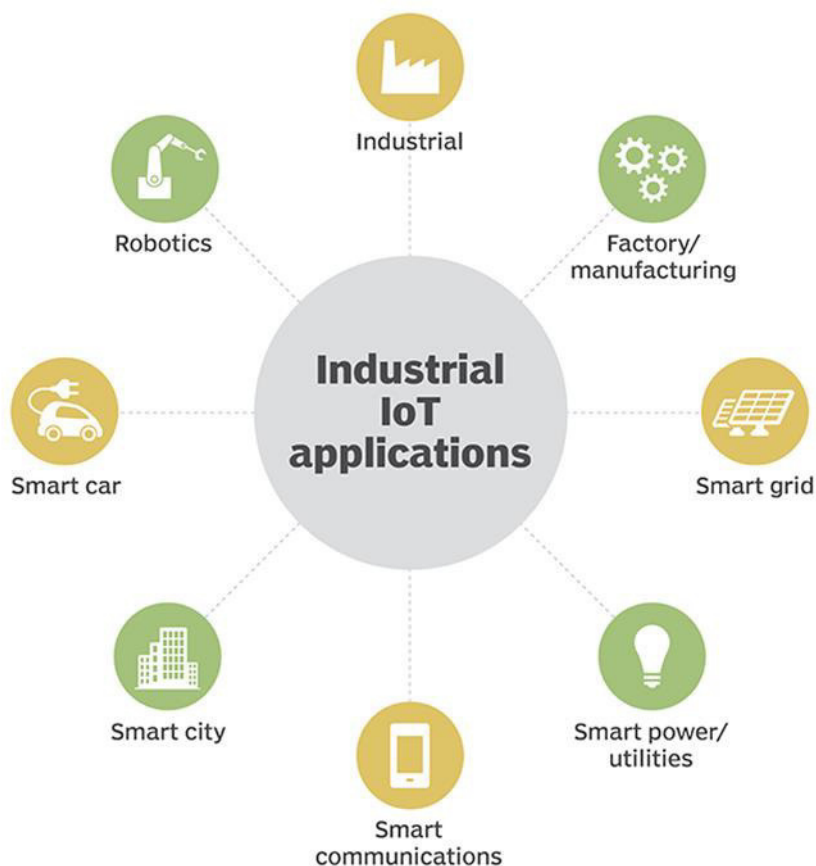


Abbildung 3 IIoT und seine Zusammenarbeit mit der Industrie [28]

Robotik und Roboter

Der Einsatz von Robotern in Industrie 4.0 findet hauptsächlich in der Massenproduktion statt und ist ein wichtiges Mittel zur Steigerung der Produktivität. Roboter sind also Teil von Smart Factory und arbeiten mit Menschen in der Produktion zusammen. Roboter nehmen dem Menschen monotone, schwere, nicht ergonomische Arbeit ab. Der Trend bei der Roboterentwicklung besteht darin, dass jeder Roboter über Sensoren und RFIF-Chips verfügt, die ständig Daten über das Internet der Dinge in die Cloud senden. Diese Daten optimieren den Arbeitsablauf und der Roboter selbst lernt aus diesen Daten. Die Roboter werden also ihre Umgebung um sich herum wahrnehmen. Diese Sensoren dienen auch als sicheres Element, um zu verhindern, dass ein Mitarbeiter neben dem Roboter verletzt wird. Ein solches Beispiel eines anfälligen Roboters ist in der Praxis bereits zu sehen. Diese Roboter werden als kollaborative Roboter bezeichnet. Die Einführung von Robotik in der Industrie hat wichtige wirtschaftliche Aspekte, wie beispielsweise erhöhte Qualität, Produktzuverlässigkeit, Produktionseffizienz, erhöhte Arbeitsproduktivität, vor allem aber eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. [1, 3, 4, 5, 6, 25]

Der gegenwärtige Stand der Robotik und Automatisierung in der Praxis ist, dass Roboter meist nur in großen Unternehmen eingesetzt werden. Große Unternehmen können von Automobilherstellern verstanden werden, die mit einer großen Serie von Produkten arbeiten, und die Investitionsrendite ist akzeptabel. Abbildung 4 zeigt die Dichte der Roboter in der Automobilindustrie und in anderen Industrien nach Ländern Ende 2016. Für kleine und mittlere Unternehmen ist der Einsatz von Robotern unwirtschaftlich, was den Preis pro Roboter und die damit verbundene Rückfluss angeht, aber nicht unmöglich ist. Die größte

Anzahl kollaborierender Roboter in Mitteleuropa ist auf die Slowakische Republik zurückzuführen, da vier Automobilhersteller vertreten sind.

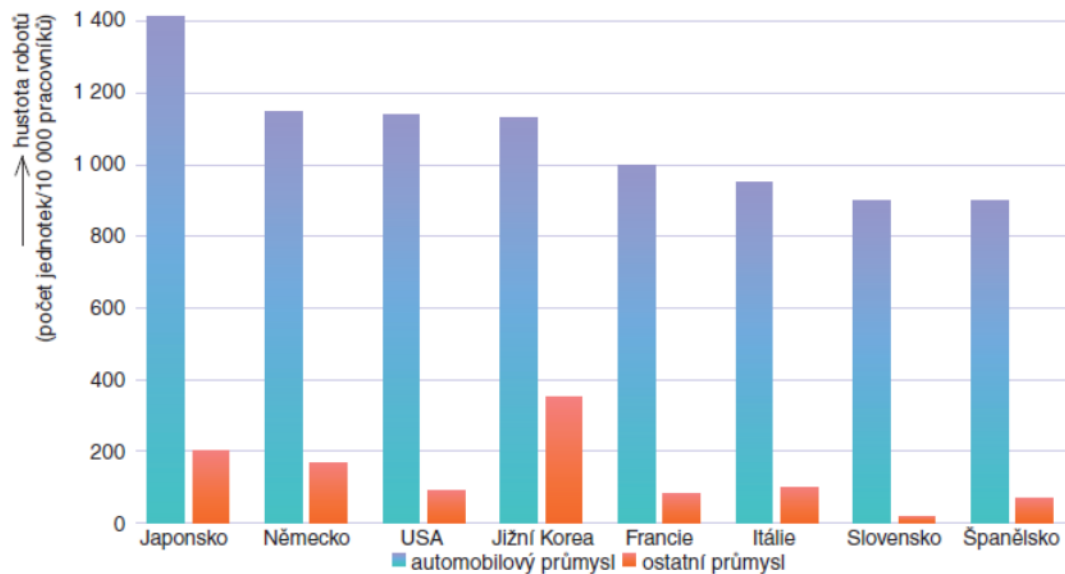


Abbildung 4 Roboterdichte in der Automobilindustrie und anderen Industrien [25]

Kollaborative Roboter

Die Idee eines kollaborativen Roboters wurde 1995 im Rahmen des Forschungsprojekts der General Motors Foundation entwickelt. Kollaborative Roboter (Koboten) stellen eine Erweiterung des Aktionsradius der Industrieroboter dar. Dies bedeutet, dass im Vergleich zu einem Industrieroboter kein Käfig erforderlich ist. Das Arbeiten ohne Käfig ermöglicht die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Koboten ohne Verletzungsgefahr. Eine solche Zusammenarbeit bietet größere Flexibilität als der Industrieroboter. Der kollaborative Roboter benötigt viel weniger Platz als der Industrieroboter im Raum, aber der kollaborative Roboter erreicht nicht eine solche Tragfähigkeit wie der industrielle Roboter. Alle Industrie- und Kollaborationsroboter müssen der Sicherheitsnorm ČSN EN ISO 10218-1 und ISO 10218-2 entsprechen. Diese Norm legt fest, welche Sicherheitseinrichtungen von Robotern bereitgestellt werden müssen. Die ersten drei Schlösser sind für Industrieroboter und die vierte für die Roboter. [28, 29]

Die Hauptidee von Industrie 4.0 für Roboter besteht darin, über das IoT mit der Cloud verbunden zu werden, wo sie ständig Daten von Sensoren und Chips senden. Eine solche Idee ist bereits real, da die Koboten eine Vielzahl von Sensoren an sich haben und auch Kameras haben können. Industrie 4.0 wird dank kollaborativer Roboter Realität. [28, 29]

Konstruktions-Element bei kolaborativen Roboter

Aufgrund der Zusammenarbeit zwischen dem Operator und dem Cobot muss der Cobot eindeutige Konstruktionsmerkmale implementiert haben, zum Beispiel: [28]

- Drehzahl- und Drehmomentsensoren in den Gelenken zeigen die Kraft an, die der Cobot bei Berührung auf den Bediener ausübt. Wenn die Kraftgrenzwerte überschritten werden, stoppt der Kobot sofort.

- Reduzieren Sie das Gewicht des Auslegers - das Ziel ist es, das Gewicht in jedem Kobot-Design zu reduzieren, um eine höhere Sicherheit für den Bediener zu gewährleisten.
- Die Zeitlupe der Pflastersteine - Die Hauptidee ist, die Geschwindigkeit des Kolbens immer so zu gestalten, dass er sofort anhalten kann.
- Die runde Form des Cobot-Arms erstreckt sich im Kontakt mit dem Bediener über einen größeren Bereich, wodurch die Auswirkungen verringert werden.
- Weiche Schicht auf der Kobraoberfläche. Die empfindliche, hautempfindliche, hautähnliche Schicht wird von einem kapazitiven Sensor mit hoher Kapazität gebildet, der die Umgebung ständig erkennt und bei Annäherung eines Objekts an den Arm des Kobots das Bremsen des Fahrzeugs anweist, sodass die Geschwindigkeit des Kobots sicher ist, wenn der Bediener den Bediener berührt. Es ist in ISO / TS 15066 geregelt.
- Serie elastische Elemente in den Armgelenken. Die Umgebung der Cobot wird von Kameras überwacht, die die Kobra darauf aufmerksam machen, dass sie sich dem Bediener nähert. Die Kameras dienen auch dazu, den Cobot im Raum auszurichten, um verschiedene Arten von Fertigungskomponenten zu sammeln und in die Hände des Bedieners zu legen.

Dank dieser Sicherheitsmerkmale werden die kollaborativen Roboter stärker in die heutige Produktion integriert und die Fabriken nähern sich Industrie 4.0. Abbildung 5 zeigt die Umsatzentwicklung von kollaborativen und Industrierobotern. Interessant an der Entwicklung ist die Tatsache, dass im Jahr 2024 die Cobots so viel verkauft werden, wie sie 2017 verkauft wurden.



Abbildung 5 Entwicklung und Prognose industrieller und kollaborativer Roboter [31]

Implementierung kollaborativer Roboter in der Praxis

Industrielle und kollaborative Roboter sind in der Praxis weit verbreitet. Ein Beispiel für den Einsatz von kollaborativen und industriellen Robotern in der Praxis ist die Firma SLOVARM mit Sitz in der Slowakei in Myjava. Das Unternehmen ist ein mittelständisches Unternehmen mit langer Tradition und beschäftigt sich mit der Herstellung von Ventilen und einem ähnlichen Sortiment.

Der kollaborative Roboter von Universal Robots befindet sich neben einer Werkzeugmaschine. Die Aufgabe des kollaborierenden Roboters UR5 besteht darin, die Schmiedestücke in die Klemmbacken der Maschine zu laden, sie auszuwählen und auf dem Förderband zu starten. Der Roboter verfügt über Handhabungsbacken mit einem Sicherheitssensor zur Erkennung von Schmiedeteilen. Aufgrund der ständigen Anwesenheit von Öl haben die Backen eine höhere chemische Beständigkeit von IP67. Die Schmiedestücke werden aus einem 368-teiligen Tablett entnommen, von dem etwa 1400 bearbeitet werden, wobei das Tablett aus 8 Mulden besteht, von denen jede 46 Schmiedeteile aufnimmt. Der Arbeitszyklus des Roboters zum Laden und Entladen hängt von der Bearbeitungsgeschwindigkeit der Maschine ab und beträgt 13 Sekunden. Nach der Inbetriebnahme des Roboters erhöhte sich die Produktionslinie der Linie, so dass die Anzahl der Teile, die 8 Arbeitsstunden entsprach, innerhalb von 7 Stunden auf der Linie produziert wurde. Abbildung 6 zeigt das Laden des Schmiedestücks in die Backen der Maschine. [19, 20]



Abbildung 6 Einsetzen des Schmiedestück in die Maschine [19]

In diesem Prozess ersetzte der Roboter den Menschen aufgrund der hohen Arbeitsmonotonie, löste ihn jedoch nicht vollständig aus dem Produktionsprozess aus. Der Arbeiter vervollständigt das Tablett, sobald er sieht, dass eine bestimmte Säule geleert wurde. Der verwendete Universal Robots UR-Roboter verfügt über 6 DOF und eine Tragfähigkeit von 5 kg bei einer Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,1$ mm bei IP54. Der Arbeitsbereich des Roboters besteht aus einem 850-mm-Torus. [19, 20]

Ein weiteres Beispiel für eine kollaborative Roboterbereitstellung ist in der Scott Fetzer Group in Tennessee, USA. Das Unternehmen ist führend bei intelligenten Energielösungen wie Elektromotoren, Netzteilen und Transformatoren. Das Unternehmen ist bekannt

für seine Vielzahl von Produkten mit geringem Volumen. Der Universal Robots UR5 Roboter wird verwendet. Der Roboter hat keinen festen Job, da er jeden Tag an einem anderen Job arbeitet. Das Arbeitsspektrum reicht von Blechbiegen über Standard-Pick-and-Place-Aufgaben über die Montage von Teilen durch Roboter bis zum Endprodukt. Die Vision des Unternehmens bestand darin, die Wettbewerbsfähigkeit durch die Einführung eines kollaborativen Roboters in den Produktionsprozess zu steigern. Sie erfüllten ihre Vision auch durch die Optimierung der Produktion um bis zu 20%, indem sie den Mitarbeitern monotone, gefährliche Arbeit abverlangen. In Produktionslinien erhöhte sich der Arbeitszyklus mit Hilfe von Collaboration-Robotern UR um 20%. Im gesamten Unternehmen werden nur UR-Roboter UR 3,5 und 10 eingesetzt. an das Daten-Repository gesendet, wo sie weiter verarbeitet werden. Abbildung 7 zeigt die oben beschriebene Mensch-Roboter-Kooperation beim Blechbiegen, einem kollaborierenden Roboter UR10. [22, 23]



Abbildung 7 UR 10 in Betrieb umsetzen [23]

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Collaboration-Robotern in der Praxis zusammen mit Industrie 4.0 ist die BSH Hausgeräte GmbH in Deutschland. Es ist die modernste Spülmaschinenfabrik in Europa. Der Roboter übernahm die Arbeit eines Mannes, der eintönig und ergonomisch unbequem war. Es ist eine Aufgabe, bei der der Roboter die Pumpenhalterung in der Spülmaschine montiert. Der Arbeiter musste sich vorher unbehaglich in die Spülmaschine lehnen, und so strengt er den Rücken an. Ein weiterer Vorteil des Einsatzes eines Collaboration-Roboters ist die ständige Dokumentation seiner Arbeit. Diese Daten werden in Analysen weiterverarbeitet. Des Collaboration-Roboters zeigt die Schraubenbefestigungsnachricht an und zeichnet somit seine gesamte Arbeit auf. Verwendet wurde der KUKA flexFELLOW Roboter mit 6 DOF. Die gesamte Kollaborationsroboterlinie befindet sich noch in der Testphase, aber es ist sehr wahrscheinlich, dass eine solche Automatisierung in permanenter Produktion verbleibt. Abbildung 8 zeigt die gegebene monotone Arbeit, wenn der kollaborative Roboter 4 Schrauben an der Pumpe montiert. [24, 25]



Abbildung 8 Kuka flexxFELLOW bei der Montage der Schrauben in der Spülmaschine [24]

9.3 Aktuelles Angebot kollaborativer Roboter

Derzeit ist der Markt für kollaborative Roboter groß und der Kunde kann genau nach seinen Bedürfnissen auswählen. Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der auf dem Markt verfügbaren kollaborativen Roboter. Die Roboter werden in Bezug auf Freiheitsgrade, Nutzlast, Arbeitsbereich, Gesamtgewicht, Bewegungsgeschwindigkeit und Verwendbarkeit miteinander verglichen.

Tabelle 1 Überblick über auf dem Markt angebotene kollaborative Roboter

Hersteller	Model	Abbildung	Freiheitsgrad	Arbeitsplatz [mm]	Handhabungskapazität[kg]	Gewicht [kg]	Geschwindigkeit [m/s]	Nutzung
Universal Robots	UR 3		6	500	3	11	1	geringer Platzbedarf, Montage kleiner Objekte, Kleben, Schrauben, Werkzeugkontrolle, Löten, Beschichten
Universal Robots	UR 5		6	850	5	18,4	1	Beschaffung, Lagerung, Prüfung, arbeitet mit Lichtobjekten
Universal Robots	UR 10		6	1300	10	28,9	1	Verpackung, Palettierung, Montage, Lagerung
ABB	Yumi		2 x 7	680	0,5 x 2	38	1,5	feine arbeit mit Teilen, hohe präzision
Fanuc	CR-4iA		6	550	4	48	0,5, wenn der Arbeitsbereich von Kameras überwacht wird 1	Verpacken, Lagern, Falten, Arbeiten mit leichten Objekten
Fanuc	CR-7iA		6	717	7	53	0,5, wenn der Arbeitsbereich von Kameras überwacht wird 1	Verpacken, Lagern, Falten, Arbeiten mit leichten Objekten
Fanuc	CR-15iA		6	1441	15	255	0,8 wenn der Arbeitsbereich von Kameras überwacht wird 1,5	Handling, Maschinenbedienung, Logistik
Fanuc	Cr-35iA		6	1813	35	990	0,25 wenn der Arbeitsbereich von Kameras überwacht wird 0,75	Manipulation, Maschinenbedienung, Logistik, Arbeiten mit schwereren Objekten
KUKA	LBR iiwa 7 R800		7	911	7	22,3	90°/s bis 180°/s	Verpacken, Lagern, Falten, Arbeiten mit leichten Objekten
KUKA	LBR iiwa 14 R820		7	931	14	29,5	70°/s bis 180°/s	Verpackung, Palettierung, Montage, Lagerung
Rethink Robotisc	Baxter		2x7	1041	2x 2,3 (mit gripper)	75	1	Beschaffung, Lagerung, Prüfung, arbeitet mit Lichtobjekten
Festo	BionicCobot		7	N/A	1,5	N/A	N/A	geringer Platzbedarf, Montage kleiner Objekte, Kleben, Schrauben, Werkzeugkontrolle, Löten, Beschichten

In der Tabelle gibt es ausgewählte kollaborative Roboter, die auf dem Markt am bekanntesten sind. Es gibt auch andere kollaborative Roboter von weniger bekannten Marken auf dem Markt, die in der Tabelle nicht als zum Beispiel BionicRobotics, Frank, Bosch, Kawada Industries, Kawasaki, Mabi MRK Systeme und Präzise Automatisierung. Der Einsatz von kollaborativen Robotern ist nicht genau definiert und der Kunde kann jeden an seine Bedürfnisse anpassen. Der Markt für kollaborative Roboter wächst stetig und damit auch die Sicherheitsanforderungen. Die Sicherheit von kollaborativen Robotern ist in EN ISO 10218-1 und ISO 10218-2 beschrieben. Es kann jedoch nicht behauptet werden, dass ein kollaborativer Roboter, der mit Sicherheitsfunktionen ausgestattet ist, immer sicher ist und dass es immer ratsam ist, immer das Arbeitsplatzrisiko zu analysieren. [35]

ABB Yumi

ABB Yumi, ein kollaborativer Roboter, wurde 2015 auf der Hannover Messe vorgestellt und präsentierte ein einzigartiges kollaboratives Roboterkonzept (Abbildung 9). Yumi hat zwei Arme und jeder von ihnen hat 7 Freiheitsgraden. Die Arme können unabhängig voneinander arbeiten, sie wurden entwickelt, um mit kleinen Teilen zu arbeiten und mit dem Menschen zusammenzuarbeiten. Yumi hat im Vergleich zu Wettbewerbern keine große Zuladung von 0,5 kg. Andererseits beträgt die maximale Endeffektorgeschwindigkeit bis zu 1,5 m / s. Die Wiederholgenauigkeit beträgt $\pm 0,02$ mm. Der ABB Yumi-Arbeitsbereich besteht aus zwei überlappenden Kugeln (Abbildung 10). Yumi ist mit empfindlichen und empfindlichen Sensoren ausgestattet, die den Widerstand erkennen und der Umgebung folgen und so die Interaktion mit dem Menschen ermöglichen. [37]

Yumi verfügt über einen Schutzgrad von IP30, d. h. Schutz des Roboters vor dem Eindringen des Werkzeugs in den Spalt max. 2,5 mm groß und kein Staubschutz. Der Hersteller empfiehlt daher eine saubere Arbeitsumgebung. [37]



Abbildung 9 ABB Yumi Kollaborativer Roboter [37]

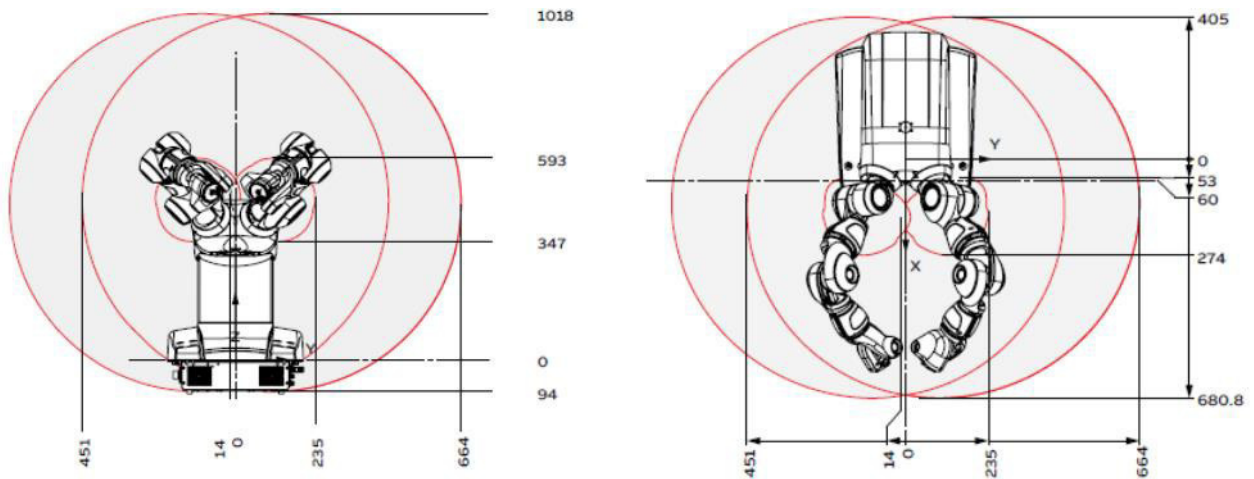


Abbildung 10 ABB Yumi-Roboterarbeitsplatz [37]

Die Auswahl des Gripper beim Yumi Cobot ist groß. Es können verschiedene Typen kombiniert werden, beispielsweise die Anordnung des Vakuumsaugers mit der Kamera oder mechanische Zangen und dergleichen. Eine solche vielfältige Auswahl an Gripper von Yumi ist in Abbildung 11 dargestellt. [37]



Abbildung 11 Angebot der Gripper ABB Yumi [37]

9.4 Arbeitsplatz mit einem kollaborierenden Roboter in Übereinstimmung mit dem Prinzip Industrie 4.0

Das Hauptziel ist es, einen Arbeitsplatz zu schaffen, an dem der Bediener und der Roboter zusammenarbeiten können. Der Roboter und der kollaborative Roboter arbeiten an einem gemeinsamen Arbeitsplatz (Workbench) und ihre Bewegungen hängen vom festgelegten Arbeitsablauf ab. Diese Art von Arbeitsplatz ist in Abbildung 12 dargestellt. Der gesamte Arbeitsplatz basiert auf Industrie 4.0.



Abbildung 12 Sequenzielle Zusammenarbeit eines kollaborativen Roboters mit dem Bediener [36]

Varianten der Arbeitszelle

Für den Aufbau einer Roboterzelle wurden drei Varianten vorgeschlagen. Als Variante A aus zwei Fördereinrichtungen besteht, das Material in der Mitte des Arbeitstisches importieren ist es ein kollaborative Roboter ABB Yumi und in der Nähe der Service-Box ist die Basis-Komponenten. Variante B besteht aus einem Arbeitstisch, auf dem eine kollaborative Roboter ABB Yumi platziert ist und die Arbeitsplatte verwendet werden drei Felder. Abbildung 13 zeigt beide Varianten.

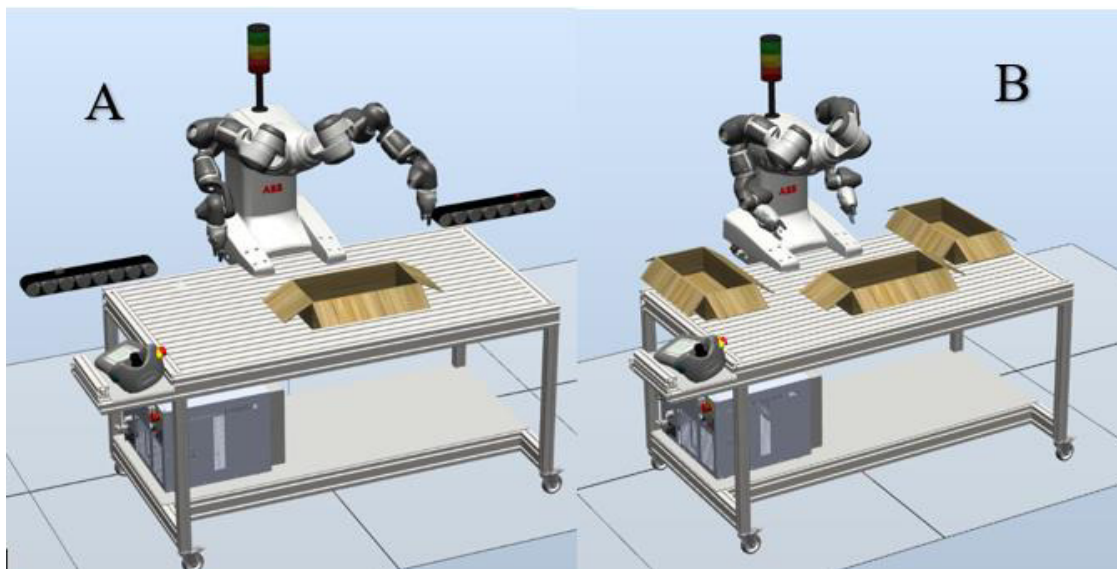


Abbildung 13 Variante A und B der Roboterzelle

Die dritte Variante C ist ähnlich wie die Variante B einziger Unterschied in der Länge der Arbeitsfläche ist. C-Variante in Abbildung 14. Nach Konsultationen mit dem Betreuer der Diplomarbeit gezeigt entschied ich mich Varianten von C zu verwenden, aufgrund höherer kollaborativnosti Visualisierung und eine größere Stabilität des Tisches.

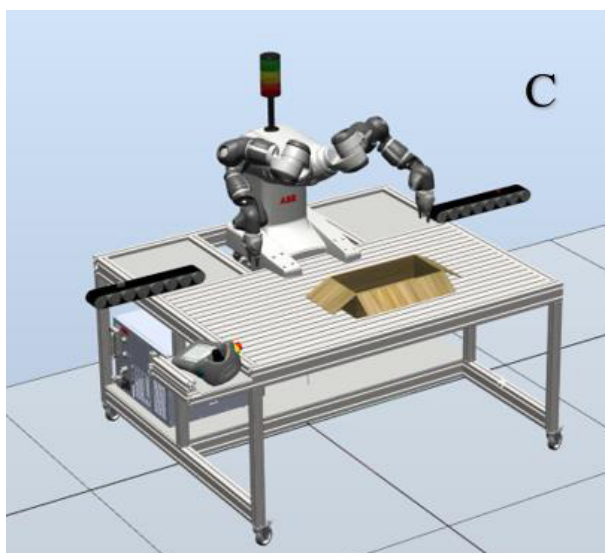


Abbildung 14 Variante C der Roboterzelle

Beschreibung der Roboterzelle

Die Roboterzelle besteht aus einem Arbeitstisch, der aus Aluminiumprofilen (Abbildung 15) zusammengesetzt ist. Die Tischmaße betragen 1400x1250 mm (in der Mitte des Roboterraums) bei einer Höhe von 750 mm. Der ganze Tisch hat Räder mit Bremsen.

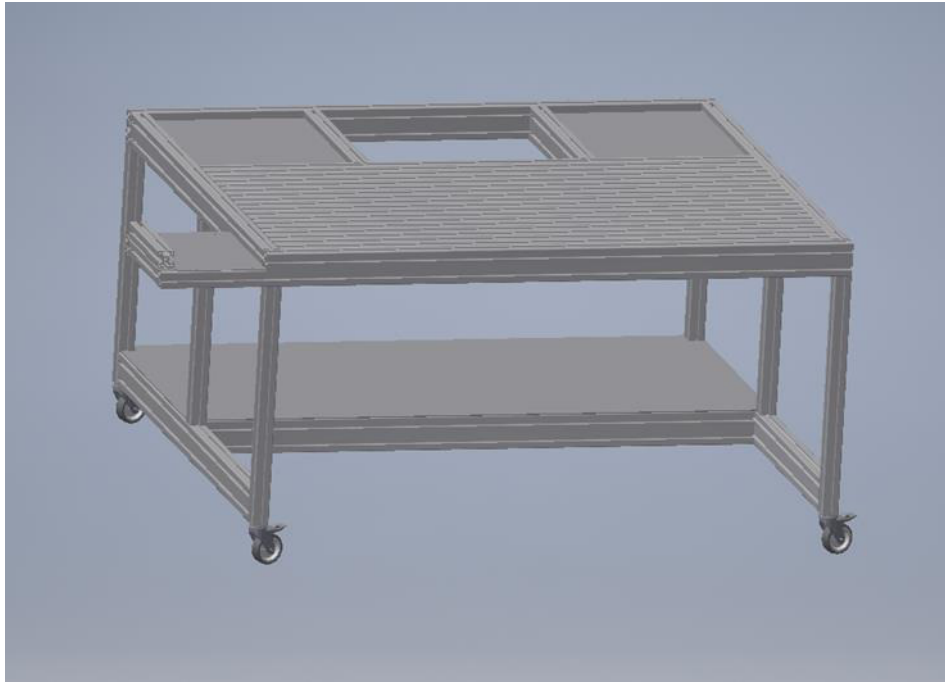


Abbildung 15 Mobile Arbeitstisch

Auf dem Arbeitstisch ist kollaborative Roboter ABB Yumi montiert und an der Unterseite angebracht ist ABB IRC5 Controller Kompakt. Auf die Oberseite des Roboters ist ein Beacon-Beacon geschraubt, um den Betrieb des kollaborierenden Roboters visuell zu überprüfen. Auf beiden Seiten der Arbeitstisch werden Förderer an die Komponenten geliefert. Diese Roboterzelle ist in Abbildung 16 dargestellt.

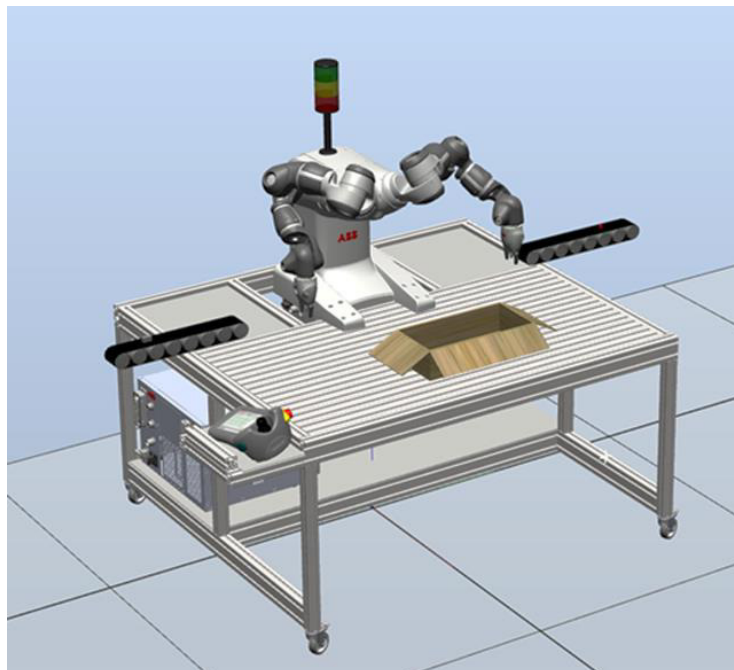


Abbildung 16 Mobile Arbeitszelle

Komponenten, die von Förderbändern transportiert werden, haben QR-Codes auf der Oberfläche und implementierte RFID-Chips. Ein RFID-Sender sollte in der VUT FSI-Halle installiert werden, um Informationen auf implementierte RFID-Chips zu schreiben. Der kollaborative Roboter von ABB Yumi verfügt über einen Greifer mit mechanischer Zange, aber auch über eine Kamera, mit der QR-Codes auf der Oberfläche von Komponenten gelesen werden können. Alle Roboterinformationen von der Kamera und den Roboterscannern werden über das WLAN-Netzwerk an eine externe Cloud gesendet. Die Cloud wird vom externen Amazon EC2-Service bereitgestellt. Diese Daten stehen jederzeit von jedem Standort am Boden zur Verfügung und dienen zur Kontrolle des Arbeitsplatzes, der Produktionsplanung, der Angabe von Arbeitszellenstatistiken oder zum Arbeiten mit einem digitalen Zwilling. Der Energieeintrag in die Arbeitszelle wird gemessen und diese Daten werden auch an eine große Gruppe von Daten (Big Data) in der Cloud gesendet.

Beschreibung des Arbeitsplatzes

Der Bereich, in dem die mobile Arbeitszelle mit dem Roboter verwendet wird, ist der VUT-FSI-Block C1 (Abbildung 17). Zum Beispiel kann sich die mobile Arbeitszelle in einer Position befinden, wie in Abbildung 18 gezeigt.



Abbildung 17 Blick in die VUT FSI Halle



Abbildung 18 Arbeitszelle im Hallenbereich anzeigen

Beschreibung einer Beispielaufgabe für Ausbildung

Die beispielhafte Aufgabe für Ausbildung besteht aus einer mobilen Roboterzelle und den notwendigen zwei externen Förderern. Die beiden Hauptmitglieder dieser Arbeitszelle sind der kollaborative Roboter ABB Yumi und der Bediener. Abbildung 19 zeigt eine mobile Arbeitszelle mit einem Stuhl für den Betreiber, die sitzen sollten. Der Büro-Stuhl ist mit Rollen und verstellbarer Sitz- und Hüfthöhe. Der Fußraum hat eine Länge von 600mm, wenn nach der Regierungsverordnung Nr. 246/2018 Sm. Minimum 500 mm.

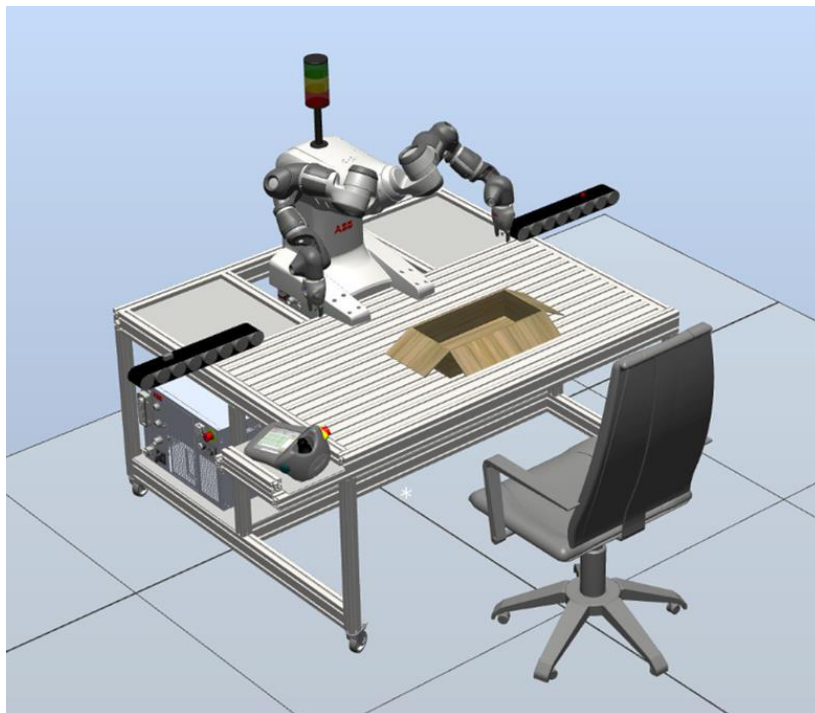


Abbildung 19 Mobile Arbeitszelle mit dem Büro-Stuhl

Komponenten, die mit einem kollaborativen Roboter zusammengebaut werden, werden vereinfacht dargestellt. Bei beiden Förderern befindet sich am Ende der Bauteilstrecke ein optischer Sensor, der die Position des Bauteils erkennt. Sobald der optische Sensor die Komponente überquert, scannt der kollaborative Roboter mithilfe einer Kamera im Gripper den QR-Code auf der Komponentenoberfläche (Abbildung 20). Informationen aus dem QR-Code, die Teil des Arbeitsplatzes sind, werden in die Cloud gesendet und der RFID-Sender sendet ein Signal an den RFID-Chip in der Komponente. Diese Informationen im RFID-Chip sind insofern wichtig, als ein Aufkleber im QR-Code-Bereich angebracht wird, wenn diese beiden Komponenten verbunden sind und die Produktinformationen nicht mehr abgerufen werden konnten. RFID-Chips tragen die Daten die ganze Zeit über die Komponenten, die sie durchlaufen haben, was sie getan haben, und so weiter. Der Roboter scannt den QR-Code mit dem Vision System, das Teil von RobotStudio ist, jedoch nicht die Schulversion.

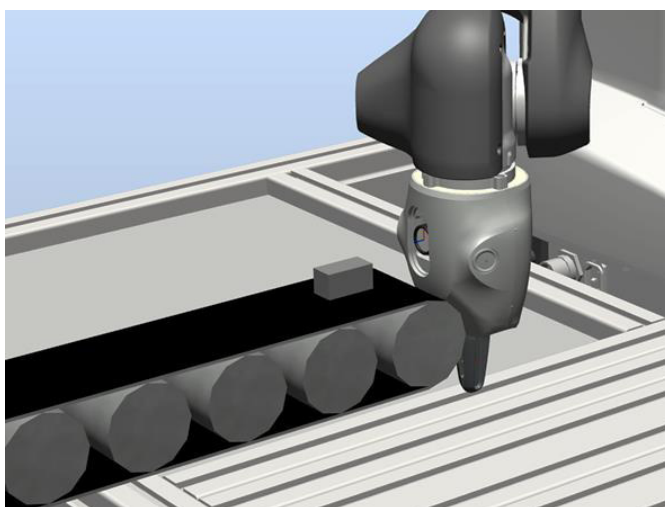


Abbildung 20 QR-Code vom Teil scannen

Ein weiterer Montageschritt ist das Zusammenfügen der beiden Komponenten, wie in Abbildung 21 gezeigt. Diese Komponenten sind starr mechanisch verbunden. Nach dem Zusammenfügen der beiden Komponenten bewegt sich der Roboter weiter vorwärts, wobei der Bediener einen Aufkleber an der vorgegebenen Komponente anbringt. Als letzten Schritt legt der kollaborative Roboter die Komponente in der Papierschachtel. Dieser Roboter- und Bedienerworkflow wird im Zyklus wiederholt. Wenn der Papierschachtel voll mit Teilen ist, nimmt der Bediener der Papierschachtel und ersetzt sie durch ein Leerzeichen.

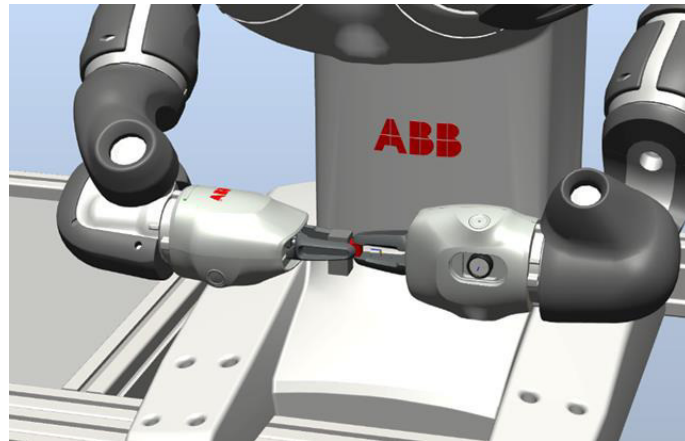


Abbildung 21 Zwei Teile zu einem verbinden

Das Video in Anhang 1 (Príloha 1) zeigt eine Demonstration dieser Beispielaufgabe. Während der Verteidigung der Arbeit wird die Beispielaufgabe in der virtuellen Realität angezeigt, um die Aufgabe noch besser darzustellen.

9.5 Analyse der Risiken des robotisierten Arbeitsplatzprojekts

Der robotisierte Arbeitsplatz muss insgesamt der Sicherheitsnorm ČSN EN ISO 10218-1 und ČSN EN ISO 10218-2 entsprechen. Da der Bediener am Arbeitsplatz arbeiten sollte, fällt auch dieser robotisierte Arbeitsplatz unter die Regulierung der Regierung der Tschechischen Republik Nr. 361/2007 Sm. der die Bedingungen für den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz festlegt. Eine ausführliche Risikoanalyse am robotisierten Arbeitsplatz ist in Anhang 3 enthalten. [N01, N02]

Cyber-Sicherheit

Mit dem Beginn von Industrie 4.0 entstehen neue Sicherheitsrisiken sowie neue Herausforderungen. Viele automatisierte Systeme sind gemeinsam voneinander abhängig, zum Beispiel elektronisches Bezahlen oder Fernsteuerung kritischer Infrastrukturelemente. Bei einem Ausfall treten Probleme auf, die zu sozialer Instabilität führen können. [44, 45, 46]

Je komplexer das System ist, desto unzulänglicher kann das Wissen über die Funktionsprinzipien verletzt werden. Die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Industrie 4.0 muss umfassend und systematisch verstanden werden, d.h. von Daten- und Kommunikationssicherheit auf unterster Ebene über Zuverlässigkeitsinfrastruktur und Sicherheit bis hin zu einem unternehmensweiten globalen Sicherheitssystem. [44, 45, 46]

Cyber-Bedrohungen konzentrieren sich hauptsächlich auf Industrie 4.0 für industrielle Steuerungssysteme wie verteilte Steuerungssysteme, speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS, PAC) und deren Netzwerke, Sammelsysteme, Datensteuerung und -überwachung, System- und Mensch-Maschine-Schnittstelle. Alle diese Gefahren ergeben sich aus der Vernachlässigung von Sicherheitslücken, die auf ein schlechtes Architekturdesign, auf die Vernachlässigung der Computersicherheit oder auf das Veralten von Komponenten im System zurückzuführen sind. Die Standards der Cyber-Sicherheit, nach denen Unternehmen Angriffe abwehren sollten, sind ISO 27001 oder IEC-62443. Zum Zeitpunkt des Verständnisses

der Risiken können sie die richtigen und spezifischen Sicherheitsfunktionen in der Software- oder Hardwareebene implementieren. [44, 45, 46]

Jeder Angriff auf das System kann erhebliche Auswirkungen auf die Sicherheit haben, zum Beispiel [44, 45, 46]:

- Nichtverfügbarkeit des Systems
- Verlust der Systemverwaltbarkeit
- Umgang mit Daten und Verlust
- Verlustleistung
- Systemstörungen
- Systemfehler mit Umweltfolgen
- wirtschaftliche Verluste (Verlust von Know-how, Verlust der Wettbewerbsfähigkeit, Bantrott)

Zu den wichtigsten Säulen der Sicherheit gegen Systemangriffe gehören [44, 45, 46]:

- Physische Sicherheit (zum Beispiel nicht autorisierter Zugriff und Manipulation der Geschäftsinfrastruktur)
- Netzwerksicherheit (intelligente Trennung von Netzwerken durch Firewalls und eigene Abwehr von Bedrohungen)
- Systemintegrität (im Hinblick auf den Schutz vor Änderungen der Software, die für den Betrieb wichtig sind, wie etwa Wirbel, unberechtigter Zugriff)

Die Analyse der Roboterzelle

Die Analyse der Roboterzelle besteht darin, ein Blockdiagramm zu erstellen, in dem die Elemente der Roboterzelle klar unterschieden werden und die Wechselwirkungen zwischen ihnen. Die Abbildung 22 und 23 zeigen ein Blockdiagramm einer Roboterzelle. Dieses Diagramm zeigt die relevanten Gefahren. Die Roboterzelle fällt unter die Normen der ČSN EN ISO 10218-1 und der ČSN EN ISO 10218-2. Aus Sicht der achtstündigen Schicht in der Roboterzelle muss der Arbeitsplatz der Verordnung der Regierung der Tschechischen Republik Nr. 246/2018 Sb. [N01, N02]

Blockschaltbild

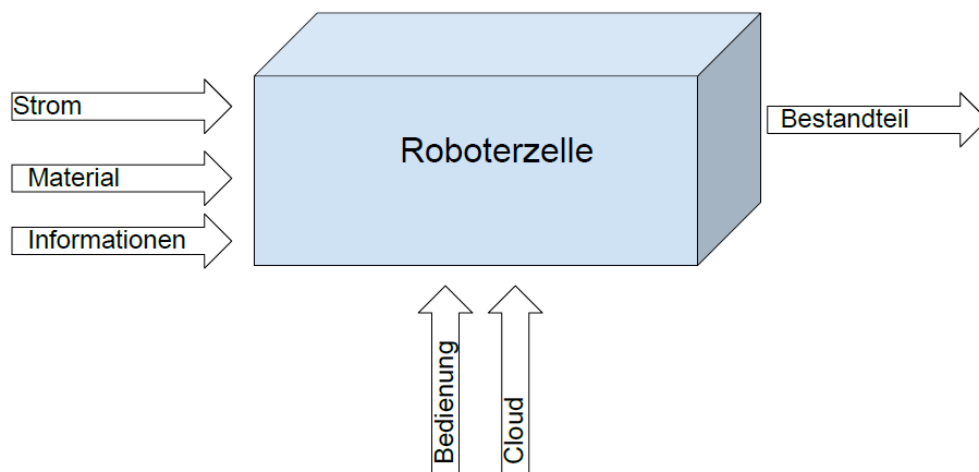


Abbildung 22 Vereinfachtes Blockschaltbild

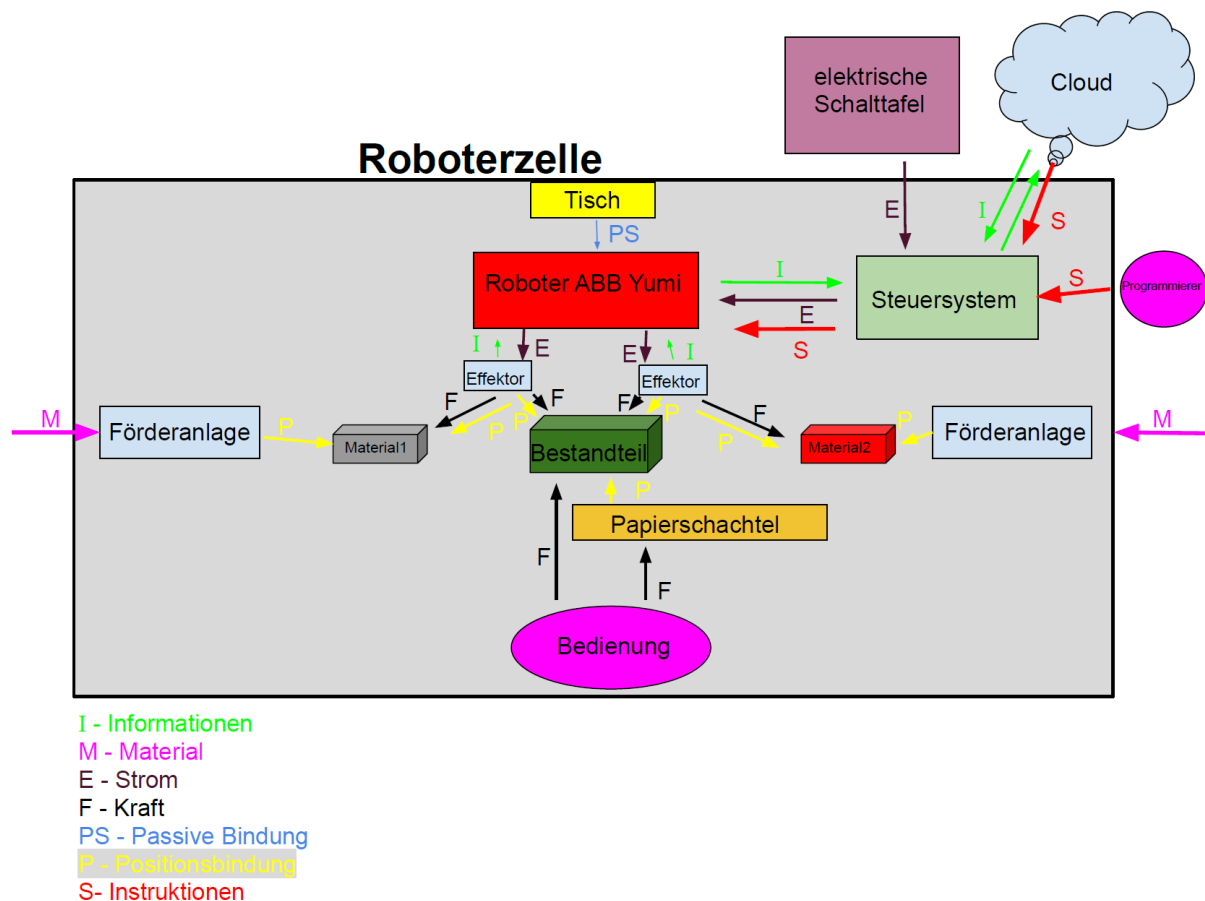


Abbildung 23 Blockschaltbild einer Roboterzelle

Identifizierung relevanten Risiko

Aus dem Blockschaltbild und gemäß der Norm ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2 und der Regulierung der Regierung der Tschechischen Republik Nr. 246/2018 Sm. werden alle relevanten Gefährdungen der Verbindung mit der Roboterzelle definiert (Tabelle 2). [N01, N02]

Tabelle 2 Identifizierung relevanten Risiko

Name der Systemkomponente	Komponentenposition im System	Gefahrentyp nach EN ISO 10218-1 und 10218-2
Roboter	Arbeitsplatz	mechanische Gefahr (1.1-1, 1.4-1, 1.5-1, 1.5-3), elektrische Gefahr (2.3-1), Vibrationsgefahr (3.1-1), ergonomische Gefahr (4.2-2)
Effektor	Arbeitsplatz	mechanische Gefahr (1.1-2, 1.1-3, 1.2-1, 1.2-2, 1.3-1, 1.3-3, 1.3-4, 1.4-1, 1.4-2, 1.5-2, 1.5-3, 1.7-1), ergonomische Gefahr (4.2-2)
Förderanlage	Arbeitsplatz	mechanische Gefahr (1.1-3, 1.3-2, 1.5-1, 1.6-1)

Manipulierbares Material	Arbeitsplatz	mechanische Gefahr (1.1-3, 1.3-4, 1.4-1, 1.4-2), ergonomische Gefahr (4.2-2, 4.3-1)
Bestandteil	Arbeitsplatz	mechanische Gefahr (1.1-3, 1.3-4, 1.4-1, 1.4-2), ergonomische Gefahr (4.2-2)
Arbeitstisch	Arbeitsplatz	mechanische Gefahr (1.1-3, 1.3-5, 1.8-1), elektrische Gefahr (2.1-1), Vibrationsgefahr (3.1-2), ergonomische Gefahr (4.1-1, 4.2-2, 4.3-1)
Steuersystem	Arbeitsplatz	elektrische Gefahr (2,3-1), Cybergefahr (5.1-1, 5.2-1)
Cloud	Maschinenumgebung	Cybergefahr (5.1-1, 5.2-1)
elektrische Schalttafel	Maschinenumgebung	elektrische Gefahr (2.1-1, 2.1.-2, 2.2-1)
Papierschachtel	Arbeitsplatz	ergonomische Gefahr (4.2-3, 4.3-2)

Analyse wesentlicher Gefahren

Die Analyse signifikanter Gefährdungen wird gemäß der Norm ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2 und der Verordnung der Regierung der Tschechischen Republik Nr. 246/2018 Sm. zur Vereinfachung einer Erweiterung der relevanten Gefährdungen bestimmt, die in Tabelle 3 dargestellt ist.

Tabelle 3 Analyse wesentlicher Gefahren

Analyse wesentlicher Gefahren				
Während der Betrieb, die Wartung				Roboterzelle
Seriennummer	Lebenszyklusphase	Gefahrentyp (nach EN ISO 10218-1, 10218-2)		
		Kurze Beschreibung	Id. Nummer	Beschreibung der Ereignisse:
1	Betrieb			
1.1	Roboter	Kompression, aufscheuern, Stoß, Kurzschluss, Ermüdungsgefahr, Vibration	1.1-1 1.4-1 1.5-1 1.5-3 2.3-1 3.1-1 4.2-2	Beim Bewegen der Arme kann es zu Quetschungen zwischen festen Objekten (Arbeitstisch, Förderanlage, Grund des Roboters) kommen. Es besteht Kollisionsgefahr, wenn sich der Roboterarm unerwartet bewegt. Vibrationen können durch schlechte Befestigung des Roboters an dem Arbeitstisch entstehen.
1.2	Manipulierbares Material	Kompression, aufscheuern, herausschleudern, Ermüdungsgefahr	1.1-3 1.3-4 1.4-1 1.4-2 4.2-2	Bei der Handhabung des Materials kann ausgestoßenem Material sein.
1.3	Effektor	Kompression, zerschneiden, aufscheuern, herausschleudern, Stoß, Schnitt, Ermüdungsgefahr	1.1-2 1.1.-3 1.2-1 1.2-2 1.3-1 1.3-3 1.3-4 1.4-1 1.4-2 1.5-2 1.5-3 1.7-1 4.2-2	Das Risiko der Kompression, Zerschneiden, herausschleudern, Stoß, einen Schnitt auffällig ist in einem Endeffektor des Roboters ausgebildet ist. Falsche Zusammenarbeit mit dem Roboter kann zur Ermüdung des Bedieners führen.

1.4	Cloud	Auswirkungen auf die Gesundheit, wirtschaftliche Gefahr	5.1-1 5.2-1	Bei einem Hackerangriff auf das Steuerungssystem kann es zu einer Nichtverfügbarkeit des Systems oder zu Datenverlust (Know-how) kommen. Möglicherweise ändern sich auch die Zelleneinstellungen und die Gesundheitsrisiken. Alle diese Gefahren sind eng mit den wirtschaftlichen Verlusten der Gesellschaft verbunden.
2	Fehlerbehebung und Entfernung			
2.1	Reparatur	aufschauern, elektrischer Schlag	1.3-5 2.1-2	Bei der Reparatur eines Arbeitstisches kann der Bediener eine scharfe Ecke des Tisches abwischen oder ein elektrischer Schlag kann durch einen unter Spannung stehenden Tisch aufgrund eines elektrischen Fehlers auftreten

Übersicht über festgestellte Hauptgefahren

Die Übersicht wird verwendet, um die Gefahren in einer Roboterzelle zu definieren, wie zum Beispiel mechanische, elektrische, ergonomische oder Cybergefahr. Alle diese Gefahren werden nach der jeweiligen Gefahrenart kategorisiert. Tabelle 4 zeigt den Bericht.

Tabelle 4 Übersicht über festgestellte Hauptgefahren

Zusammenfassung der identifizierten Hauptrisiko	
1	Mechanische Gefahr
1.1	Gefahr pressen
1.1-1	Gefahr pressen bei der Bewegung eines Teils des Arms
1.1-2	Gefahr pressen bei der Bewegung des Endeffektors
1.1-3	Gefahr pressen zwischen dem Endeffektor und einem feststehenden Objekt (Arbeitstisch, Roboterbasis, Förderanlage)
1.2	Schnittgefahr
1.2-1	Schnittgefahr beim Bewegen oder Drehen eines scharfen Werkzeugs am Endeffektor
1.2-2	Schnittgefahr bei ungewollter Bewegung des Endeffektors
1.3	Gefahr des Abriebs

1.3-1	Abriebgefahr durch ungewollte Bewegung oder Aktivierung des Endeffektors
1.3-2	Abriebgefahr, wenn sich der Förderanlage ungewollt bewegt
1.3-3	Abriebgefahr durch ungewollte Werkzeugfreigabe
1.3-4	Abriebgefahr durch unbeabsichtigtes Lösen des manipulierten Objekts
1.3-5	Gefahr von Abrieb auf dem Arbeitstisch
1.4	Gefahr des Ausstoßes
1.4-1	Die Gefahr des Ausstoßens der maximalen Geschwindigkeit über den Effektor des Materials oder Gegenstands
1.4-2	Die Gefahr bei der Handhabung von Produkten und Materialien geworfen
1.5	Kollisionsgefahr
1.5-1	Kollisionsgefahr durch ungewollte Bewegung des Roboters oder eines Teils des Förderers während der Handhabung
1.5-2	Kollisionsgefahr beim Positionieren und Ausrichten des Endeffektors
1.5-3	Gefahr des Programmfehlers
1.6	Wicklungsgefahr
1.6-1	Gefahr Wicklung lose Kleidung oder Haare auf einen Teil des Förderanlages
1.7	Gefahr Schnitt
1.7-1	Gefahr Schnitt von zwei Roboterarmeffektoren
1.8	Gefahr des Stabilitätsverlustes der Arbeitstisch
1.8-1	Gefahr des Stabilitätsverlustes des Tisches beim Umgang mit dem Tisch
2	Elektrische Gefahr
2.1	Todesgefahr Stromleitungen
2.1-1	Stromschlaggefahr durch Berührung mit spannungsführenden Teilen oder Verbindungen
2.1-2	Stromschlaggefahr beim Berühren von Gegenständen, die aufgrund einer Funktionsstörung unter Spannung stehen
2.2	Kurzschlussgefahr
2.2-1	Kurzschlussgefahr bei Verwendung ungeeigneter Kabel
3	Vibrationsgefahr
3.1	Gefahr von Roboterschwingungen
3.1-1	Gefahr von Robotervibrationen durch falsches Anbringen am Arbeitstisch
3.1-2	Gefahr von Vibrationen am Arbeitstisch
4	Ergonomische Gefahr
4.1	Gefahr von menschlichen Fehlern
4.1-1	Gefahr von menschlichen Fehlern mit falsch platziertem Regler
4.1-2	Gefahr von menschlichen Fehlern durch schwache Beleuchtung der Roboterzelle
4.2	Ermüdungsgefahr
4.2-1	Ermüdungsgefahr durch schlechte Beleuchtung in der Roboterzelle
4.2-2	Ermüdungsgefahr durch falsche Ergonomie in Zusammenarbeit mit dem Roboter

4.2-3	Ermüdungsgefahr durch häufiges Bewegen schwerer Lasten (Papierschachtel)
4.3	Gefahr Skelettmuskelschäden
4.3-1	Gefahr Skelettmuskelschäden durch schlechte Ergonomie in der Zusammenarbeit mit dem Roboter
4.3-2	Ermüdungsgefahr durch Lastbewegung (Papierschachtel)
5	Cyber-Gefahr
5.1	Gefahr eines Systemausfalls mit Auswirkungen auf die Gesundheit
5.1-1	Gefahr einer Systemstörung durch Systemangriff
5.2	Wirtschaftliche Gefahr
5.2-1	Wirtschaftliche Gefahr für das Unternehmen

Nach der Analyse der Roboterzelle wurden 32 signifikante Gefahren festgestellt. Einschließlich 31 Gesundheitsgefahren für den Bediener und 1 Risiko des Missbrauchs von Informationen.

Risikoeinschätzung

Um die Größe des Risikos zu bestimmen, muss eine Schätzung vorgenommen werden, die Teil des Risikoanalyseprozesses ist. Die Gesamtrisikoschätzung wird unter Verwendung des Risikoschätzungsformulars vorgenommen. Die anschließende Risikobewertung wird anhand des Diagramms in Abbildung 24 durchgeführt, wobei zuerst die Schwere des Unfalls, gefolgt von der Expositionszeit, gefolgt von der Möglichkeit, das Risiko zu vermeiden, und als letzte Chance, dass eine solche Gefahr auftritt, bestimmt wird. Diese Risiken sind mit der Sicherheit des Bedieners verbunden. Das Formular gibt zunächst das anfängliche Risiko an und wendet dann Maßnahmen an, die dieses Risiko reduzieren. Nach jeder Maßnahme wird die Risikoeinschätzung neu berechnet, und am Ende dieser Maßnahmen verbleibt der resultierende Risikowert, auch als Restrisiko bezeichnet.

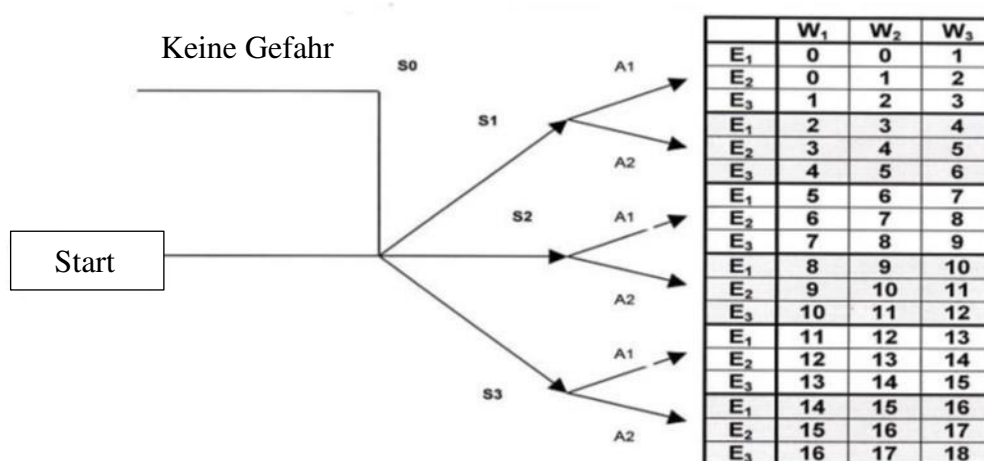


Abbildung 24 Risikoabschätzungskarte [47]

Schweregrad der Gesundheitsverletzung "S":

- keine gefahr (S0)
- leichte Verletzungen mit vorübergehenden Auswirkungen (S1)
- schwere Verletzungen mit dauerhaften Folgen (S2)
- Tod (S3)

Häufigkeit und Dauer des Risikos (Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich) "A":

- seltener (A1)
- oft permanent (A2)

Möglichkeit, die Gefahr "E" zu vermeiden:

- möglich (E1)
- unter Umständen möglich (E2)
- kaum möglich (E3)

Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines gefährlichen Ereignisses "W":

- klein oder unwahrscheinlich (W1)
- Medium (W2)
- groß (W3)

Risiken müssen nach Größe sortiert werden, wobei 0 bis 4 akzeptable Risiken, 5 bis 6 akzeptable Risiken und 7 bis 18 nicht akzeptabel sind.

Bei Cyber-Bedrohungen besteht eine wirtschaftliche Gefahr, wenn ich die Schwere des Schadens ändern muss.

Schweregrad des Schadens (Hinrichtung) "S":

- keine gefahr (S0)
- geringer finanzieller Verlust (S1)
- großer finanzieller Verlust (S2)
- Bankrott (S3)

Tabelle 5 zeigt ein Beispiel für ein Formular für mechanische Gefahren, wenn eine Kompression auftreten kann. Ein solches Formular muss für jede signifikante Gefahr verwendet werden. Alle Formulare für relevante Gefährdungen sind in Anhang 2 sowie die Gesamtanalyse der Roboterzelle aufgeführt.

Tabelle 5 Beispiel für ein mechanisches Gefahrenformular Nr. 1

VUT, FSI ÚVSSR	Form für die Risikobewertung	Roboterzelle	
	Verarbeitet: Gabriel Kuba	Datum: 13.4.2019	
Gefahrennummer	Identifikationsnummer	Gefahrenbezeichnung nach ČSN EN ISO 10218-1 und 10218-2	
		1. Mechanische Gefahr	
1.1-1	1	Gefahr pressen	
Zellebensphase:	Betrieb	Gefahrenbereich: Arbeitsbereich	
Menschen in Gefahr:	Bedienung	Betriebszustand: in Betrieb	
Beschreibung der gefährlichen Situation / des Ereignisses	Gefahr pressen bei der Bewegung eines Teils des Arms		
Anfangsrisiko:	Schweregrad der Körperverletzung	S2- schwere Verletzung (dauerhafte Folgen)	Risikogröße
	Häufigkeit und Dauer der Bedrohung	A2- oft dauerhaft	9
	Die Möglichkeit, die Gefahr zu vermeiden	E2- unter bestimmten Umständen möglich	
	Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines gefährlichen Ereignisses	W1- klein	
Schritt 1: Maßnahmen für den Einbau in Bau			
Beschreibung der Maßnahmen:	Implementierte Sensoren in druckempfindlichen Armteilen		
Anfangsrisiko:	Schweregrad der Körperverletzung	S1- Leichte Verletzungen	Risikogröße
	Häufigkeit und Dauer der Bedrohung	A2- oft dauerhaft	2
	Die Möglichkeit, die Gefahr zu vermeiden	E1-gemeinsam	
	Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines gefährlichen Ereignisses	W1- klein	
Schritt 2: Sicherheits- und ergänzende Schutzmaßnahmen			
Beschreibung der Maßnahmen:	Testen eines neuen Programms im Offline-Robotstudio und dann in Echtzeit		
Reduziertes Risiko durch Maßnahmen	Schweregrad der Körperverletzung	S1- Leichte Verletzungen	Risikogröße
	Häufigkeit und Dauer der Bedrohung	A1- seltener	0
	Die Möglichkeit, die Gefahr zu vermeiden	E1-gemeinsam	
	Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines gefährlichen Ereignisses	W1- klein	
Schritt 3: Informationen zur Verwendung			
Beschreibung der Maßnahmen:	Umschulung des Bedieners, um die Hände in der Nähe des Roboters zu bewegen		
Reduziertes Risiko durch Maßnahmen	Schweregrad der Körperverletzung	S1- Leichte Verletzungen	Risikogröße
	Häufigkeit und Dauer der Bedrohung	A1- seltener	0
	Die Möglichkeit, die Gefahr zu vermeiden	E1-gemeinsam	
	Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines gefährlichen Ereignisses	W1- klein	

9.6 Wirtschaftliche Bewertung Roboterzelle

Gesamtwirtschaftliche Auswertung wird auf eine allgemeine Idee, die bei einer bestimmten Roboterzelle erforderlich, was es zu Zelle kostet. Die in Tabelle 6 verwendeten Preise sind Richtwerte. Die Auswertung zeigt, dass der Gesamtstartpreis für die Schaffung einer Roboterzelle 67 154 € (1 725 000 Czk) beträgt. Der Amazon EC2-Cloud hat keine weiteren Informationen zum Service verfügbar sind.

Tabelle 6 Wirtschaftliche Bewertung einer Roboterzelle

Beschreibung	Anzahl der Stücke	Geschätzter Preis [Euro]
ABB Yumi mit Effektoren zusammen mit IRC5-Controller	1	50000
Arbeitstisch	1	1000
Büro-Stuhl	1	450
Förderanlage mit einem Linearencoder	2	500
RFID-Technologie	1	2000
RFID Chip	2	2
Papierschachtel	1	0,5
Industrielle Beleuchtung	1	500
Robotstudio (1 Jahr)	1	2200
Cloud Amazon EC2 (1 Jahr)	1	10000
		67154,5

9.7 Zusammenfassung

Diplomarbeit befasste sich mit den vorgeschlagenen Lösungen der kollaborativen Roboterzelle Roboter ABB Yumi. Dieser gesamte Vorschlag entsprach den Grundsätzen der Industrie 4.0. Zu Beginn der Arbeit wurden die grundlegende Teile von Industrie 4.0 diskutiert. Dieser Teil wurde in Form von Recherche und die Analyse von Cyber-Physical System, Smart Factory, Digital Twin, RFID-Technologie, Big Data, Cloud Computing und IoT entwickelt. Der zweite Teil beschreibt die Aufteilung von Robotern und anschließend den Aufbau von kollaborierenden Robotern und deren Umsetzung in der Praxis. Der dritte Teil war eine Umfrage zum aktuellen Angebot kollaborierender Roboter auf dem europäischen Markt. Der vierte Teil befasst sich mit dem ideologischen Arbeitsplatz mit einem kollaborierenden Roboter. Der kollaborative ABB Yumi-Roboter mit zwei Armen und 7 DOF wurde ausgewählt. Die Arbeitszelle wurde aus drei Varianten ausgewählt, bei denen die resultierende Zelle den besten Schwerpunkt des Tisches hatte und die beste Industrie 4.0-Prinzipien zeigte. Anschließend wird für diese Roboterzelle eine Musteraufgabe für den Unterricht entworfen. Sie zeigen eine Beispielaufgabe in einem Anhang im Videoformat an, oder zeigt sich bei der Verteidigung in Form einer erweiterten und virtuellen Realität. Der fünfte Teil befasst sich mit der Risikoanalyse dieser Roboterzelle. Nach der Bewertung aller Risiken sind 32 signifikante Gefahren aufgetreten. Für diese Gefahren werden Maßnahmen in Form von Formularen getroffen. Der letzte Teil der Arbeit zeigt die grundlegende ökonomische

Bewertung der robotisierten Zelle. Die Orientierungskosten einer solchen Roboterzelle betragen 67.154 € (1.725.000 Czk).

10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Člověk a stroj: metodická příručka. Praha: Soudy, 2017. ISBN 978-80-86809-21-2.
- [2] What Is Industry 4.0 And How It Increases Machine Efficiency?. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://thingtrax.com/2017/10/05/industry-4-0-increases-machine-efficiency/>
- [3] Hightech-Strategie 2025. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.hightech-strategie.de/de/hightech-strategie-2025-1726.html>
- [4] Průmysl 4.0. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <http://www.ppp4.cz/prezentace/documents/pdf/prumysl-4-0-brozurka.pdf>
- [5] CPS – Kyberneticko fyzikálne systémy. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <http://industry4.sk/o-industry-4-0/technologie/>
- [6] Komponenty a princípy konceptu Industry 4.0. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Jozef_Hercko/publication/299353944_Komponenty_a_principy_konceptu_Industry_40/links/56f1a32c08aee9c94cfd7071/Komponenty-a-principy-konceptu-Industry-40.pdf?origin=publication_detail
- [7] Průmysl 4.0: Smart Factory Hub posiluje mezinárodní spolupráci. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/cs/clanky/prumysl-40-smart-factory-hub-posiluje-mezinarodni-spolupraci-114679.html>
- [8] SMART factory - inteligentní továrna. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.ipaslovakia.sk/sk/tlac-a-media/aktuality/smart-factory-inteligentni-tovarna>
- [9] Digitální dvojče. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/industryforum/digitalni-dvojce>
- [10] Tvorba digitálneho dvojčat'a výrobnéj linky v rámci konceptu Industry 4.0. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: https://www.atpjournals.sk/rubriky/prehľadove-clanky/tvorba-digitalneho-dvojcata-vyrobnjej-linky-v-ramci-konceptu-industry-4.0.html?page_id=24830
- [11] Digitálne dvojča. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://sova.sk/riesenia/digitalne-dvojca/>
- [12] RFID - Rádio frekvenčná identifikácia. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.kodys.sk/rfid-radio-frekvenca-identifikacia>
- [13] Digitální dvojče: od koncepčního návrhu po zprovoznění. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/105401042-Digitalni-dvojce-od-koncepcniho-navrhu-po-zprovozneni-filip-nechvatal-siemens-plm.html>
- [14] Cloud. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cloud-computing>
- [15] Industrie 4.0. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <http://convitec.eklablog.com/industrie-4-0-a117882004>
- [16] Kritérium úspechu vo výrobe bude flexibilita. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <http://www.priemysel.info/domov/2018/2/26/kritriom-spechu-vo-vrobe-bude-flexibilita>
- [17] Ako rozbehnúť vo fabrike Industry 4.0. [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <http://www.priemysel.info/domov/2017/5/11/ako-rozbehn-vo-fabrike-industry>

- [18] MAREK, Jiří. Průmysl 4.0 – komplexní řešení. MM Průmyslové spektrum. 2018, roč.18, č.3, s.48, ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prumysl-4-0-komplexni-reseni.html>
- [19] Monotónna obsluha staršieho stroja zverená ramenu kolaboratívneho robota. [online]. [cit, 2019-01-23]. Dostupné z: <http://www.stimba.sk/monotonna-obsluha-starsieho-stroja-zverena-ramenu-kolaborativneho-robota/>
- [20] Universal robot UR5/UR5E. [online]. [cit, 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur5/>
- [21] IRB 120. [online]. [cit, 2019-01-23]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/sk/roboty/irb-120>
- [22] Kolaboratívne roboty zvýšili produktivitu a bezpečnosť spolupracovníkov. [online]. [cit, 2019-01-23]. Dostupné z: https://www.atpjournals.sk/rubriky/aplikacie/kolaborativne-roboty-zvysili-produktivitu-a-bezpecnost-spolupracovnikov.html?page_id=23396
- [23] Mobile robot colleagues on wheels increase productivity and worker safety at Scott Fetzer Electrical Group. [online]. [cit, 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.crossco.com/sites/default/files/2017-11/Control-Design-Scott-Fetzer-Electrical-Group-report.pdf>
- [24] The KUKA flexFELLOW installs pump wells. [online]. [cit, 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/07/solution-systems-bsh>
- [25] Automatizace a čtvrtá průmyslová revoluce. [online]. [cit, 2019-01-23]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9271.pdf
- [26] Co dokáže IIoT? . [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT>
- [27] industrial internet of things (IIoT) . [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT>
- [28] Robot nebo kobot? V čem se liší? . [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>
- [29] Bezpečnost kolaborativních robotů. [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/11040.pdf
- [30] KOLABORATÍVNE ROBOTY. [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: <http://www.mts.sk/produkt/kolaborativne-roboty/>
- [31] Cobots: The PCs Of The Robot Era. [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: <https://seekingalpha.com/article/4174021-cobots-pcs-robot-era?page=14>
- [32] Průmyslové roboty a manipulátory. [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [33] BionicCobot. [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_BionicCobot/en/files/assets/common/downloads/Festo_BionicCobot_en.pdf
- [34] Universal Robots UR5. [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.bluedanuberobotics.com/product/airskinfor-universal-robots-ur5/>
- [35] Robot s dvojíým uchopovačem zrychlil obsluhu CNC stroje. [online]. [cit, 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/robot-s-dvojitym-uchopovacem-zrychlil-obsluhu-cnc-stroje.html>
- [36] Demystifikace kolaborativních průmyslových robotů. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/demystifikace-kolaborativnich-prumyslovych-robotu.html>

- [37] You and me. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/sk/roboty/yumi>
- [38] UNIVERSAL ROBOT UR5/UR5E. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur5/>
- [39] PICOBOT. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/plus/end-effectors/picobot/>
- [40] GRIPKIT-CR. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/plus/end-effectors/gripkit-cr/>
- [41] LBR iiwa. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-my/products/robotics-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>
- [42] Active Foam Gripper Kit. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.active8robots.com/shop/active-foam-gripper-kit/>
- [43] Active Compliant Parallel Gripper. [online]. [cit, 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.active8robots.com/shop/active-compliant-parallel-gripper/>
- [44] Iniciativa průmyslu 4.0, [online]. [cit, 2019-04-9]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [45] Bezpečnost v systémech Průmyslu 4.0, [online]. [cit, 2019-04-9]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2016/07/bezpecnost-systemech-prumyslu-4-0.html>
- [46] V Průmyslu 4.0 výrazně vzroste důležitost IT bezpečnosti, [online]. [cit, 2019-04-9]. Dostupné z: <https://www.rmol.cz/novinky/v-prumyslu-40-vyrazne-vzroste-dulezitost-it-bezpecnosti>
- [47] „Manažment rizika pri konštruovaní strojových zariadení“, [online]. [cit, 2019-04-9]. Dostupné z: http://www.unms.sk/swift_data/source/dokumenty/skusobnictvo/odborne_seminare/interpretacia_smernice_ep_a_rady_2006_42_es_o_strojovych_zar/Ing.%20Hanko,%20Manazment%20rizika,%20Piestany,%202010.pdf

10 ZOZNAM POUŽITÝCH NORIEM/ NORMEN

- [N01] ČSN EN ISO 10218-1 (186502) A Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. Část 1, Roboty = Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots. Part 1, Robots. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [N02] ČSN EN ISO 10218-2 (186502) A Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. Část 2, Systémy robotů a integrace = Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots. Part 2, Robot systems and integration. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>

11 ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

Obrázok 1 Historický vývoj priemyslu	17
Obrázok 2 Koncept Priemyslu 4.0 a jeho súvislosti [3]	18
Obrázok 3 Porovnanie súčasnej výroby a výroby v zmysle Priemyslu 4.0 [1].....	19
Obrázok 4 CPS systém a jeho logické spojitosti [5]	20
Obrázok 5 Výhody Smart Factory [8].....	21
Obrázok 6 Model digitálneho dvojčat'a [11]	22
Obrázok 7 Porovnanie súčasnej výroby a výroby s digitálnym dvojčat'om [13]	23
Obrázok 8 Infraštruktúra Priemyslu 4.0 [2]	24
Obrázok 9 CPS systém – prepojenie IoT, IoP a IoS [15].....	25
Obrázok 10 IIoT a jeho kooperácia s priemyslom [28]	26
Obrázok 11 Hustota robotov v automobilovom a ostatnom priemysle [25]	28
Obrázok 12 Porovnanie predností priemysleného a kolaboratívneho robota [30].....	29
Obrázok 13 Vývoj a predpoveď predaja priemyselných a kolaboratívnych robotov [31].....	30
Obrázok 14 Popis kinematických dvojíc [32]	31
Obrázok 15 Translačné kinematické dvojice [32].....	31
Obrázok 16 Otočné kinematické dvojice bez obmedzenia uhlu [32].....	32
Obrázok 17 Rotačné kinematické dvojice s ramenom „r“ v náryse a pôdoryse a) bez obmedzenia uhlu natáčania kĺbu b) s obmedzením [32]	32
Obrázok 18 Kolaboratívny robot FESTO BionicCobot so 7 stupňami voľnosti [33].....	33
Obrázok 19 Otvorený kinematický reťazec [33].....	33
Obrázok 20 Kolaboratívny robot FESTO BionicCobot s akčnými členmi.....	34
Obrázok 21 Pracovný priestor kolaboratívneho robota UR5 [34]	34
Obrázok 22 Zakladanie výkovku do stroja [19]	35
Obrázok 23 Zavedenie UR 10 do prevádzky [23].....	36
Obrázok 24 Kuka flexxFELLOW pri montáži skrutiek v umývačke riadu [24].....	37
Obrázok 25 Kolaboratívny robot UR 5 obsluhujúci CNC stroj [35]	37
Obrázok 26 Dvojité uchopovač RG2 Dual Gripper od spoločnosti OnRobot [35]	38
Obrázok 27 Kolaboratívny robot ABB Yumi [37].....	40
Obrázok 28 Pracovný priestor cobota ABB Yumi [37]	40
Obrázok 29 Gripper na ABB Yumi [37]	41
Obrázok 30 Cobot UR 5 od spoločnosti Universal Robots [38]	41
Obrázok 31 Pracovný priestor robota UR5 [38]	42
Obrázok 32 Gripper spoločnosti PIAB AB [39]	42
Obrázok 33 Gripper spoločnosti Weiss Robotisc [40].....	43
Obrázok 34 Kolaboratívny robot KUKA IIWA 7 R800 [41]	43
Obrázok 35 Pracovný priestor KUKA IIWA 7 R800 [41].....	44
Obrázok 36 Gripper spoločnosti Active Robots pre KUKA IIWA 7 R800 [42]	44
Obrázok 37 Gripper spoločnosti Active Robots na valcovité predmety [43]	45
Obrázok 38 Sekvenčná spolupráca kolaboratívneho robota s operátorom [36].....	46
Obrázok 39 Variant A a B robotizovanej bunky	46
Obrázok 40 Variant C robotizovanej bunky	47
Obrázok 41 Mobilný pracovný stôl.....	47
Obrázok 42 Mobilná pracovná bunka	48
Obrázok 43 Pohľad na halu VUT FSI.....	49

Obrázok 44 Zobrazenie pracovnej bunky v priestoroch haly (software Vuforia).....	49
Obrázok 45 Mobilná pracovná bunka s operátorom	50
Obrázok 46 Snímanie QR kódu zo súčiastky	51
Obrázok 47 Spojenie dvoch súčiastok v jednu.....	51
Obrázok 48 Zjednodušený blokový diagram	54
Obrázok 49 Blokový diagram robotizovanej bunky	54
Obrázok 50 Graf pre odhad rizík [47]	60

11 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Konzept der Industrie 4.0 und seine Zusammenhänge [3].....	66
Abbildung 2 Infrastrukturindustrie 4.0 [2]	68
Abbildung 3 IIoT und seine Zusammenarbeit mit der Industrie [28]	70
Abbildung 4 Roboterdichte in der Automobilindustrie und anderen Industrien [25]	71
Abbildung 5 Entwicklung und Prognose industrieller und kollaborativer Roboter [31]	72
Abbildung 6 Einsetzen des Schmiedestück in die Maschine [19]	73
Abbildung 7 UR 10 in Betrieb umsetzen [23].....	74
Abbildung 8 Kuka flexxFELLOW bei der Montage der Schrauben in der Spülmaschine [24]	75
Abbildung 9 ABB Yumi Kollaborativer Roboter [37].....	77
Abbildung 10 ABB Yumi-Roboterarbeitsplatz [37]	78
Abbildung 11 Angebot der Gripper ABB Yumi [37].....	78
Abbildung 12 Sequenzielle Zusammenarbeit eines kollaborativen Roboters mit dem Bediener [36]	78
Abbildung 13 Variante A und B der Roboterzelle	79
Abbildung 14 Variante C der Roboterzelle	79
Abbildung 15 Mobile Arbeitstisch.....	80
Abbildung 16 Mobile Arbeitszelle	80
Abbildung 17 Blick in die VUT FSI Halle	81
Abbildung 18 Arbeitszelle im Hallenbereich anzeigen.....	82
Abbildung 19 Mobile Arbeitszelle mit dem Büro-Stuhl	82
Abbildung 20 QR-Code vom Teil scannen	83
Abbildung 21 Zwei Teile zu einem verbinden	84
Abbildung 22 Vereinfachtes Blockschaltbild	85
Abbildung 23 Blockschaltbild einer Roboterzelle	86
Abbildung 24 Risikoabschätzungskarte [47]	91

12 ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK

Tabuľka 1 Prehľad ponúkaných kolaboratívnych robotov na trhu	39
Tabuľka 2 Identifikácia relevantných nebezpečí	55
Tabuľka 3 Analýza významných nebezpečí.....	56
Tabuľka 4 Prehľad identifikovaných závažných nebezpečí.....	57
Tabuľka 5 Príklad formuláru pre mechanické nebezpečenstvo č. 3	62
Tabuľka 6 Ekonomické vyhodnotenie robotizovanej bunky	63

13 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Überblick über auf dem Markt angebotene kollaborative Roboter	76
Tabelle 2 Identifizierung relevanten Risiko	86
Tabelle 3 Analyse wesentlicher Gefahren.....	88
Tabelle 4 Übersicht über festgestellte Hauptgefahren	89
Tabelle 5 Beispiel für ein mechanisches Gefahrenformular Nr. 1	93
Tabelle 6 Wirtschaftliche Bewertung einer Roboterzelle	94

PRÍLOHA 1

[DVD]:\ukazkove_video

PRÍLOHA 2

Priložená analýza rizík v slovenskom jazyku, ktorá sa nachádza na konci väzby.

PRÍLOHA 3

Angehängte Risikoanalyse in deutscher Sprache am Ende des Buches.