



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

PRŮMYSL 4.0 V KONTEXTU S PRŮMYSLOVÝMI ROBOTY VE STROJÍRENSTVÍ

INDUSTRY 4.0 AND INDUSTRIAL ROBOTS IN MACHINERY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Kotrba

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Martin Kotrba
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2017/18

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 bakalářské práce:

Průmysl 4.0 v kontextu s průmyslovými roboty ve strojírenství

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem práce je podrobně se seznámit se současným stavem konstrukce a aplikace průmyslových robotů ve strojírenském průmyslu. Dále je nutné stav poznání začlenit do přijatých zásad a principů Průmyslu 4.0 v podmínkách ČR. Dalším úkolem je navrhnout ideový projekt pracoviště s průmyslovým robotem tak, aby byly zohledněny principy Průmyslu 4.0.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše současného stavu v oblasti nejčastěji používaných průmyslových robotů ve strojírenství (konstrukce a aplikace).

Zásady a principy Národní iniciativy Průmysl 4.0, vydané v září 2015. Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR, v kontextu Industry 4.0.

Projekt ideového návrhu pracoviště s průmyslovým robotem v podmínkách technické vysoké školy v souladu se zásadami a principy Průmysl 4.0.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 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: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této práce je vytvořit popsat zásady a principy iniciativy Průmysl 4.0 vadané ministerstvem průmyslu a obchodu. Vytvoření rešerši současného stavu průmyslových robotů a manipulátorů dle jejich konstrukce a aplikace. Navrhnout ideové robotické pracoviště v prostorách VUT, které by bylo v souladu s Průmyslem 4.0

ABSTRACT

The aim of this work is to describe the principles of the Industry 4.0 initiative defaced by the Ministry of Industry and Trade. Creating a search of the current state of industrial robots and manipulators according to their design and application. Design an ideological robotic workplace at BUT premises in kontekst with Industry 4.0

KLÍČOVÁ SLOVA

Průmysl 4.0, chytrá továrna, internet věcí, Big data, inteligentní senzory, virtuální realita, rozšířená realita, průmyslový robot, konstrukce a kinematika robotů, pohony robotů, koncové efekторы

KEYWORDS

Industry 4.0, Smart Factory, Internet Things, Big Data, Smart Sensors, Virtual Reality, Augmented Reality, Industrial Robot, Robot Design, Robot Drives, End Effectors

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOTRBA, M. *Průmysl 4.0 v kontextu s průmyslovými roboty ve strojírenství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 66 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25.5.2018

.....

Kotrba Martin

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za ochotu, trpělivost a cenné informace a své rodině pro morální podporu.

Dále bych chtěl poděkovat svým kolegům z firmy Bosch diesel s.r.o. za podklady a cenné rady v oblasti senzoriky a Průmyslu 4.0

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PRŮMYSL 4.0	17
2.1	Průmyslové mezníky	17
2.1.1	1. Průmyslová revoluce (18. století)	17
2.1.2	2. Průmyslová revoluce (druhá polovina 19. století)	18
2.1.3	3. Průmyslová revoluce (1969)	18
2.1.4	4. Průmyslová revoluce (2013)	18
2.2	Vznik iniciativy Industry 4.0	18
2.2.1	Největší propagátoři Průmyslu 4.0:	19
2.3	RAMI 4.0	19
2.3.1	Levá horizontální osa modelu RAMI 4.0	20
2.3.2	Pravá horizontální osa modelu RAMI 4.0	20
2.3.3	Vrstvy vertikální osy RAMI 4.0	20
2.4	Internet of things	21
2.5	Big data	21
2.5.1	Nejčastější zdroje big dat:	22
2.6	Inteligentní vyhodnocovací software (umělá inteligence)	22
2.7	Senzorika	22
2.8	Virtuální a Rozšířená realita	25
2.8.1	Virtuální realita	25
2.8.2	Rozšířená realita	27
2.9	Logistika	31
2.10	Průmysl 4.0 v České Republice	32
2.10.1	Důvody k zavedení principů Průmyslu 4.0:	32
2.10.2	Silné stránky ČR:	32
2.10.3	Slabé stránky ČR:	32
2.10.4	Hrozby pro ČR:	33
2.10.5	Výzva pro Česko	33
2.11	Negativní dopad Průmyslu 4.0 na společnost	34
3	PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY	35
3.1	Vývojové generace robotů	36
3.1.1	1. generace	36
3.1.2	2. generace	36
3.1.3	3. generace	36
3.1.4	4. generace	36
3.1.5	4.5. generace	36
3.2	Uspořádání kinematických vazeb	37
3.2.1	Roboty se sériovou kinematikou	37
3.2.2	Roboty s paralelní kinematikou (delta robot)	37
3.2.3	Hybridní roboty	38
3.3	Dělení robotů podle stupňů volnosti	38
3.3.1	Univerzální robot	38
3.3.2	Redundantní robot	38
3.3.3	Deficitní robot	39
3.4	Pracovní prostor robotu	40
3.4.1	Kinematický řetězec PPP	40

3.4.2	Kinematický řetězec RPP	41
3.4.3	Kinematický řetězec RRP	42
3.4.4	Kinematický řetězec RRR	42
3.5	Pohony průmyslových robotů	43
3.5.1	Elektrické motory	43
3.5.2	Hydraulické motory	44
3.5.3	Pneumatické motory	44
3.6	Přesnost robotů	45
3.7	Koncové efekty	45
3.7.1	Manipulační efekty	46
3.7.2	Technologické efekty	47
3.7.3	Kombinované efekty	47
3.7.4	Speciální efekty	47
3.8	Kolaborativní robot	47
3.8.1	ABB YuMi	48
3.9	Stručný popis vybraných robotů:	49
3.9.1	FANUC M-900iB/280L s rozšířeným dosahem	49
3.9.2	FANUC M-2 iA 6H	50
3.9.3	Fisnar F9000N	50
4	APLIKACE I4.0 NA ROBOTICKÉ PRACOVÍŠTĚ VUT	51
4.1	Popis pracoviště	51
4.2	Inteligentní senzory	52
4.2.1	Bezpečnostní a polohové senzory	52
4.2.2	Mechanické senzory	53
4.2.3	Průtokoměry	53
4.2.4	Energetické senzory	53
4.3	Kompatibilní virtuální model	53
4.4	Komunikační a vyhodnocovací infrastruktura - Internet věcí	55
4.4.1	Komunikace stroj–stroj	55
4.4.2	Komunikace člověk-stroj	55
5	ZHODNOCENÍ NÁVRHU ROBOTICKÉHO PRACOVÍŠTĚ 4.0	57
6	ZÁVĚR	59
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	65
8.1	Seznam zkratk:	65
8.2	Seznam obrázků	65
9	SEZNAM PŘÍLOH	66
9.1	Výkresy	66

1 ÚVOD

24.8. 2016 se vláda České republiky připojila do iniciativy Průmysl 4.0. Dlouhodobým cílem evropské iniciativy 4.0 je zavádění nových technologií do průmyslového segmentu pro zlepšení chodu jednotlivých firem, a ke zvýšení jejich konkurenceschopnosti proti rostoucím ekonomickým supervelmocem. Celková digitalizace firmy výrazně ulehčuje administrativní práci. Zároveň zlepšuje transparentnost jednotlivých zakázek, čímž eliminuje prostor pro korupci.

Kapitola 2. popisuje klíčové body Průmyslu 4.0. Tato část slouží primárně jako obecný přehled. Mezi jednotlivé parametry Průmyslu 4.0 patří: chytré továrny, internet věcí, práce s Big daty, inteligentní vyhodnocovací software, chytré senzory, virtuální a rozšířená realita a chytrá logistika. V závěru této kapitoly popisují klíčové faktory pro ČR při zavádění průmyslu 4.0.

Kapitola 3. slouží jako rešerše současných průmyslových robotů a manipulátorů. Rozebírá charakterizující prvky robotů a dělí je do jednotlivých skupin dle počtu kinematických vazeb, inteligence, pracovního prostoru, pohonů a aplikace. Ke konci této kapitoly popisují vybrané typy robotů.

Kapitola 4. je koncepční návrh aplikace Průmyslu 4.0 na robotické pracoviště v prostorách VUT FSI. Dle poznatku z 2. a 3. kapitoly navrhuji jednotlivé body, jak z daného pracoviště udělat pracoviště v souladu s Průmyslem 4.0.

V kapitole 5. zhodnotím návrh pracoviště, jestli má smysl na dané pracoviště zavádět Průmysl 4.0.

V závěru vyjádřím svůj celkový názor na Průmysl 4.0.

2 PRŮMYSL 4.0

V současnosti dochází k výraznému nárůstu zavádění automatických počítačových systémů do průmyslové výroby i do běžného života. Jde o snahu o vytvoření globálního propojení fyzické výroby do kyberneticky-fyzického systému CPS (Cyber-Physical system). Předpokládá se, že pomocí CPS vzniknou „chytré továrny“ (smart factory), které budou plně schopny autonomně pracovat. Pomocí sensoriky výrobního procesu a autonomního systému CPS dochází ke hromadění velkého množství informací (Big data). Z těchto dat dokáže předvídat změny či poruchy výrobního procesu a v reálném čase se jim přizpůsobit, což bude mít za následek individualizaci jednotlivých zakázek, tudíž zlepšení zákaznického servisu. Díky optimalizaci výrobního procesu se také sníží celkové náklady na provoz a údržbu.

Aplikací systému CPS na výrobek vznikne tzv. „inteligentní produkt“. Tento výrobek má vlastní identifikovatelné parametry jak v historii výrobního procesu, tak aktuálně během výroby. Díky „inteligentním produktům“ lze snadněji identifikovat zmetky a individualizovat přístup k požadavkům jednotlivých zákazníků. Celý proces výroby pak může zaměstnanec kontrolovat bez přímého kontaktu.

Kybernetizací výrobního procesu v celosvětovém měřítku se bude více dbát na globální problémy jako energetická účinnost, nedostatek surovin, ekologičnost a lidská práce. Snahou Průmyslu 4.0 je také eliminovat monotónii a těžkou manuální práci zaměstnance pomocí robotizace výroby, čímž mu bude dán prostor pro kreativní inteligentně náročnější práci. Nicméně tato práce vyžaduje, aby zaměstnanec sledoval nejnovější trendy v technologiích a průmyslu (celoživotní studium). Pracovní flexibilita bude mít pozitivní vliv na sociální a kariérní aspekty našeho života, což bude mít za následek zvýšení životního standardu. Tato utopická myšlenka je podmíněna zavedením funkčního provedení myšlenky Průmyslu 4.0.

Klíčová témata Průmyslu 4.0

- Internet of things, Big data, cloudové výpočty
- Chytrá sensorika
- Umělá inteligence
- Virtuální realita, rozšířená realita
- Komunikace a infrastruktura
- Robotizace výrobního procesu
- Dopady na společnost

2.1 Průmyslové mezníky

Časovou osu historických průmyslových mezníků popisuje obrázek 1).

2.1.1 1. Průmyslová revoluce (18. století)

Zavedení parního stroje (James Watt 1765) do výrobního procesu následovaný vznikem prvních továren. Díky zjednodušení výrobního procesu nebylo nutné, aby danou práci vykonávali vysoce kvalifikovaní pracovníci, ale stačilo, aby absolvovali jen krátké zaškolení. Důsledkem toho byl velký nárůst pracovních pozic. Bohužel nevýhodou té doby byl fakt, že společnost vyžadovala, aby pracovali i děti. V této době vznikl nový obor Strojírenství. [31]

2.1.2 2. Průmyslová revoluce (druhá polovina 19. století)

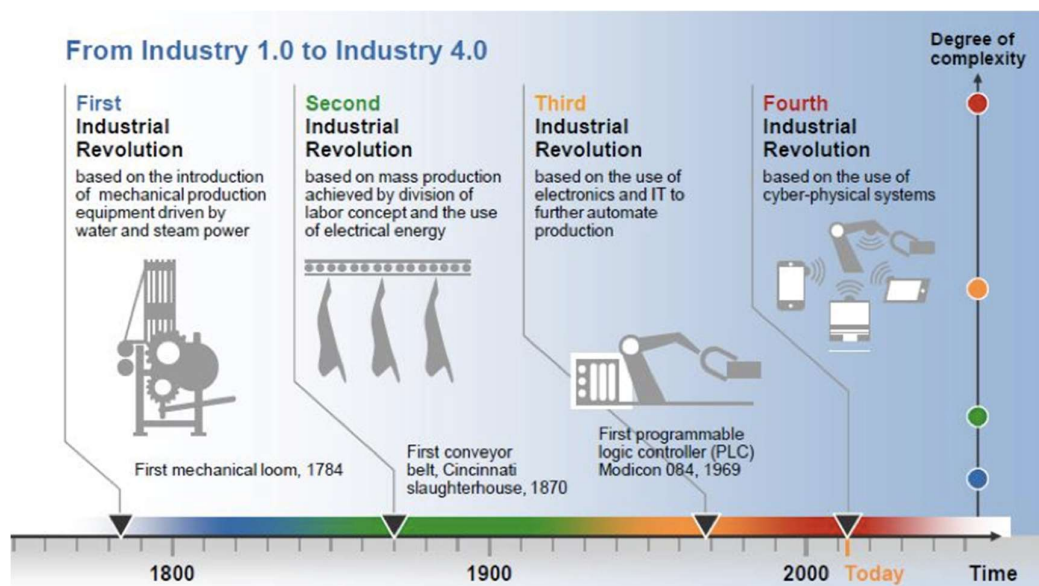
Charakteristikou 2. průmyslové revoluce je velký rozvoj ve vědě a technice. Vynálezy jako zážehový (Nicolaus Otto 1867) a vznětový motor (Rudolf Diesel 1892) nebo dynamo pro výrobu elektrické energie byli důležitým mezníkem v růstu průmyslu i společnosti. Především také dochází ke zlepšení lidského života (hygiena, kvalita vody a potravin), dopravě (vzducholoď, parník, lokomotiva) a komunikaci (telefon). Především dochází ke standardizaci výroby a technických materiálů. Negativním dopadem 2. technické revoluce je vysoká nedbalost na životní prostředí (Velký smog 1952, Londýn – první ekologická katastrofa, 12 000 obětí). Vznik nových povolání elektrikář a instalatér

2.1.3 3. Průmyslová revoluce (1969)

Mezníkem 3. průmyslové revoluce bylo nasazení počítačů a logických operátorů PLC. Především pak průmyslová automatizace a vznik prvních robotů a umělé inteligence. Vznik více pracovních pozic, které přímo nesouvisí s výrobním procesem (plánovač, technolog, programátor, koordinátor, marketingový poradce). Snižuje se fyzická náročnost práce a celkově se zlepšují pracovní podmínky zaměstnanců.

2.1.4 4. Průmyslová revoluce (2013)

Přirozený nárůst počítačových systémů, virtuálního prostoru, sběr a zpracování dat za účelem maximální efektivity.



Obr. 1) Časová osa průmyslových revolucí [34]

2.2 Vznik iniciativy Industry 4.0

Základní myšlenka Průmyslu 4.0 se objevila v roce 2011. V roce 2013 byl na strojírenském veletrhu v Hannoveru představen první koncept chytré továrny. Základ iniciativy Industrie 4.0 (přeloženo z němčiny: Průmysl 4.0) vytvořila firma Siemens ve spolupráci s německou vládou, především jako propagace technologického pokroku a zavedení nových technologií nejen do průmyslu, ale i do domácností (vznik termínu Smart house neboli chytrý dům).

Následně se k iniciativě přidali další evropské země a firmy, které sympatizují s myšlenou rozšíření robotizace, automatizace a digitalizace v průmyslu. Podstatou Průmyslu 4.0 je mimo jiné, snaha o konkurenceschopnost Evropy proti rostoucím ekonomickým supervelmocem jako Čína nebo Indie. Dále vytváří jednotnou terminologii (IOT – internet of things, IOS – internet of services, smart house, smart factory, AR – augmented reality) a určuje směr vývoje techniky a technologií.

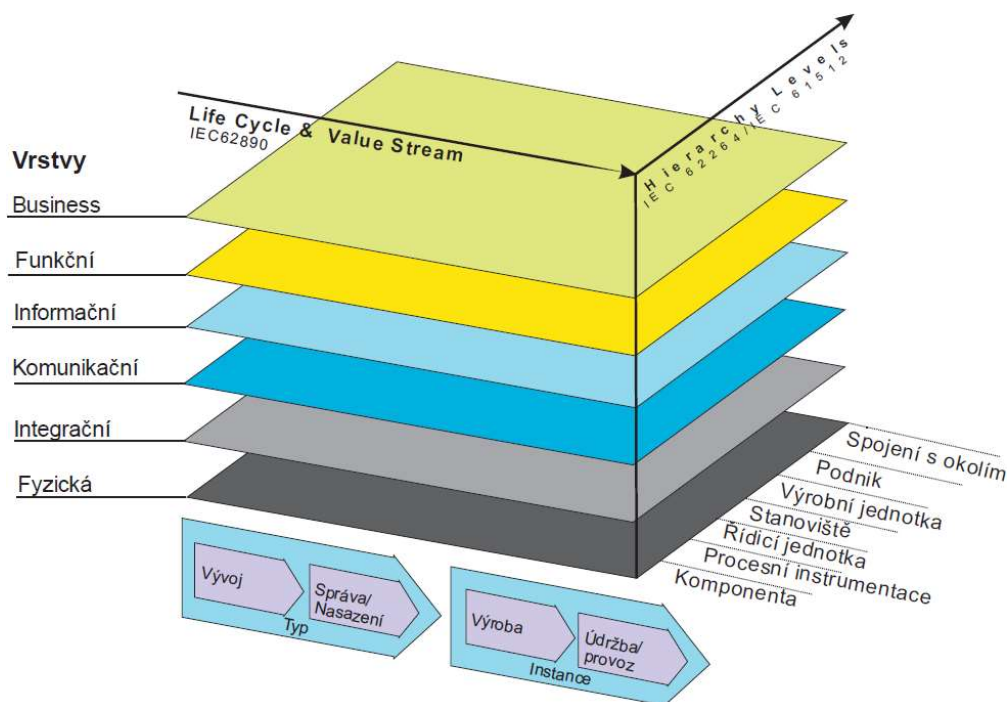
2.2.1 Největší propagátoři Průmyslu 4.0:

- Siemens
- Bosch
- Deutsch Bank
- SAS
- Maschinenfabrik Reinhausen
- Wittenstein
- BMW
- Volkswagen Group (Volkswagen, Seat, Audi, Škoda, Ducati)

2.3 RAMI 4.0

Standardizovanou platformu pro dělení jednotlivých aspektů Průmyslu 4.0 nabízí model Reference Architecture Model od Industry 4.0 (RAMI).

Model RAMI 4.0 (obrázek 2) popisuje v třírozměrném prostoru všechny základní parametry Průmyslu 4.0. Pomocí tohoto rozdělení lze rozdělit komplexní vazby do jednotlivých substruktur, které se pak mohou rozvíjet samostatně. [35]



Obr. 2) Rami 4.0 [35]

2.3.1 Levá horizontální osa modelu RAMI 4.0

Levá horizontální osa modelu RAMI znázorňuje životní cyklus výrobku. Totální digitalizací vývojového řetězce nabízí velký potenciál na zlepšení produktu a dalších úrovní Industry 4.0 skrz celý životní cyklus. [35]

2.3.2 Pravá horizontální osa modelu RAMI 4.0

Pravá horizontální osa znázorňuje Parametry Průmyslu 4.0. Jsou zde pouze funkční vlastnost jednotlivých komponent. Tato osa respektuje vlastní specifikaci komponent pro jednotlivé podniky, výrobní haly či dílny. Poslední pravá horizontální osa končí spojením s okolím (Connected World) aby byl zdůrazněn pohled na funkčnost z jiných úrovní než z jen jednoho pracoviště. [35]

2.3.3 Vrstvy vertikální osy RAMI 4.0

- **Fyzická vrstva** – Popisuje nejrůznější fyzické komponenty jako: vedení stroje, kovové součásti, mechanická a elektrická schémata, technickou dokumentaci apod. Skrz integrační vrstvu jsou tyto komponenty propojeny do virtuálního prostoru
- **Integrační vrstva** – Poskytuje informace o jednotlivých objektech pro jejich digitální zpracování. Zároveň poskytuje počítačové řízení výrobního procesu pomocí čidel a senzorů. Pomocí integrační vrstvy se každá podstatná událost (event) projeví ve virtuálním světě.
- **Komunikační vrstva** – Má na starosti standardizaci dat z informační vrstvy pro komunikaci s Integrační vrstvou.
- **Informační vrstva** – Udržuje kvalitu, šíření a tok dat vztahující se k jednotlivým událostem. Dále umožňuje třídění a zapisování jednotlivých událostí prostřednictvím servisního rozhraní.
- **Funkční vrstva** – Vytváří normalizovaný popis funkcí. Dále vytváří prostředí pro kontrolu funkčnosti technických a obchodních procesů. Ve funkční vrstvě jsou obsažena pravidla a logické rozhodování. Logické rozhodování probíhá pouze ve funkční vrstvě.
- **Bussines Layer (Bussinesová vrstva)** – Obsahuje regulační podmínky a vytváří pravidla, které musí systém dodržovat. Dále zajišťuje mapování obchodních modelů a podle nich utváří celkový proces. Bussines Layer pak propojuje všechny obchodní procesy. [35]

Model RAMI lze brát jako základní seznam požadavků na jednotlivé korporátní i mezinárodní standardy Průmyslu 4.0. předpokládá se, že se toto schéma bude dále rozvíjet o další parametry.

Kroky pro realizaci Průmyslu 4.0:

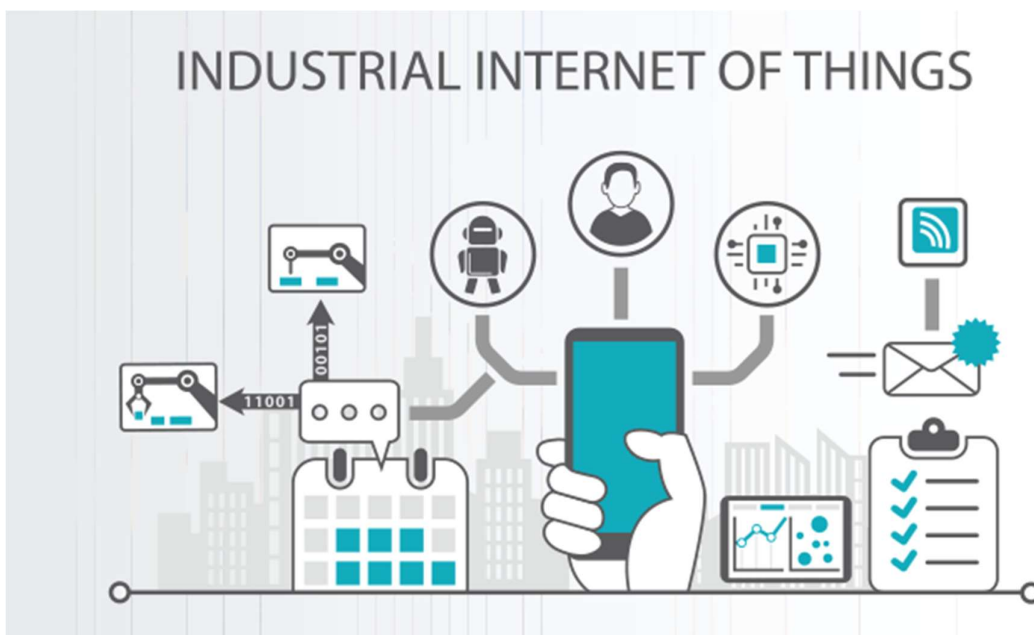
- **Identifikace** – Nustnost vymyslet jednotnou platformu pro autonomní vyhledávání zařízení v síti. Mnoho výrobců má vlastní standardy, které nejsou plně kompatibilní se zbytkem trhu.
- **Schématika** – Všichni výrobci by měli přistoupit na jednotnou schématiku, pro stálou výměnu informací mezi jednotlivými zařízeními.
- **Kvalita služeb** - Potřeba nadefinovat kritické hodnoty pro kvality jednotlivých služeb. Kritické parametry: komunikace, spolehlivost, přesnost synchronizace, pracovní výkonost atd.

Problém je, že v dnešní době existuje mnoho komunikačních platforem mezi stroji jako standard OPC UA nebo průmyslový Ethernet. Je nutno prozkoumat jejich výhody, a především nevýhody pro vymyšlení jednotné platformy pro realizaci Průmyslu 4.0. [35]

2.4 Internet of things

Internet věcí neboli Internet of things (IOT) je síť ke které jsou připojena veškerá elektronická zařízení např. mobilní telefony, auta, chytré spotřebiče, stroje, počítače atd. Každé z těchto zařízení je díky specifickému identifikačnímu značení jasně rozeznatelné. Pomocí připojení do internetové sítě mohou být tato zařízení monitorována a ovládána na dálku. Dále si mohou mezi sebou vyměňovat informace (obr. 3).

Aplikací internetu věcí do průmyslového segmentu vznikne platforma Industrial Internet of things (IIOT). Snahou Průmyslu 4.0 je připojit veškerá zařízení firmy (počítače, tiskárny, služební telefony, dopravníky, výrobní stroje, roboty atd.) do této sítě, aby spolu mohli jednoduše komunikovat. Dále by měl IIOT obsahovat sjednocenou databázi všech informací týkající se dané firmy. Je nutné, aby data, ke kterým má daný zaměstnanec přístup korespondovali s jeho pracovní pozicí (např. nelze aby řadový zaměstnanec měl přístup k citlivým datům firmy).



Obr. 3) Demonstrace propojení zařízení pomocí Industrial Internet of things [40]

2.5 Big data

O big datech hovoříme ve chvíli, kdy se objem dat začne pohybovat v pohybuje v pentabitech (10^{15} bit).

Množství dat každým rokem narůstá. S těmito daty se nesou i užitečné informace. Cena i provozní náklady na senzorská zařízení klesá. Tyto data často bývají pouze skladovány bez zpracování a využití. Během zpracování často se vyhodnotí jen několik parametrů, ale nikdy se nevyhodnotí všechny.

Tyto data se dají využít pro optimalizaci výrobního procesu, zvýšení bezpečnosti na pracovišti, logistiku, prevenci a predikci poruch, a především snížení provozních nákladů. Toto by měla vyřešit datová centra, která mají dostatečně velkou kapacitu pro zpracování všech big dat.

2.5.1 Nejčastější zdroje big dat:

- Internet of things
- Sociální sítě
- Čidla výrobního procesu
- Virtuální realita
- Logistika
- Bezpečnostní kamery
- Inteligentní senzory

S rostoucím počtem dat bude růst počet pracovních příležitostí v oblasti zpracování big dat a cloudových výpočtů. Již existují datová centra, která poskytují jak software, tak hardware pro komplexní výpočty a práci s big daty. Tyto specializované služby mohou snížit náklady především středním podnikům, které si vlastní datové centrum nemohou dovolit nebo nepotřebují hojně využívat datové služby. Vysoká kapacita HW pak má za následek, že se velká data mohou zpracovávat v reálném čase nebo pro simulaci komplexních výrobních procesů či zkoumání složitých fyzikálních jevů v oblasti školství.

Rizikem IOT je kybernetická bezpečnost. S rostoucím zaváděním služeb v oblasti informačních technologií bude riziko kybernetického útoku několikanásobně větší. Mezi nejčastější typy kybernetických útoků v průmyslu patří: krádež a zneužití dat, ochromení systému nebo vydírání. Z těchto důvodů je nutno vynaložit nemalé prostředky do kybernetické bezpečnosti. Toto opatření neplatí pouze v oblasti průmyslu ale i v osobním životě, proto je nutno aby nejen firmy ale i jednotlivé státy měly dostatečně velký stupeň kybernetické obrany.

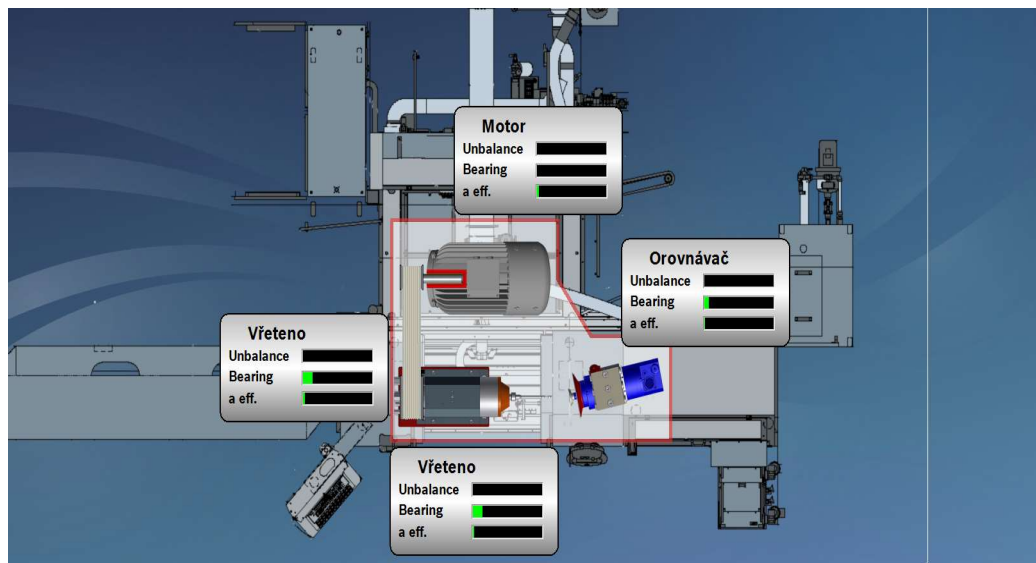
2.6 Inteligentní vyhodnocovací software (umělá inteligence)

Není možné, aby člověk vyhodnocoval enormní množství dat generovaného z internetu věcí. Tyto data bude vyhodnocovat inteligentní software. Snahou je vytvořit decentralizovanou univerzální platformu, která se přizpůsobí danému úkonu. Tento rozhodovací systém musí dbát na všechny vnější faktory (ekologičnost, bezpečnost, ekonomičnost) pro plynulý a flexibilní chod firmy. Klíčovým parametrem umělé inteligence je pak optimalizace chodu firmy na základě vyhodnocených dat naměřených chytrými senzory a ohled interakci člověk-stroj (kolaborativní robot). S rostoucí kognitivitou umělé inteligence se bude software přirozeně vyvíjet, čímž mu vzroste prediktivní vnímání.

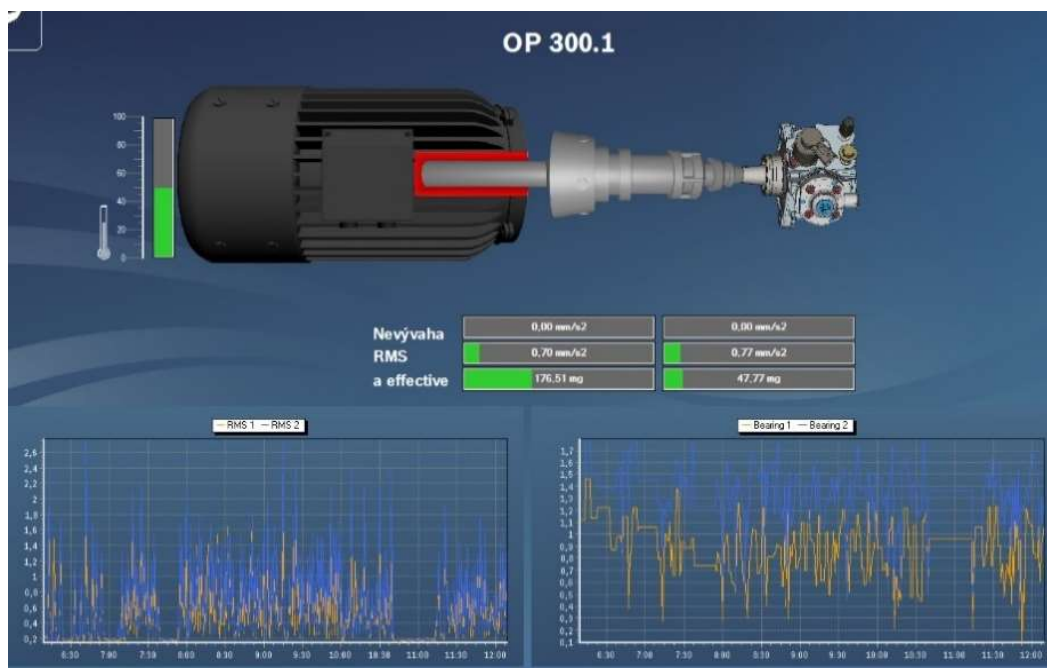
2.7 Senzorika

Multisenzorové systémy mají rozhodující roli při aplikaci Průmyslu 4.0. Jejich účelem je měřit klíčové parametry jako tlak, teplota (obr. 8), rychlost, zrychlení a polohu jednotlivých komponent, opotřebení (rozměry) nebo vibrace v co nejpřesnějších hodnotách. Snahou Průmyslu 4.0 je používat inteligentní senzory nejen na výrobním stroji, ale i na výrobek. Tím by každý výrobek měl vlastní dokumentaci o stavu a zpracování. Pomocí online měření se v případě výskytu anomálie pošle odpovědná osobě zpráva ve formě emailu, popř. SMS zprávy charakterizující daný problém.

Pomocí těchto inteligentních senzorů a umělé inteligence si výrobní linka může autonomně monitorovat, organizovat a upravovat výrobní proces pro dosažení maximální efektivity. Shromážděná data ze senzorů lze přenášet přímo do cloudu. To má za následek vysokou datovou transparentnost díky inteligentnímu standardizovanému rozhraní (obr. 4 - 7).



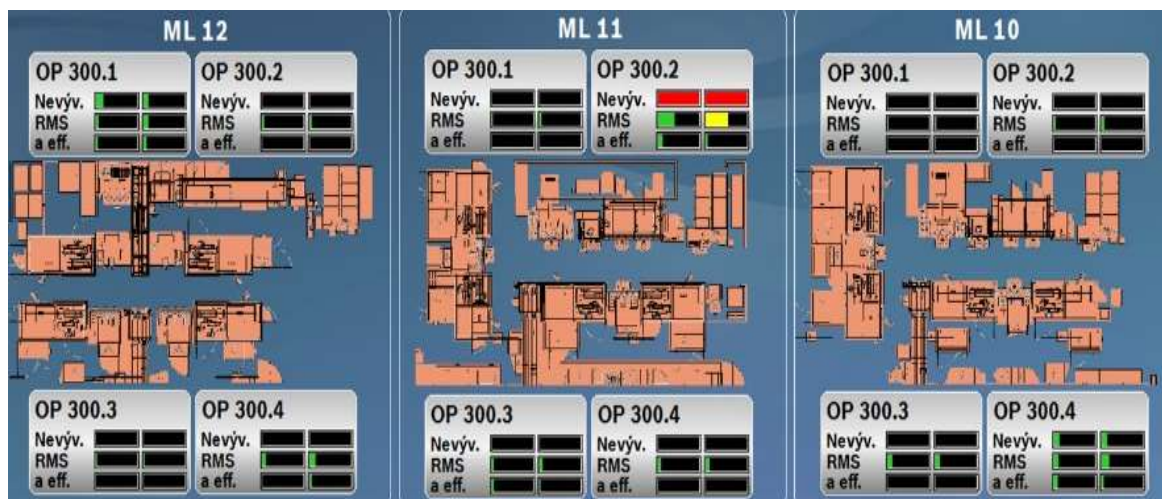
Obr. 4) Online diagnostika jednotlivých vřeten průmyslové brusky [41]



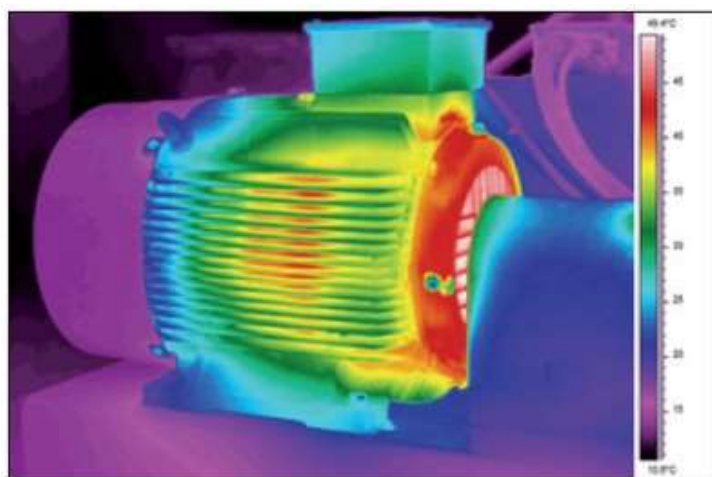
Obr. 5) Detailní diagnostika obráběcího vřetena v reálném čase [41]



Obr. 6) Rozhraní online vibrodiagnostiky obráběcích vřeten na strojích Grob BZ 550 ve firmě Bosch Diesel s.r.o [41]



Obr. 7) Data z oninediagnostiky vřeten přidělena k layoutu jednotlivých výrobních linek [41]



Obr. 8) Měření teploty pláště motoru pomocí termovize [42]

2.8 Virtuální a Rozšířená realita

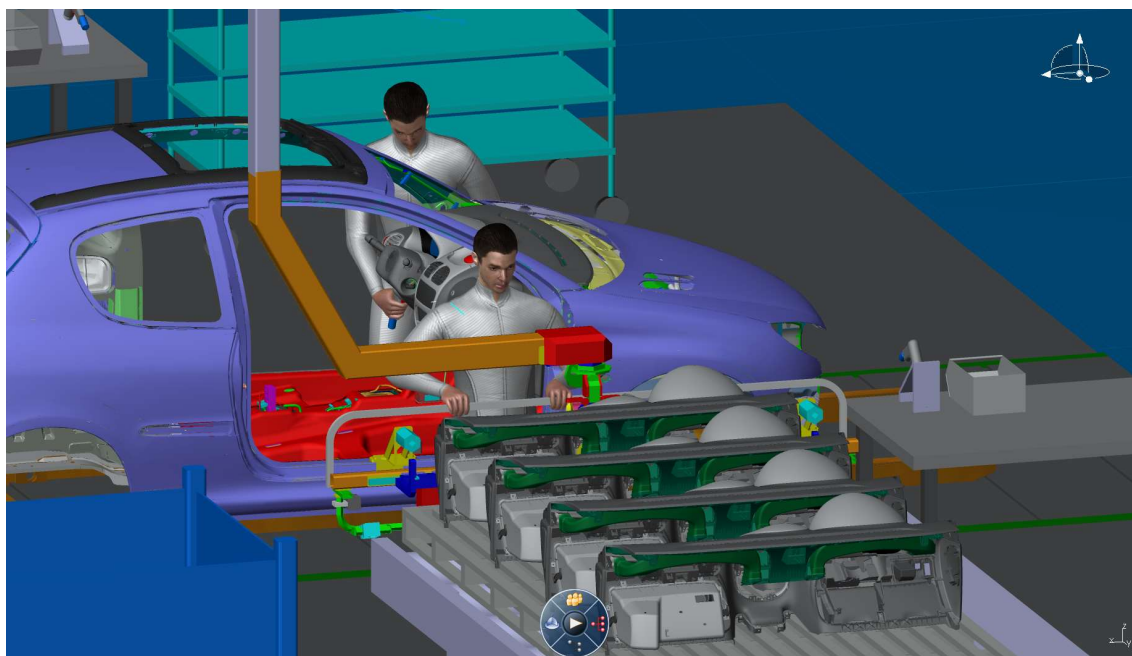
Virtuální a rozšířená realita má usnadnit práci především zaměstnancům v oblasti údržby a plánování výroby.

2.8.1 Virtuální realita

Virtuální realita (VR – virtual reality) je počítačově vytvořený umělý prostor nebo kopie reálného prostoru. Oproti standardnímu 3D modelu se zde může uživatel libovolně pohybovat bez omezení, jako by byl přímo na daném pracovišti. Nejčastějším způsobem pro připojení do virtuální reality je pomocí brýlí pro virtuální realitu: Oculus Rift (obr. 9), HTC Vive, PlayStation VR. nebo velké obrazovky snímající pohyb člověka prostřednictvím kamer nebo pohybových senzorů. Pokud bude VR dostatečně propracovaná může si uživatel přímo vyzkoušet práci na dané pozici ve virtuálním prostoru. Tato technologie má pravděpodobně největší význam v plánování polohy výrobních linek a jednotlivých pracovišť v hale. Dále aby měl zde pracovník dostatek prostoru a ergonomicky vyhovující pracoviště. Pomocí propracovaného VR modelu a načtených dat ze senzorů, kamer, čidel apod. lze vytvořit virtuální dvojče (obr. 10) reálného provozu celé výrobní haly. Tento model by pak sloužil ke kontrole výrobních procesů, revizím, simulacím apod. Nesmírnou výhodou je fakt, že člověk nemusí být ani fyzicky v dané hale, aby si ji prošel. Předpokládá se, že virtuální obraz bude dostupný na cloudu, tudíž k němu budou mít přístup pracovníci s dostatečnou kvalifikací, byť nutně nemusejí pracovat na daném závodě.



Obr. 9) Ilustrační zobrazení člověka ve virtuální realitě zprostředkované brýlemi Oculus Rift [43]



Obr. 10) Virtuální pohled na pracoviště montáže palubní desky v automobilovém průmyslu [44]

Aplikace virtuální reality v průmyslu

Tento systém má také velkou výhodu v evidenci vybavení. Pracovník hledající konkrétní součástku nemusí procházet celý sklad, pouze si do systému zadá, jaký typ součásti chce a ve virtuálním modelu se mu objeví její přesná poloha (obr. 11). Již dnes jsou ve firmách velmi populární automatizované dopravní vozíky pro převoz výrobků, jejich připojením do 3D světa pak snadno lze monitorovat jejich polohu, čímž se zamezí jejich kolizi, ať s jiným vozíkem nebo s objektem či člověkem.



Obr. 11) Ilustrační virtuální model skladu pro snadnější vyhledávání zboží [45]

2.8.2 Rozšířená realita

Rozšířená realita (AR – augmented reality) přidává do našeho zorného pole další virtuální obrazy, rozšiřující vlastnosti věcí či lidí kolem nás. Na rozdíl od virtuální reality AR je náš přímý vizuální kontakt pouze doplněný o další parametry z VR. Tato technologie spočívá v doplňování obrazu natočeného kamerou na monitor či jiného promítacího média v reálném čase.

Úspěch rozšířené reality

Největší ponětí o rozšířené realitě získalo lidstvo v roce 2016, kdy společnost Nintendo vydala telefoní aplikaci Pokémon Go. Spojením AR a animovaných zvířátek vznikl celosvětový fenomén, o kterém se mluvilo snad ve všech médiích, a to především její snadné dostupnosti na většině mobilních telefonů. Tato aplikace navýšila hodnotu akcií společnosti Nintendo o 20 % a jen za první týden po vydání předběhla v počtu aktivních uživatelů populární aplikace jako Twitter nebo Tinder. [32]

Technická náročnost rozšířené reality

Technická realizace AR je podmíněna dvěma faktory: 1. kde je uživatel 2. jakým směrem, resp. kam se dívá. Aby tato technologie správně fungovala je třeba kombinace polohových senzorů (GNSS/GPS, gyroskopy, akcelerometry) a datových přenašečů (primárně bezdrátových: Wi-Fi, Bluetooth) pro přenos datově náročných grafických algoritmů.

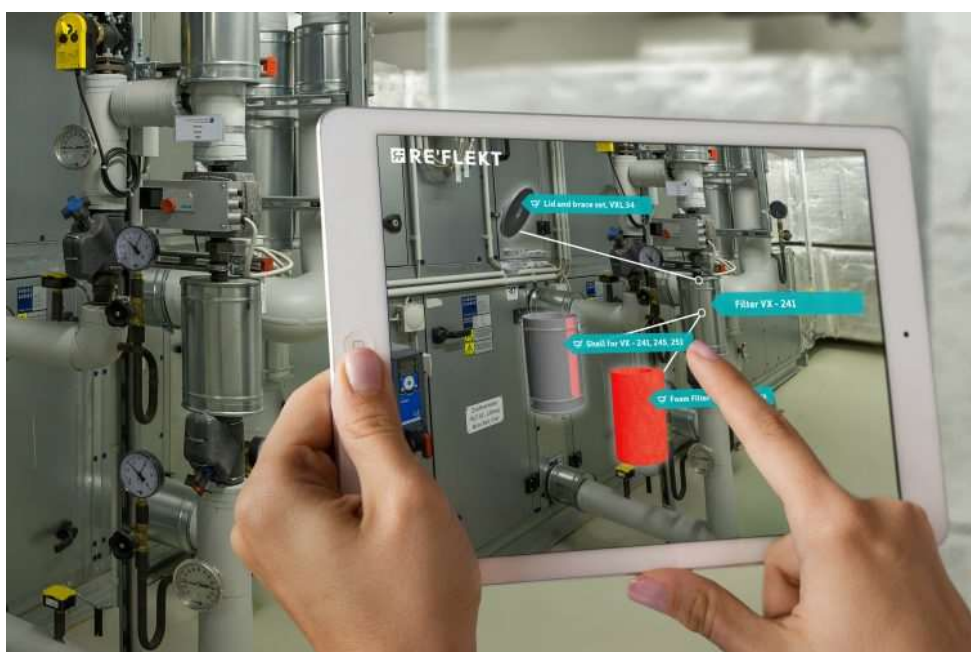
Vjem rozšířené reality dělíme na dva způsoby:

- Video see-through
- Optical see-through

Samotnou kapitolu v oblasti AR pak tvoří Light guide systém.

2.8.2.1 Video see-through (chytrý telefon, tablet)

Vizualizace se vkládá do videa promítaného na obrazovku zařízení (obr. 12). Přidané objekty bývají zpravidla přesněji přidány do videa. Pohled do rozšířené reality je totožný s pohledem uživatele. Zpracování obrazu může mít časovou prodlevu, tudíž záběr kamery nemusí být přímo totožný s obrazem na obrazovce. Zařízení je třeba držet v ruce nebo přidržovat pomocí podpor.



Obr. 12) Kontrola potrubí rozšířenou realitou technologií Video see-through [47]

2.8.2.2 Optical see-through (průhledové brýle, smart glasses)

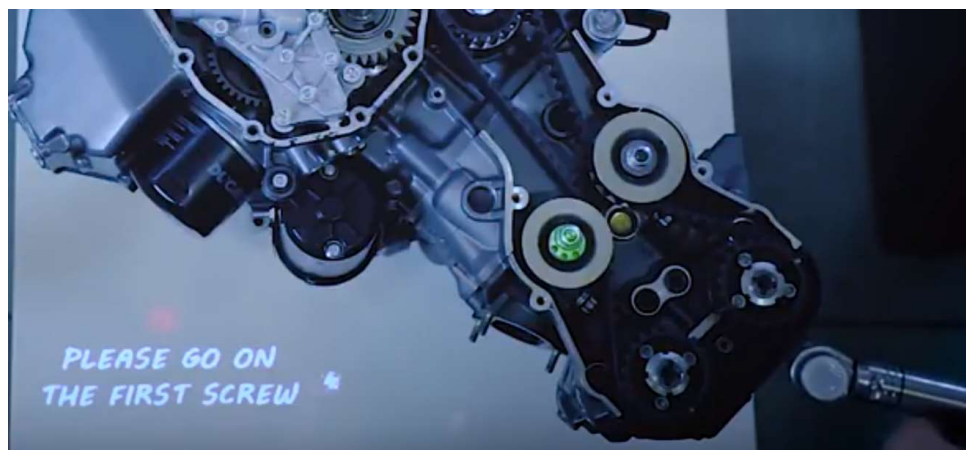
Přidaný obraz je promítán na čočky brýlí, skrz které se uživatel dívá (obr. 13). Finální pohled je tedy prostředkován vizuálním vjemem uživatele a projekcí na brýle. Výhodou projekčních brýlí je fakt, že uživatel má volné ruce, tudíž může vykonávat pracovní činnost bez omezení. Problémem je, že synchronizace obrazu nemusí odpovídat realitě. Tento problém je zaviněn rušivými signály, špatně nandanými nebo optimalizovanými brýlemi.



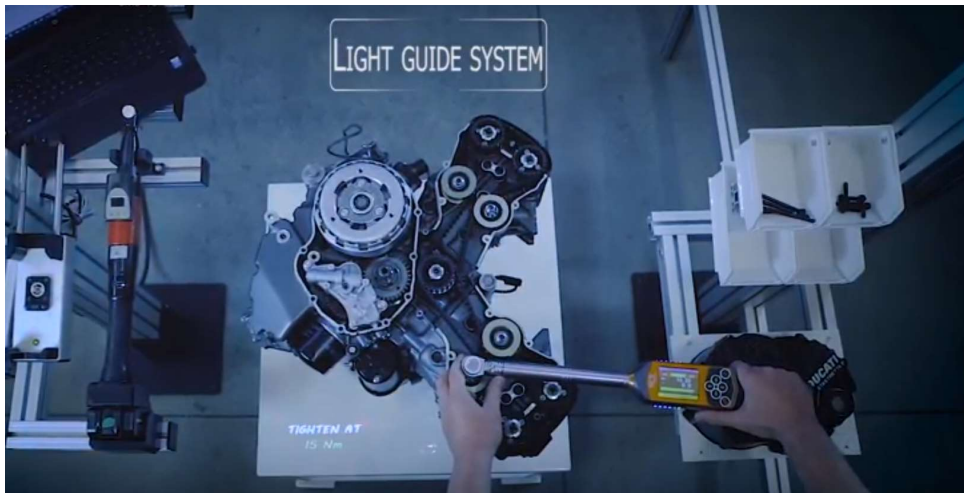
Obr. 13) Vizualizace elektroinstalace zprostředkovaná chytrými brýlemi [46]

2.8.2.3 Light guide systém

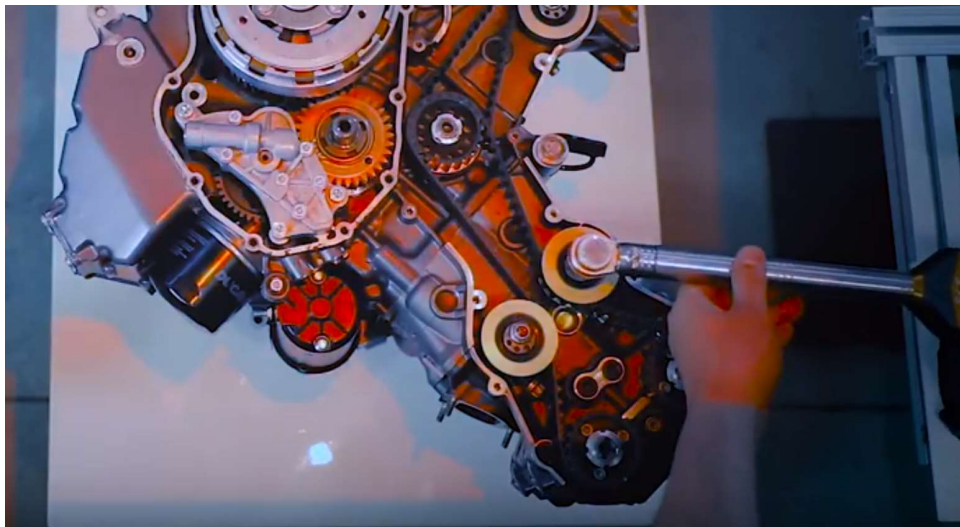
Nad pracovním stánkem je umístěn projektor, který na pracovní plochu promítá návod, co má pracovník v daném kroku udělat, např. vybrat konkrétní součástku nebo nástroj, přiložit správně díl, nanést lepidlo, utáhnout šrouby požadovaným momentem. Na volný prostor se promítá slovní zadání pracovního úkonu a zeleně osvětlí místo daného úkonu (obr. 14-15). Po správném provedení se ozve zvukový a světelný signál, značící správné provedení pracovní operace. Tento podpůrný systém je vhodný především pro montáž. Pokud pracovník at' omylem nebo úmyslně změní pracovní postup, projektor ho okamžitě upozorní výstražným zvukem a červeným světelným signálem (obr. 16). Mezi výhody této technologie patří eliminace faktoru lidské hlouposti. Jelikož kamera snímá pohyb pracovníka, projektor mu ukazuje pracovní postup krok po kroku a zavčas ho upozorní na chybu, je téměř nemožné, aby pracovník vlastní chybou znehodnotil výrobek. Rizikovou skupinou jsou především noví zaměstnanci a lidé s různými typy postižení. Funkčnost Light guide systému se odvíjí od přesnosti návržení snímacího a promítacího protokolu.



Obr. 14) Light guide systém říká pracovníkovi, aby utáhl zeleně svítící šroub [48]



Obr. 15) Pracovník má utáhnout šroub momentem 15 Nm [48]



Obr. 16) Pracovník vybral špatný šroub. Ihned je upozorněn výstražným světlem [48]

2.9 Logistika

Stávající logistické uvažování je téměř totožné s logistikou Průmyslu 4.0, nicméně snahou průmyslu 4.0 je decentralizace rozhodování z důvodu plynulejšího chodu. Efektivita závisí především na transparentnosti a dohledatelnosti. Dobře naprogramovaná aplikace pak upravuje přepravu v závislosti na vnějších (dopravní situace, počasí) a vnitřních faktorech (zpoždění, obsazení nakládajícího prostoru), čímž snižuje náklady na provoz, mzdy a palivo. Zároveň se snaží zkrátit dopravní časy, což vede ke spokojenosti zákazníka. Tyto metody jsou již dnes používány, nicméně je vyhodnocují vždy lidé, tudíž současná logistika nedokáže vyhodnotit veškeré okolní parametry. Momentálně jsou silně na vzestupu automatizované dopravní vozíky (obr. 17). Tyto vozíky mezi sebou komunikují prostřednictvím internetu věcí, tudíž každý z těchto dopravníků ví, kde se nacházejí ostatní, čímž se zamezí případné kolizi. Tato zařízení jsou také doplněna pohybovými senzory. Kdykoli se do jeho okolí dostane překážka (člověk, paleta, dopravník řízený člověkem), dopravník automaticky zastaví a upozorní zvukovým a světelným signálem.



Obr. 17) Automatizovaný dopravní vozík ve firmě Bosch Diesel s.r.o. [49]

Digitalizace dopravy je výborný marketingový tah, zákazník může kdykoli zjistit, kde se jeho objednávka právě nachází. Aplikace chytrých výrobků a jejich jednotného značení výrazně ulehčuje jejich dohledatelnost. Pro plynulý nástup logistiky 4.0 je důležité zlepšení komunikace mezi výrobou, kvalitou a expedicí, a především komunikace výrobce-zákazník.

2.10 Průmysl 4.0 v České Republice

Česká republika je země s bohatou průmyslovou historií. Z důvodu dlouholeté globální konkurenceschopnosti je jasné, že česká republika nesmí zaostávat oproti sousedním zemím. Jsme malá země s otevřenou ekonomikou, proto se očekává, že Česká republika se bude snažit aplikovat nejnovější trendy Průmyslu 4.0. Nicméně tato doba je také příležitostí k přesunutí z pozice konzumenta nových technologií do pozice inovátora. Česká republika je jednou z nejvíce průmyslově vyspělých zemí, proto by byla chyba tuto příležitost promarnit. Průmysl tvoří 45 % celkové ekonomiky vy ČR, proto si stát nemůže dovolit, aby zde průmysl zaostával. Tudíž musí vynaložit nemalé prostředky pro podporu tuzemských firem především v odvětvích jako: IT, elektronika, elektrotechnika, strojírenství, a také podpořit vysoké školy a výzkumu v těchto segmentech. [38]

2.10.1 Důvody k zavedení principů Průmyslu 4.0:

- Zvýšení produktivity práce (až o 32 %)
- Snížení počtu zaměstnanců (v oblasti manuální práce a rutijní administrativy)
- Tlak obchodních partnerů, zákazníka
- Ulehčení práce zaměstnancům
- Digitalizace, transparentnost, zjednodušení komunikace
- Nepropásnout příležitost být jedním z inovátorů (nezaostávat za konkurencí) [38]

2.10.2 Silné stránky ČR:

- Spolupráce tuzemských podniků se světovými technologickými inovátory
- Pobočky nadnárodních korporací v ČR
- Flexibilita malých a středních firem
- Inovační potenciál
- Snaha zaměstnanců o celoživotní studium
- Velká základna v oblasti průmyslových robotů a automatizace
- Vysoká úroveň vysokých škol a akademie věd
- Vysoká kvalita výzkumu v oblasti kybernetiky, umělé inteligence, počítačové grafiky (VR, AR) a robotice
- Meteorologicky a geograficky stabilní poloha vhodná pro výstavbu datových center
- Politika otevřená velkým investicím [38]

2.10.3 Slabé stránky ČR:

- Nedostatečné povědomí o negativním dopadu Průmyslu 4.0
- Neschopnost státu v oblasti určování směru české ekonomiky, rozvoje digitální infrastruktury, podpory vysokých škol a aplikovaných věd
- Nízká podpora státu začínajícím firmám
- Špatné využití informačních systémů v praxi
- Nedostatečný zájem studentů o obory zpracování dat a počítačové grafiky
- Nízký kapitál malých a středních firem pro zavedení Průmyslu 4.0
- Nedostatečná motivace pro využití inovací

- Nedostatečné využití potenciálu nových technologií
- Nízká míra využití poznatků z výzkumu v praxi [38]

2.10.4 Hrozby pro ČR:

- Celková orientace státu pouze na jeden průmyslový segment
- Populistický přístup politických stran bez reálných výsledků
- Růst nezaměstnanosti
- Odchod vysoce kvalifikovaných odborníků do zahraničí kvůli nedostatečnému zázemí a finančním podmínkám
- Nedostatečná kybernetická bezpečnost
- Vytváření vlastních komunikačních platforem, pokud již na trhu existuje univerzální
- Vysoká konkurence v oblasti datových center od nadnárodních korporací
- Vytvoření dotačního fenoménu, který je náchylný na zpronevření dotací [38]

2.10.5 Výzva pro Česko

Nejdůležitější je, aby Česká Republika nezaostala oproti ostatním zemím v oblasti inovátorství. Přirozeně to bude obnášet nemalé investice do vývoje datové infrastruktury, podpory firem, výzkumu a školství. Pokud tak Česko neučiní, je možné bude ekonomicky odizolováno od našich největších obchodních partnerů (západní Evropa). Dále se musí připravit na dynamické změny trhu a s předstihem monitorovat a vyhledávat nové tržní příležitosti.

2.11 Negativní dopad Průmyslu 4.0 na společnost

Silným negativním dopadem Industry 4.0 může být paradoxně snaha o maximální efektivitu. Digitalizací mezilidské komunikace se o podstatnou část zefektivní pracovní doba zaměstnance. Tím může zaměstnanec vykonávat v pracovní době více, než je jeho rámec působnosti, čímž podmiňuje zaměstnavatele ke snižování stavů, protože práci, kterou dříve vykonávalo více zaměstnanců, nyní dokáže vykonávat pouze jeden zaměstnanec (př. skladník). Tudiž výrazné zefektivnění chodu firem může mít devastační dopad na lidskou společnost. Osobně pozoruji, že podstatné množství pracovní náplně v kanceláři je založeno na zprostředkování komunikace. Nasazení univerzální komunikační platformy by tudíž mohla většinu z těchto zaměstnanců připravit o práci. Dnešním trendem je fakt, že někteří zaměstnanci je nuceni vykonávat práci, kterou dříve vykonávalo více osob, ale je finančně ohodnocen jen jedním platem. To může vést ke zvýšení frustrace zaměstnance, čímž se sníží jeho morálka a produktivita. Je jasné, že frustrovaný zaměstnanec si bude svou negativní náladu přinášet i do osobního života, tudíž nemůže vést spokojený život. Navíc takto mentálně vytížený zaměstnanec pak silně zvažuje podání výpovědi. Proto by zaměstnavatel měl vždy dbát ohled na spokojenost svých zaměstnanců.

Přirozeným brzdícím elementem zavádění průmyslu 4.0 je lidská neochota pracovat nad rámec své pracovní náplně a především vědomá, či nevědomá snaha tento pokrok zpomalit kvůli přirozenému pudu sebezáchovy. Je to naprosto pochopitelné, že člověk nechce vymýšlet věc, která by ho měla v bližší době nahradit. Je důležité, aby digitalizace (zavádění prvků průmyslu 4.0) nebyla další přítěží pro zaměstnance, které vyžaduje vedení firmy, ale především usnadnění práce řadovým zaměstnancům. Spousta firem nemůže přejít na Průmysl 4.0 kvůli nedostatečnému kapitálu.

3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY

Robot je počítačově řízený integrovaný systém, který je schopný autonomní či cílené interakce s okolním prostředím. Robot vykonává práci dle instrukcí člověka. Interakce robota s prostředím je uskutečněna pomocí senzorických zařízení, díky čemuž je schopen se orientovat, pohybovat a manipulovat s předměty ve svém okolí. Průmyslový robot musí být vždy ohraničen ochranou klecí, aby nedošlo k případné kolizi s člověkem.

Důvody nasazení robotů do průmyslu:

- Rychlost a opakovatelná přesnost (nižší zmetkovitost, vyšší produktivita)
- Pružnost a automatizace výroby
- Práce v nepřetržitém provozu
- Ulehčení práce zaměstnancům (vykonávání těžké a jednotvárné práce)
- Snížení výrobních nákladů (návratnost investice do robota cca 2 roky)
- Zvýšení bezpečnosti na pracovišti
- Schopnost pracovat v omezených a nepříznivých podmínkách (toxicita, teplota)
- Vzájemná komunikace mezi jednotlivými zařízeními

Aplikace průmyslových robotů:

- Manipulátory (výměna nástroje, manipulace s výrobkem a součástkami)
- Svařovací jednotky
- Lakovací jednotky
- Speciální

Přední výrobci průmyslových robotů:

- FANUC
- Yasakawa
- ABB
- Kawasaki
- Kuka
- Stäubli
- Mitsibishi

Je mnoho typů a variací průmyslových robotů, proto neexistuje universální hierarchie pro jejich dělení. Nejčastěji se dělí podle těchto kritérií:

- Vývojové generace (inteligence)
- Uspořádání kinematických vazeb
- Stupně volnosti
- Pracovní prostor
- Pohony

Nejrozšířenějším typem robota je univerzální šestiosý robot s lineárním řetězcem šesti rotačních vazeb (6° volnosti) poháněn elektrickými servomotory.

3.1 Vývojové generace robotů

Jednotlivé generace popisují inteligenční pokrok v robotice od zavedení prvních robotů po současnost. Některé stroje však mohou mít prvky dvou generací např. 2. a 3.

3.1.1 1. generace

Robot s pevně daným programem, který se cyklicky opakuje. Tento typ je snadno programovatelný, proto se používá jako univerzální robot. Nedisponují sensorikou okolí, proto z bezpečnostních důvodů musí pracovat v uzavřeném prostoru (bezpečnostní klec). Nejčastěji se používá pro manipulační práce.

3.1.2 2. generace

Složitější program než u první generace. Je vybaven optickými, hmatovými a polohovými senzory (vnímá okolí). Pro chod potřebuje vlastní řídicí jednotku.

3.1.3 3. generace

Mimo standardní program jsou vybaven prvky umělé inteligence. Díky umělé inteligenci a sensorice okolí jsou schopny učit se a přizpůsobovat se okolním podmínkám. Tento typ robotu je programově náročnější.

3.1.4 4. generace

4. generace robotů má vyšší stupeň umělé inteligence. Disponují lepšími vlastnostmi v oblasti vnímání okolního prostředí.

3.1.5 4.5. generace

V současnosti nejpokročilejší typ robotů. Míra umělé inteligence je natolik vysoká, že robot může pracovat v bezprostřední blízkosti člověka bez ochranné klece. Roboty 4.5. generace jsou také známi jako kolaborativní roboti nebo koboti.

3.2 Uspořádání kinematických vazeb

Z hlediska uspořádání kinematických vazeb rozlišujeme roboty se sériovou a paralelní kinematikou. Jednotlivá uspořádání pak obliňují rychlost, přesnost a velikost pracovního prostoru robotu.

3.2.1 Roboty se sériovou kinematikou

Skládající se ze sériově uspořádaných kinematických vazeb s otevřeným kinematickým řetězcem (open-loop chain). Tyto vazby mohou být translační nebo rotační. Výhodou tohoto typu je velký dosah stroje (obr. 18).



Obr. 18) Univerzální šestiosý sériový robot FANUC M-900iB/280 [51]

3.2.2 Roboty s paralelní kinematikou (delta robot)

Při stejném počtu kin. vazeb mají stejný počet stupňů volnosti jako sériové roboty. Kinematické uspořádání tvoří uzavřený řetězec (closed-loop chain). Nejčastějším typem uspořádání je paralelní trojice dvou sériových rotačních vazeb (obr. 19). Díky paralelnímu uspořádání tento typ robota bývá přesnější a rychlejší než sériový robot, nicméně jeho dosah je výrazně menší a je určen jen pro manipulaci s lehkými břemeny.



Obr. 19) Paralelní robot FANUC M-2 ia 6H [50]

3.2.3 Hybridní roboty

Roboty s hybridní kinematikou jsou kombinací sériových a paralelních řetězců kinematických vazeb.

3.3 Dělení robotů podle stupňů volnosti

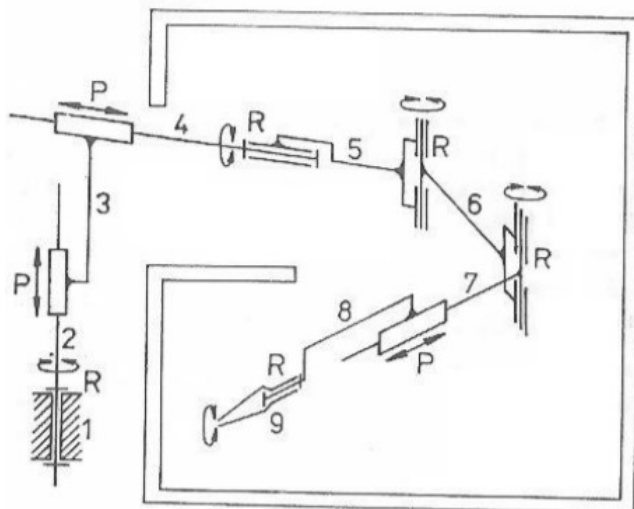
Závislost dělení dle stupňů volnosti se odvíjí od počtu kinematických vazeb, což charakterizuje schopnost robota pohybovat se v prostoru

3.3.1 Univerzální robot

Nazývá se univerzálním, protože má 6 stupňů volnosti, tudíž se může pohybovat v libovolném směru (3 směry translace a 3 osy rotace). Jde o nejpoužívanější typ robota, co se týče stupňů volnosti (obr. 18).

3.3.2 Redundantní robot

Disponuje více jak šesti stupni volnosti. Může se pohybovat jako univerzální robot ve všech směrech ale díky většímu množství kinematických vazeb, se v daném prostoru dokáže pohybovat výrazně obratněji. Uplatní se ve stísněných prostorách a v místech s hodně překážkami. (obr. 20)



Obr. 20) Kinematické schéma redundantního robota s 9 stupni volnosti pracujícím v uzavřeném prostoru [5]

3.3.3 Deficitní robot

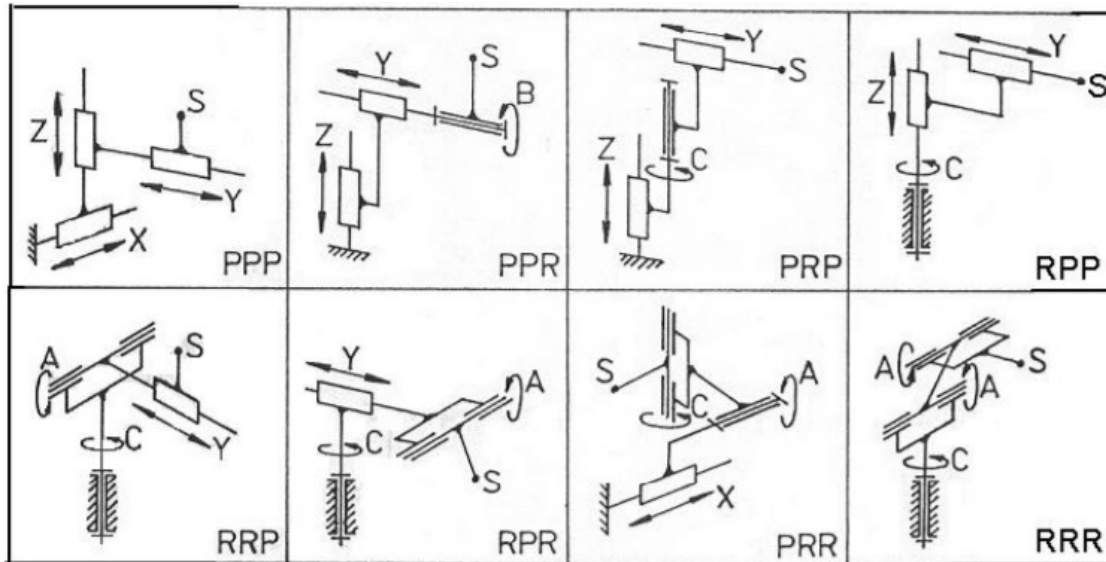
Některé operace nevyžadují robota s šesti stupni volnosti, pro tyto případy je vhodný deficitní typ robota, který má méně jak šest stupňů volnosti. Typickým případem aplikace deficitního robota je práce v jedné rovině s omezeným pracovním prostorem. Příkladem deficitního robota je robot Scara se 3-4 stupni volnosti (obr. 21).



Obr. 21) Čtyřosý Scara robot ABB IRB 910SC [52]

3.4 Pracovní prostor robotu

Pracovní prostor robotu je množina jednotlivých bodů, kam může dosáhnout koncovým efektořem (kleště, svařovací pistole, viz kapitola 3.7). Závisí na typu a uspořádaní jednotlivých kinematických vazeb. Pro realizaci prostorového pohybu je třeba alespoň jednu kinematickou vazbu pro každou osu kartézského souřadného systému (x, y, z). Dílčí pohyby zprostředkované kinematickou vazbou mohou být buď translační (posuvné – P) nebo rotační (R). Tudíž lze říci, že existuje $2^3=8$ možných kinematických řetězců pro obecný pohyb v prostoru (obr. 22). Některé řetězce jsou v technické praxi daleko složitější pro realizaci a ani by neměly vhodné využití.



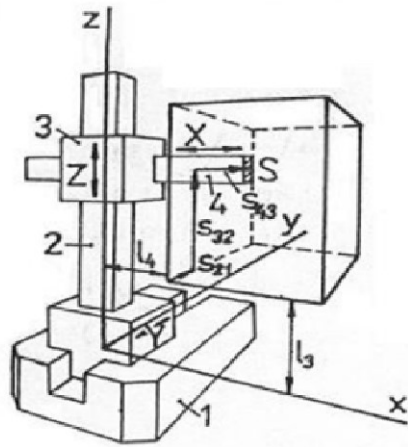
Obr. 22) Možné uspořádaní kinematických řetězců v prostoru [5]

Nejčastější typy řetězců průmyslových robotů:

- PPP
- RPP
- RRP
- RRR

3.4.1 Kinematický řetězec PPP

Robot typu PPP (kartézský) nejčastěji bývá realizován formou stavebnice. Stavebnicová koncepce má výhodu v tom, že téměř vždy pracovní prostor splňuje přesné požadavky zákazníka, protože si sám může vybrat z katalogu výrobce délky jednotlivých os. Pracovní prostor je obecný kvádr (obr. 18), jeho rozměry jsou ovlivněny velikostmi lineárních os, po kterých se pohybuje.



a)

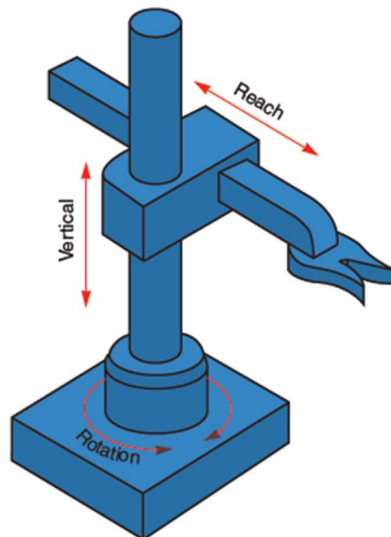


b)

Obr. 23) a) Perokresba kinematiky PPP [5] b) Robot F9000N se stavebnicovou konstrukcí [2]

3.4.2 Kinematický řetězec RPP

Konstrukce robotu typu RPP (cylindrický) je realizována pomocí centrálního vertikálního sloupu, po kterém se pohybuje robotické rameno. Tato konstrukce umožňuje pokrytí velké plochy. Pracovním prostorem je válec (obr. 24).



a)

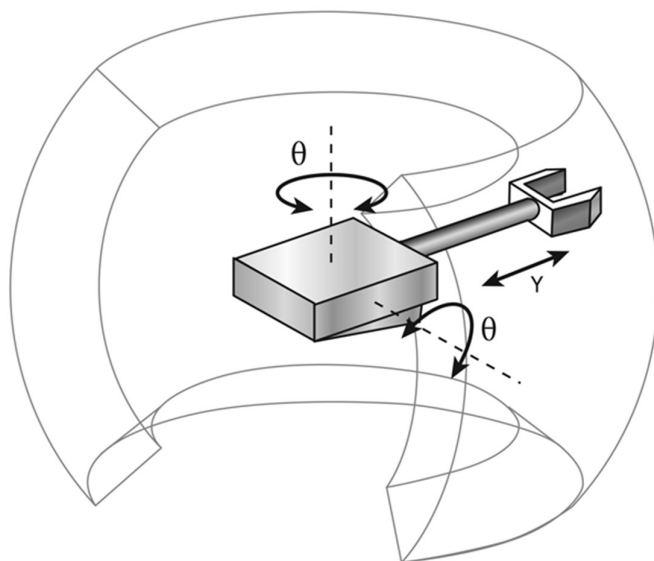


b)

Obr. 24) a) Model robotu typu RPP [54] b) robot DENSO s kinematikou RPP [53]

3.4.3 Kinematický řetězec RRP

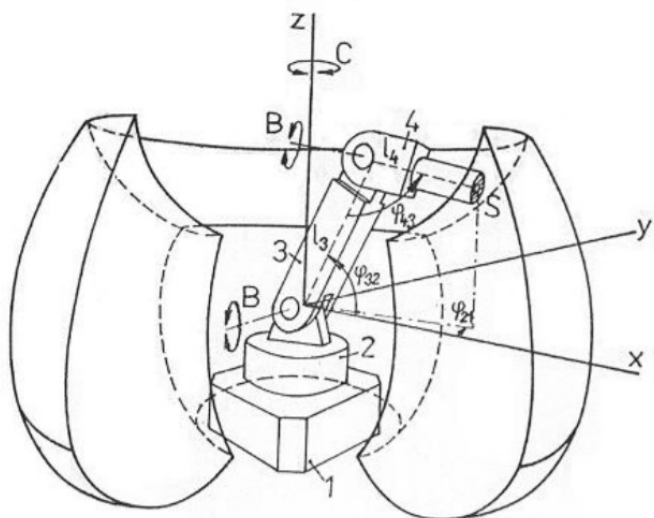
Pracovním prostorem robotu RRP (sférický, polární) je koulový prostor jehož poloměr je omezen délkou výsuvného ramene (obr. 25). Jedinou vhodnou aplikací robota tohoto typu je práce ve sférickém prostředí.



Obr. 25) Pracovní prostor RRP robotu [55]

3.4.4 Kinematický řetězec RRR

Kombinace tří sériových rotačních vazeb vytváří pracovní prostor připomínající anuloid. Tato koncepce je v praxi nejpoužívanější, tvoří základ univerzálních robotů (6 rotačních vazeb). Výhody tohoto provedení jsou: snadnější výroba oproti ostatním typům kinematických řetězců, a především lepší pohyblivost v prostoru (obr. 26).



Obr. 26) Pracovní prostot robotu RRR [5]

3.5 Pohony průmyslových robotů

Pohonné jednotky jsou klíčovým parametrem průmyslových robotů. Vlastnosti robotu jako přesnost a nosnost přímo souvisejí v parametry jeho motorů.

Obecné parametry motorů pro průmyslové roboty:

- Vysoká polohovací přesnost a rychlost + snadná změna směru pohybu
- Dostatečně plynulý rozběh a brzdění
- Minimální hmotnost a moment setrvačnosti
- Malé rozměry a vhodné prostorové uspořádání
- Vysoký měrný výkon

Mimo obecných parametrů se musí dbát na specifické požadavky pro aplikaci robotu a manipulátoru. Maximální rychlost pohybu robotu je dána technologickým postupem a zpravidla nevyžaduje vysoké rychlosti. Kdežto Produktivita manipulátoru je přímo úměrná jeho pracovní rychlosti (snaha o nejkratší možný čas cyklu). V současné době se maximální manipulační rychlosti pohybují kolem 5 m/s, nicméně je nutné, aby měl manipulátor dostatečně plynulý chod, aby nedošlo k narušení bezpečného úchopu výrobku nebo jeho porušení. Maximální rychlost robotu ovlivňuje především jeho maximální nosnost, čím lehčí břemeno tím rychlejší posuv a naopak. Během provozu robotu vznikají vibrace a rázy, proto musí mít dostatečně velkou tuhost konstrukce, aby nedocházelo k jeho opotřebení.

Rozdělení motorů robotů:

- Elektrické
- Hydraulické
- Pneumatické

3.5.1 Elektrické motory

V současnosti jsou nejpoužívanějším pohonem robotů elektrické servomotory (obr. 27a). Tento typ motorů se používá u většiny robotů se střední nosností a CNC strojů.

Výhody:

- Jednoduché řízení a možnost napájení
- Přesnost
- Snadná dostupnost elektrické energie
- Nízké pořizovací náklady a náklady na údržbu
- Přesnost
- Čistý provoz s nízkou hlučností

Nevýhody:

- Vysoká náročnost na přesnost jednotlivých komponent
- Závislost na elektrické energii
- Nebezpečí úrazu el. proudem

Elektromotorů existuje velké množství v závislosti na druhu napětí (stejnoseměrné/střídavé), kmitočtu (synchronní, asynchronní), pohybu (lineární/rotační), výkonu (W – desítky kW). U průmyslových robotů se zpravidla používá rotační synchronní třífázový motor s permanentními magnety na rotoru.

3.5.2 Hydraulické motory

Společně s pneumatickými motory patří so skupiny tekutinových motorů. Využívá zákonů hydromechaniky. Jako pracovní médium se nejčastěji používají minerální oleje. Největší uplatnění mají jako manipulátory s těžkými břemeny (obr. 27b).

Výhody:

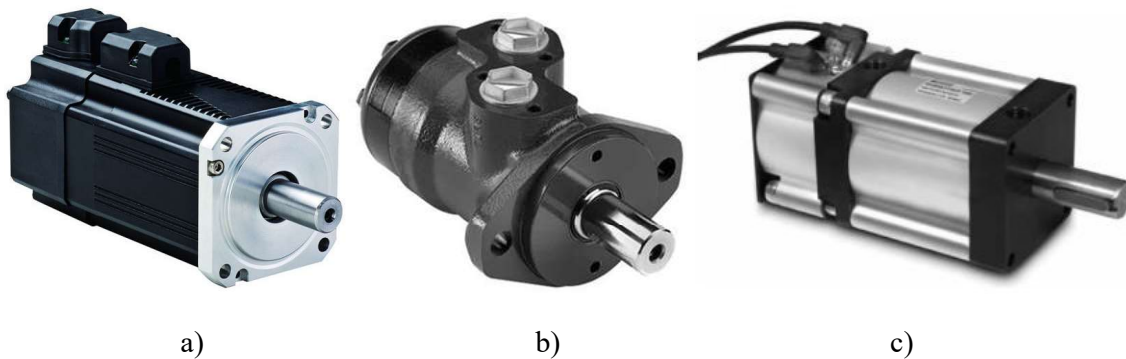
- Vysoká tuhost
- Možnost přetížení motoru bez jeho poškození
- Vysoký měrný výkon a účinnost
- Snadná realizace přímočarých pohybů
- Jednoduché na řízení
- Plynulý rovnoměrný chod bez převodů

Nevýhody:

- Nutnost vlastního energetického bloku
- Neschopnost vysokých rychlostí
- Závislost vlastností provozní kapaliny na teplotě
- Některá typy pracovních kapalin jsou hořlavé

3.5.3 Pneumatické motory

Pneumatické motory jsou vhodné spíše pro manipulátory o nižších výkonech do 1 kW (obr. 27c). Velikost výkonu závisí na velikosti provozního tlaku (0,6 – 1 MPa). Nejčastěji se používají pneumatické válce (translační motor). Jejich výhodou je snadné dosažení vysoké rychlosti (2–3 m/s), nicméně při těchto rychlostech vzniká problém s brzděním a setrvačnými silami. Pneumatické pohony mají velký význam pro pohon koncových efektorů.



Obr. 27) Motory robotů: a) elektrický rotační servomotor [56] b) hydraulický rotační motor [57] c) pneumatický kyvný motor [57]

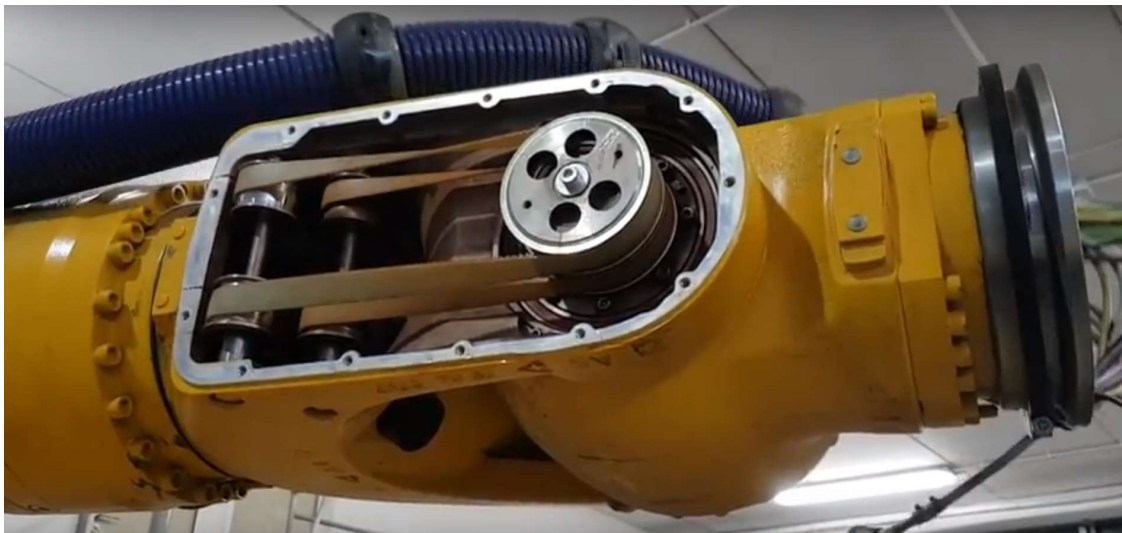
3.6 Přesnost robotů

Opakovatelná přesnost je jedním z hlavních důvodů plošného nasazení průmyslových robotů. Přesnost robotu závisí na přesnosti jeho motorů. Dále se přidávají některé typy mechanických převodů, protože ve většině případů samotná přesnost elektrických servomotorů nestačí. Mimo zvýšení přesnosti, se mechanismus může používat ke změně pohybu nebo směru.

Nejčastější typy převodových mechanismů:

- Planetový převod
- Kuželový převod
- Šnekový převod
- Vlnová (harmonická) převodovka
- Řemenový převod (obr. 28)
- Kuličkový šroub

Samotná přesnost univerzálních šestiosých robotů se v současnosti pohybuje kolem 0,05 mm. Za výrobce nejpresnějších robotů je považována německá firma Stäubli.



Obr. 28) Pohon robotu Kuka KR 500 zprostředkovaný řemenovým převodem [58]

3.7 Koncové efekторы

Aby robot vykonával danou činnost, je jeho kinematický řetězec vždy ukončen koncovým efektořem. Ve většině případů je efektoř vyměnitelný, a to z důvodu zachování univerzálního použití robotu. Efektořů existuje velké množství v závislosti na operaci, kterou po robotu vyžadujeme.

Dělení efektořů podle aplikace:

- Manipulační
- Technologické
- Kombinované
- Speciální

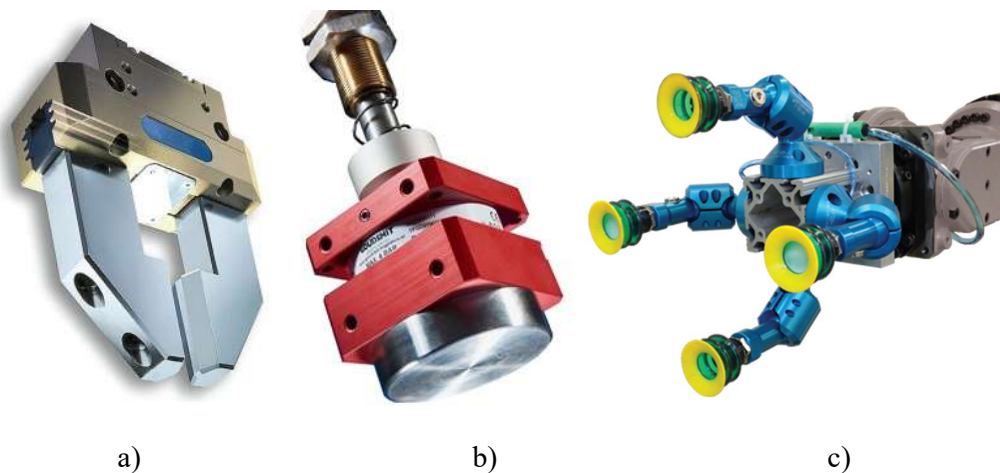
3.7.1 Manipulační efektory

Manipulační efektory (chapacla) slouží k uchopení objektu a jeho přemístění. Jejich tvar a úchopná síla se odvíjí od rozměrů a hmotnosti manipulovaného předmětu.

V závislosti na charakteristice styku rozlišujeme manipulační efektory na:

- **Mechanické:** - pasivní - pevné a nastavitelné opěry,
- pružné a odpružené čelisti,
- aktivní: - s hydromotorem (obr. 29a),
- s pneumotorem,
- s elektromotorem,
- **Magnetické:** - pasivní - s permanentními magnety,
- aktivní: - s elektromagnety (obr. 29b),
- **Podtlakové:** - pasivní - deformační přísavky,
- aktivní: - s ejekorem [1]

Nedá se říci, že existuje univerzální manipulační efektor, v praxi všechny typy efektorů mají své užití.



Obr. 29) Manipulační efektory: a) Mechanický s hydromotorem [62] b) Magnetický [60]
c) podtlakový [61]

3.7.2 Technologické efekty

Robot se přímo či nepřímo účastní technologické operace. Nejčastější přímou operací je svařování (obr. 30a), nanášení ochranných materiálů a nátěrových hmot. Technologický robot s nepřímou účastí může mít využití jako obsluha obráběcích strojů (obr. 30b). Dále se mohou používat jako montážní roboty např. sestavování součástek, hřebíkovače, lepicí stroje, kontrolní stroje. [1]



Obr. 30) a) svařovací efektor [63] b) robot jako obsluha pátové brusky [64]

3.7.3 Kombinované efekty

Kombinované efekty se skládají z uchopovací jednotky (chapidlo) a technologické hlavice (např. nůžky). Nejčastěji se využívají při práci s odlitky. [1]

3.7.4 Speciální efekty

Používají se při speciálních aplikacích robotů. Tyto efekty jsou vybaveny příslušnými senzory (tlakové, teplotní, polohové). Jejich aplikace je především u servisních motorů a manipulace s křehkými předměty. [1]

3.8 Kolaborativní robot

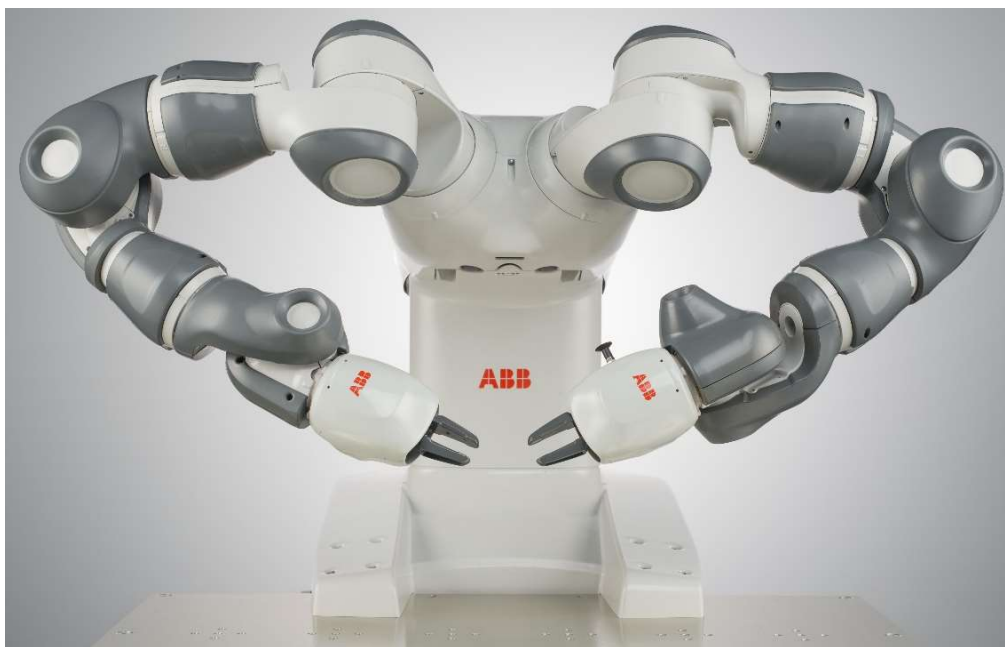
Kolaborativní robot (kobot) je v současnosti nejmodernějším typem robotu. Od standardních průmyslových robotů se liší nižším dosahem, nižší rychlostí posuvu, nižší hmotností (desítky kg), nízkou nosností, která většinou nepřesáhne 10 kg. Kobot je revoluční v tom, že je schopen pracovat v bezprostřední blízkosti člověka bez ochranných prvků. Mezi jeho silné stránky patří vysoká míra umělé inteligence, snadná programovatelnost, sensorika prostředí a přizpůsobování se okolním podmínkám. Zároveň dokáže vykonávat složité a přesné operace. Další výhodou kobotů je snadná instalace (hodiny) a vysoká návratnost (cca 200 dnů).

V současnosti mají užití v místech s omezeným pracovním prostorem, kde by nebylo možné umístit ochranné prvky. Ale především na montážních pracovištích, kde slouží pracovníkovi jako “pomocný pár rukou“, tj. vykonává za něj dílčí operace jako podávání a přidržování součástek, šroubování atd.

Kolaborativní roboti mají obrovský potenciál ke změně lidské společnosti nejen v průmyslu, ale i třeba ve zdravotnictví. Nástup kolaborativních robotů vzbudil paniku, neboť dokáží v některých případech lépe vykonávat stejnou práci jako řadoví pracovníci, tudíž by mohli přijít o zaměstnání.

3.8.1 ABB YuMi

Robot YuMi = You and Me (obr. 31) je v současnosti vlajkovou lodí společnosti ABB v oblasti kolaborativních robotů. Disponuje dvěma sedmiosými rameny, která jsou zakončena kleštinami. V jeho koncových efektech se nachází kamera pro případnou kontrolu pracovního procesu. Zároveň lze na boky každého efektoru nainstalovat až 2 přísavky pro lepší manipulaci s malými předměty (obr. 32). Největší uplatnění najde v malosériové výrobě, kde se nevyplatí plně automatizovaný proces. YuMi byl přímo konstruován tak, aby sdílel pracoviště s člověkem a aby vykonával přesnou, ergonomicky náročnější a složitější práci s malými díly, čímž pracovníkovi výrazně ulehčí práci.



Obr. 31) ABB YuMi [10]



Obr. 32) Možnosti úpravy efektoru ABB YuMi [10]

Technické parametry ABB YuMi:

Počet kin. vazeb:	2 x 7 sériových rotačních vazeb
Maximální nosnost:	0,5 kg na jedno rameno
Dosah:	559 mm
Přesnost:	0,02 mm
Hmotnost:	38 kg
Cena:	40 000 \$

3.9 Stručný popis vybraných robotů:

3.9.1 FANUC M-900iB/280L s rozřířrným dosahem

Manipulátor FANUC M-900iB/280L je robot s tuhou konstrukcí a velkým dosahem (obr. 33). Je uzpůsoben k tomu, aby mohl být namontován jak na podlahu, tak na strop. Je vybaven prvky na zvýšení ochrany proti prachu a tekutinám a snadný na údržbu. Určen pro manipulaci s těžkými břemeny ve znečištěném prostředí o velké ploše.



Obr. 33) Univerzální šestiosý manipulátor FANUC M-900iB/280L [65]

Technické parametry FANUC M-900iB/280L:

Počet kin. vazeb:	6 sériových rotačních vazeb
Maximální nosnost:	280 kg
Dosah:	3103 mm
Přesnost:	0,10 mm
Hmotnost:	1 600 kg

3.9.2 FANUC M-2 iA 6H

Robot firmy FANUC M-2 iA 6H (Obr. 19) je robot s typu delta (robot s paralelní kinematikou). Je navrhnut tak, aby byl připevněn pouze na strop. Mezi jeho silné stránky patří vysoká provozní rychlost a zvýšená odolnost proti vlhkosti. Jeho aplikací je především sběr a balení lehkých břemen.

Technické parametry FANUC M-2 iA 6H:

Počet kin. vazeb: paralelní trojice 2 rotačních vazeb

Maximální nosnost: 6 kg

Dosah: 800 mm

Přesnost: 0,10 mm

Hmotnost: 115 kg

3.9.3 Fisnar F9000N

Průmyslový dávkovací robot Fisnar F9600N (obr. 23b) má automatickou výdejní plochu 600 x 600 mm a musí být podepřen hlavními a volnoběžnými podpěrami na každé straně stroje. Je vhodný jako montážní robot pro dopravníky a pracovní buňky. [2]

Technické parametry Fisnar F9000N:

Počet kin. vazeb: 3 – 4 sérové translační vazby

Maximální nosnost: 9,5 kg

Dosah: 600 x 600 x 200 mm

Přesnost: 0,02 mm

Hmotnost: 37 kg

4 APLIKACE I4.0 NA ROBOTICKÉ PRACOVIŠTĚ VUT

Cílem této části je teoreticky aplikovat myšlenku Průmyslu 4.0 na robotické pracoviště v prostorách VUT FSI. Reálná aplikace této práce by pak mohla sloužit jako pomůcka pro výuku průmyslu 4.0.

4.1 Popis pracoviště

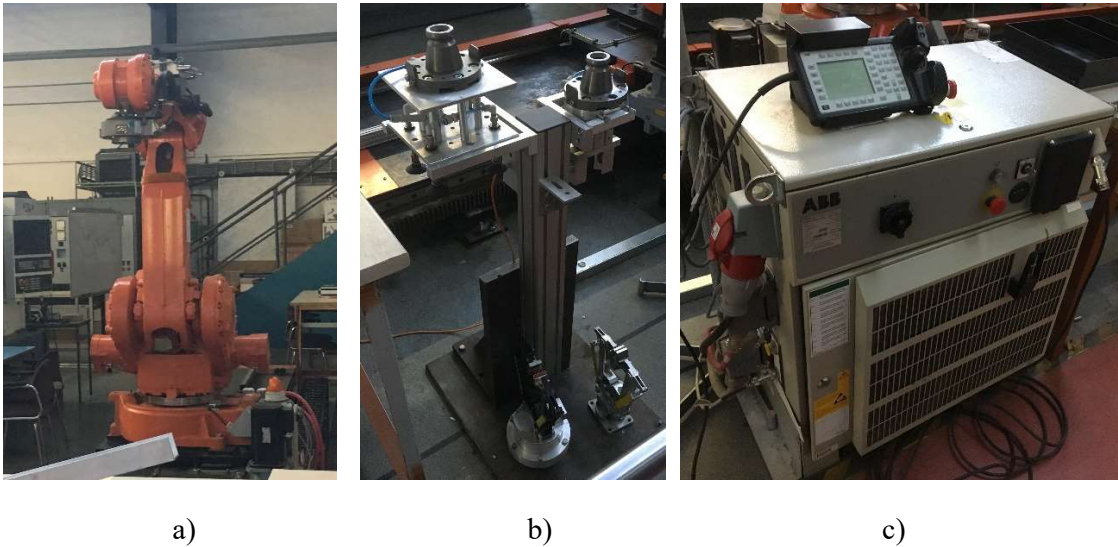
Robotické pracoviště VUT FSI je prostor o rozměrech přibližně 11,5 x 6 m (obr. 34). Na pracovišti se nachází průmyslový robot ABB 130/6 (obr. 35a), CNC soustruh KOVOSVIT SPM 16 (obr. 36a) a CNC frézka KOVOSVIT MCV 754 QUICK (obr. 36b). Robot je umístěn na lineárním pojezdu o přibližné délce 4 m, pro zvýšení dosahu. V pracovním prostoru robota se dále nachází jeho řídicí jednotka s ručním ovládacím zařízením (obr. 35c) a zásobník na efektory pro rychlejší výměnu nástroje (obr. 35b). V zásobníku se v současnosti nachází dva efektory: manipulační kleštiny s pneumatickým pohonem a manipulační přísavky. Mimo dosah robota se se nachází řídicí a programovací pracoviště.

Účelem robota ABB 130/6 je demonstrovat přesnost a obratnost průmyslových robotů, ukázka manipulace s předměty o různých velikostech a tvarech, dále se využívá jako výuková pomůcka pro nauku o robotech a také může fungovat jako obsluha zmíněných CNC strojů. Bezpečnost v okolí robota je zajišťuje bezpečnostní zábradlí.

CNC frézka MCV 754 a CNC soustruh CPM 16 fungují jako učící pomůcka pro technologie třískového obrábění a konstrukce průmyslových strojů. Oba stroje jsou funkční a plně provozuschopné.



Obr. 34) Robotické pracoviště VUT FSI



Obr. 35) a) Robot ABB 130/6 b) zásobník na manipulační efektory b) řídicí jednotka robotu s ručním ovladačem



Obr. 36) CNC stroje: a) soustruh SPM 16 b) frézka MCV 754

4.2 Inteligentní senzory

Pro optimalizovaný chod pracoviště dle kritérií Průmyslu 4.0 je třeba generovat data obsahující informace o stavech jednotlivých zařízení a jejich okolí.

4.2.1 Bezpečnostní a polohové senzory

V současném stavu je ochranným prvem na daném pracovišti bezpečnostní zábradlí. Alternativou mohou být průchodové laserové závory, které při průchodu člověka do pracovních prostoru robota výrazně sníží jeho pohybovou rychlost, popř. robot se úplně zastaví. Další možností je umístění polohového senzoru nad pracoviště, tento senzor bude snímat aktuální rozložení pracoviště. Pokud do prostoru robota přiblíží neznámý objekt, senzor odešle informaci do vyhodnocovacího systému, který přizpůsobí pohyb robota, tak aby nedošlo ke kolizi. Data z tohoto senzoru budou přímo přenášena do virtuálního dvojčete pracoviště.

Polohový senzor může být nahrazen kamerovým systémem, případně může být bezpečnostní riziko detekováno na základě vyhodnocených dat z termovize pracoviště.

4.2.2 Mechanické senzory

Přípevněním akcelerometrů na pohyblivé prvky a prvky s vysokým rizikem poškození, získáme přehled o současném mechanickém stavu strojů a nástrojů. Na základě měření mechanických veličin pak lze pomocí vyhodnocovacího software predikovat případné kolize. Pomocí těchto senzorů se budou měřit především: opotřebení ložisek, vřeten, ozubených převodů, lineárních vedení, obrobku a nástroje.

4.2.3 Průtokoměry

Chytré průtokoměry budou měřit průtok, tlak a jakost provozních kapalin a plynů v jednotlivých tekutinových okruzích. Případný pokles tlaku nebo změna rychlosti indikuje poruchu průtokové soustavy. Zároveň sleduje kvalitu daného média, aby předešel poruše stroje z důvodu nečistot v provozních kapalinách. Chytré průtokoměry se dají aplikovat na okruhy: mazací, řezných kapalin, hydraulické, pneumatické.

4.2.4 Energetické senzory

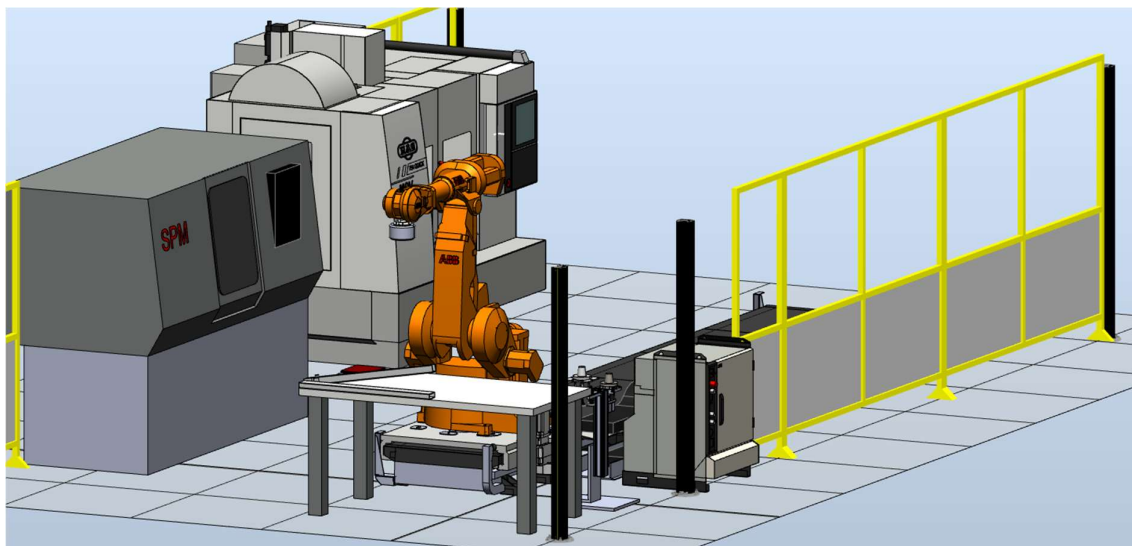
Termokamery budou sledovat jednotlivá zařízení. Pokud některý komponent stroje vykazuje vyšší tepelné záření, zpravidla to indikuje poruchu. Dále se pomocí výkonových měřidel a odebíraného proudu do měřit případný pokles účinnosti motorů na jednotlivých strojích.

4.3 Kompatibilní virtuální model

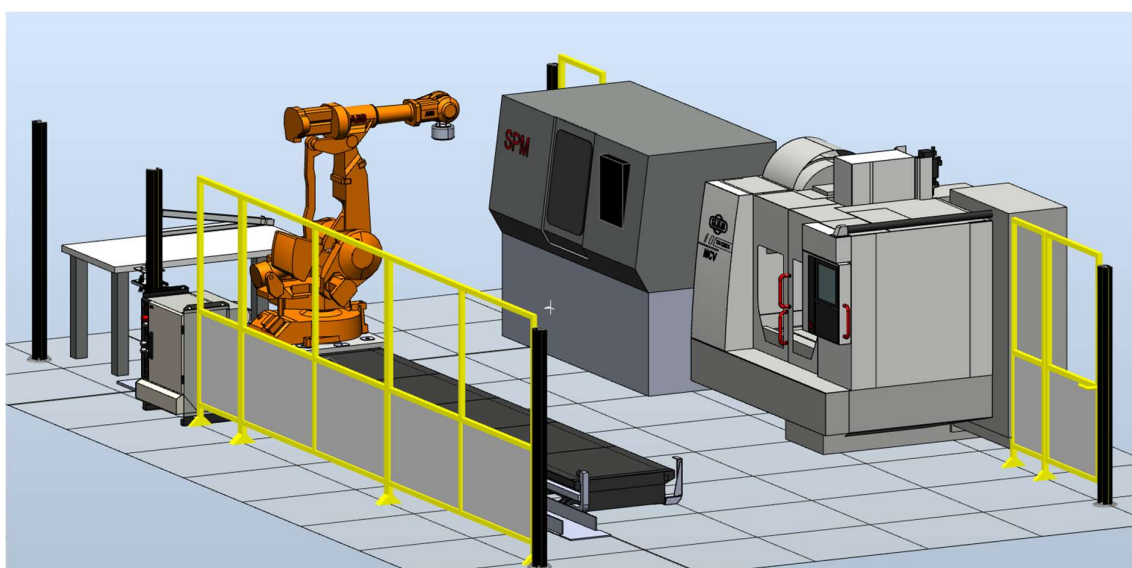
V první řadě se musí vytvořit virtuální model celého pracoviště, do kterého se v reálném čase budou promítat stavy robotu a CNC strojů (obr. 37-38). Rozložení jednotlivých zařízení vychází z aktuálního layoutu. Dále se musí přidat ostatní příslušenství jako: stoly, ochranné zábradlí, zásobník na nástroje řídicí jednotka apod.

V druhém kroku se do virtuálního prostoru přidá zapojení elektroinstalace, oběhy provozních kapalin a shromažďovaná data z inteligentních senzorů, čímž se do virtuálního prostoru přidají i osoby v bezprostřední blízkosti strojů. V tento moment se dá říci, že virtuální model odpovídá reálnému stavu pracoviště. Předpokládá se, že pomocí prostorového senzoru se jednotlivé příslušenství budou automaticky přesouvat ve virtuálním modelu v závislosti na současném uspořádání pracoviště. Pokud dojde ke změně uspořádání vybavení na pracovišti, vyhodnocovací systém vygeneruje nový aktuální layout.

Ve třetím kroku se vytvoří platforma pro rozšířenou realitu. Do rozšířené reality se bude promítat zapojení elektroinstalace a aktivita jednotlivých strojů pomocí chytrých brýlí nebo skrz chytrý telefon.



Obr. 37) Virtuální model pracoviště pohled A [66]



Obr. 38) Virtuální model pracoviště pohled B [66]

4.4 Komunikační a vyhodnocovací infrastruktura - Internet věcí

Systém bude vyhodnocovat a skladovat data z jednotlivých senzorů, strojů a virtuální reality.

4.4.1 Komunikace stroj–stroj

Jelikož pracoviště slouží primárně pro edukační účely, není třeba vymýšlet komplexní komunikační infrastrukturu mezi jednotlivými stroji pro zvýšení efektivity. Avšak je třeba aby robot věděl o současném stavu daných CNC strojů. Během obráběcího procesu robot nesmí vstoupit to pracovního prostoru obráběcích strojů. Pokud by se tak stalo, následky by mohli být fatální.

4.4.2 Komunikace člověk-stroj

Vytvoří se program, ve kterém bude moci člověk pozorovat současný stav jednotlivých zařízení. Zde se budou nacházet data o strojích, data z virtuální reality, chytrých senzorů a energetické sítě. Náhled na stav stroje bude zprostředkován obdobně jako na obr. 4). Detailní pohled na jednotlivý komponent vychází z rozhraní na obr. 5).

Pokud nastane porucha, systém upraví programy strojů, aby nedošlo k dalším závadám. Zároveň odešle odpovědné osobě sms zprávu, popoř. email charakterizující daný problém. Pokud systém dokáže sám vyřešit daný problém, charakterizuje řešení ve zprávě.

Příklady zpráv charakterizující poruchu:

- **Datum:** 6.5. 2018 13:47 / **stroj:** soustruh KOVOSVIT SPM 16 / **problém:** kritická hodnota nevyvahy na obráběcím vřetenu, zvýšené opotřebení ložisek
- **Datum:** 24.11. 2020 15:46 / **stroj:** robot ABB 130/6 / **problém:** narušení pracovního prostoru / **řešení:** snížení rychlosti posuvu na 0,05 m/s
- **Datum:** 19.1. 2019 09:03 / **stroj:** frézka KOVOSVIT MCV 754 QUICK / **problém:** pokles tlaku řezné kapaliny o 45% / **řešení:** zvýšení příkonu čerpadla

5 ZHODNOCENÍ NÁVRHU ROBOTICKÉHO PRACOVÍŠTĚ 4.0

Aplikace průmyslu 4.0 vyžaduje vysoké vstupní náklady na kybernetizaci, provoz datových vyhodnocovacích center a instalaci inteligentní sensoriky.

Na virtuálním dvojčeti se v současnosti již pracuje. Domnívám se, že je to dobrá edukační pomůcka pro studenty řízení výroby, robotiky a výrobních strojů. Pokud bude virtuální model bude sbírat informace pouze z robotu a CNC strojů, nebude zatížen enormním množstvím dat ze sensoriky. Zároveň je to dobrá pomůcka pro případné přesouvání jednotlivých strojů a zařízení pro prostorovou perspektivu.

Inteligentní senzory jako akcelerometry a průtokoměry nemají smysl. Pracoviště slouží primárně jako učící pomůcka, tudíž stroje nejsou ani zdaleka vytíženy jako během provozu ve firmě. Termokamera může soužit pro experimenty s termodynamikou výrobních zařízení.

Vyhodnocovací systém může najít své užití, pokud se ukáže, že jeho náklady nebudou příliš vysoké. Systém predikce a prevence poruch podstatně snižuje náklady na údržbu. Proto by tato platforma mohla sloužit pro výuku údržby strojů.

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo především seznámení s iniciativou Průmysl 4.0. V současnosti se jedná o jedno z nejčastějších témat diskuzí. Utopická myšlenka, že továrny budou autonomně pracovat s minimálním zásahem člověka je skvělá. Nicméně je třeba si uvědomit, že tyto systémy vždy navrhuje člověk, tudíž továrna může být chytrá jen tak, jak jí člověk naprogramuje.

Vstupní náklady pro zavádění kyberneticko-fyzických systémů jsou pro malé firmy nedosažitelné. Pokud stát nebude podporovat malé a střední firmy tak hrozí, že přestanou být konkurenceschopné. Velká část ekonomiky ČR závisí právě na průmyslu, tudíž si nemůžeme dovolit zaostat za ostatními evropskými státy. Navíc má v ČR pobočku mnoho světových korporací, které jsou iniciátory Průmyslu 4.0.

Je jasné, že díky průmyslu 4.0 vznikne mnoho pracovních pozic, nicméně se domnívám, že toto číslo nepokryje počet lidí, kterých může potenciálně přijít o zaměstnání. Z historie víme, že doba mezi vymyšlením nové technologie a úspěšné aplikaci trvá v řádu desítek let viz. nasazení průmyslových robotů do výroby. Myšlenka Průmyslu 4.0 je relativně mladá, proto nelze říci, jak hluboko změní celková digitalizace lidskou společnost. Proto je předčasné vytvářet si jednorozměrný názor na Průmysl 4.0.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno : Vysoké učení technické v Brně: VUTIUM, 2016. ISBN 9788021448285.
- [2] *F9000N Series Assembly Line Robots* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.fisnar.com/products/robotics/assembly-line-robots/f9000n-series-assembly-line-robots/>
- [3] *M-2 iA 6H: Delta design* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/bg/en/robots/robot-filter-page/m2-series/m-2ia-6h>
- [4] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [5] RADEK, Knoflíček. *ROBOTY A PRUŽNÉ VÝROBNÍ SYSTÉMY: Studijní opora*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2004.
- [6] PRCHAL, Tomáš. *Smart Safe Reaction: Human Robot Collaboration* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.aero-cluster.cz/sites/default/files/09._vyvoj_a_trendy_interakci_lidi_a_robotu_ve_vyrobe_tomas_prchal.pdf
- [7] *M-900iB/280L* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-900/m-900ib-280l>
- [8] VAŇKOVÁ, Radka. *TOP 10 výrobců robotů na světě. Kolik instalovali robotů?* [online]. 20.12.2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/top-10-vyrobcu-robotu-na-svete-kolik-instalovali-robotu/>
- [9] *Is ABB's YuMi the Next Generation of Collaborative Robot?* [online]. 15.4.2015 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/does-abb-yumi-is-the-next-generation-of-collaborative-robot>
- [10] *Yumi* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/yumi>
- [11] HAMALČÍKOVÁ, Kamila. *Manažer z Universal Robots: Koboti sice vezmou někomu práci, ale mnoha lidem ji dají* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/rozhovor-kolaborativni-roboti-koboti-universal-robots-pavel-bezucky>
- [12] KNOFLÍČEK, Radek. *PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY: DEFINICE POJMŮ, ZÁKLADNÍ PROBLÉMY ROBOTIZACE* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SR/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/6SR_10_Pr%C5%AFmyslov%C3%A9%20roboty.pdf
- [13] KNOFLÍČEK, Radek. *PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY: PŘÍKLADY STAVBY, KINEMATIKA, MORFOLOGIE, UKÁZKY TYPICKÉ STRUKTURY A JEJICH STAVBY* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SR/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/6SR_11_P%C5%99%C3%ADklady%20pr%C5%AFmyslov%C3%BDch%20robot%C5%AF%20a%20manipul%C3%A1tor%C5%AF.pdf
- [14] KNOFLÍČEK, Radek. *PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY: 3. KONSTRUKCE PRaM* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:

- http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SR/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/6SR_12_Stavba%20%28konstrukce%29%20pr%C5%AFmyslov%C3%BDch%20robot%C5%AF%20a%20manipul%C3%A1tor%C5%AF.pdf
- [15] KNOFLÍČEK, Radek. *Obráběcí stroje: Přednáška č.1* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SR/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/6SR_01_Obrabeci%20stroje.pdf
- [16] *Kartézský robot* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.toshiba-robots.cz/?mid=251>
- [17] *ROBOTIKA* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7493/mod_resource/content/1/ROBOTIKA.pdf
- [18] HOLEČEK, Jan. *Jaká je cena průmyslových robotů? Zeptali jsme se, co na ni má vliv* [online]. 6.12.2015 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/jaka-je-cena-prumyslovych-robotu-zeptali-jsme-se-co-na-ni-ma-vliv/>
- [19] DUCHOSLAV, Petr. *Desatero dobrých důvodů, proč investovat do robotů* [online]. 20.12.2014 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/desatero-dobrych-duvodu-proc-investovat-do-robotu/>
- [20] *Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- [21] *Top 5 Industry 4.0 Trends In Manufacturing* [online]. 21.6. 2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.iaasiaonline.com/sector-spotlight/top-5-industry-4-0-trends-manufacturing-2/>
- [22] *Bez chytré logistiky je Průmysl 4.0 jen prázdný pojem* [online]. 17. 6. 2016 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65335360-bez-chytre-logistiky-je-prumysl-4-0-jen-prazdny-pojem>
- [23] *Embracing Industry 4.0—and Rediscovering Growth* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4-0-rediscovering-growth.aspx>
- [24] Průmysl 4.0. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl_4.0
- [25] VOJÁČEK, Antonín. *Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0 / Průmysl 4.0 ?* [online]. 19. Březen 2016 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skriva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
- [26] Od 1. průmyslové revoluce ke 4. *Www.technickytydenik.cz* [online]. 4.6.2015 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html
- [27] *Den, kdy mlha začala zabíjet (4. prosinec 1952)* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.stream.cz/slavnedny/10000812-den-kdy-mlha-zacala-zabijet>
- [28] *TECHNIKA (2. Průmyslová revoluce)* [online]. In: . [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/11527018/#>
- [29] Nicolaus Otto. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nicolaus_Otto

- [30] Rudolf Diesel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Diesel
- [31] Průmyslová revoluce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmyslov%C3%A1_revoluce
- [32] Pokémon go. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pok%C3%A9mon_Go
- [33] *Find out what Industry 4.0 can do for you by attending this HPE - Hortonworks webinar* [online]. In: . [cit. 2018-05-16].
- [34] [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://community.hpe.com/t5/Alliances/Find-out-what-Industry-4-0-can-do-for-you-by-attending-this-HPE/ba-p/6851898#.Wvx3T4iFNPZ>
- [35] *Úvod do problematiky a základní modely Industry 4.0* [online]. 2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/uvod-do-problematiky-a-zakladni-modely-industry-4.0.htm>
- [36] *Senzory nabízejí funkce pro Průmysl 4.0* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/senzory-nabizeji-funkce-pro-prumysl-40/>
- [37] *Inteligentní senzorové systémy pro Průmysl 4.0* [online]. 2016 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.motorinfo.cz/inteligentni-senzorove-systemy-pro-prumysl-4-0.html>
- [38] *INICIATIVA PRŮMYSL 4.0* [online]. In: . 2016 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [39] *Průmysl 4.0 má v Česku své místo* [online]. 2.9.2016 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/prumysl-4-0-ma-v-cesku-sve-misto-176055/>
- [40] [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://blog.flexlink.com/wp-content/uploads/2017/04/industrial-internet-of-things-flexlink.gif>
- [41] (Vibrodiagnostika) [FRAJ Daniel] [BOSCH diesel s.r.o. jihlava] [2018-05-17]
- [42] Měření při údržbě pohonů a motorů (10. část) Jak a kde pomůže termovize při údržbě pohonů a motorů [online]. 14.11.2016 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/mereni-pri-udrzbe-pohonu-a-motoru-10-cast-jak-a-kde-pomuze-termovize-pri-udrzbe-pohonu-a-motoru--2112>
- [43] The Present and Future of VR in Construction Management [online]. 29.9.2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://cadtech.es/grupo-psa-desarrolla-vehiculos-la-plataforma-3dexperience-dassault-systemes/>
- [44] Grupo PSA desarrolla sus vehículos con la plataforma 3DEXPERIENCE de Dassault Systèmes [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://cadtech.es/grupo-psa-desarrolla-vehiculos-la-plataforma-3dexperience-dassault-systemes/>
- [45] *NFPA 3D WAREHOUSE: SPRAY PATTERNS AND SPRINKLER INSTALLATION TRAINING* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.designingdigitally.com/portfolio/training-simulations/nfpa-3d-warehouse-spray-patterns-and-sprinkler-installation-training>
- [46] JUDSON, Jon. *Augmented Reality: A New Reality for Utilities* [online]. 13.5.2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://blogs.cisco.com/energy/augmented-reality-a-new-reality-for-utilities>

- [47] PARRENO, Josh. *Augmented Reality in Industry 4.0 – A Great Gimmick or Potential Industry Changer?* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.machines4u.com.au/mag/augmented-reality-industry-4-0-great-gimmick-potential-industry-changer/>
- [48] Industry 4.0: Augmented reality system for production. In: Youtube.com [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0m67O1Em7dY>
- [49] Bosch se mění v chytrou továrnu. Nasazuje automatické tahače a rozšířenou realitu [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65778270-bosch-se-meni-v-chytrou-tovarnu-nasazuje-automaticke-tahace-a-dalsi-novinky>
- [50] M-2 iA 6H: Konstrukce delta [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m2/m-2ia-6h>
- [51] [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-900/m-900ib-280>
- [52] [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.automationworld.com/article/technologies/robotics/scara-robots-make-fast-repeatable-and-precise-movements>
- [53] *Roboty przemysłowe* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.asimo.pl/teoria/roboty-przemyslowe.php>
- [54] *Describe cylindrical robot* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://jf505industrialrobotics.blogspot.cz/2013/12/222-describe-cylindrical-robot.html>
- [55] GONZALES, Carlos. *What's the Difference Between Industrial Robots?* [online]. 1.12.2016 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.machinedesign.com/robotics/what-s-difference-between-industrial-robots>
- [56] *Mitsubishi , 50W To 1KW AC Servo Motor, 240V* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/ac-servo-motor-17092280212.html>
- [57] *Danfoss Motor OMP - SAE A 2 Bolt 1" Key Shaft 1/2" BSP Ports* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://hes.groupes.com/omp-sae-a-2-bolt-1-key-shaft-12-bsp-ports>
- [58] *Robot Kuka KR 500 wrist mechanics* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IbQUc3VW1qo>
- [59] *Kompletní pneumatický kyvný pohon, otáčení 220° 6V1357630F-220* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.kovaz.cz/kompletni-pneumaticky-kyvny-pohon-otaceni-220-6v1357630f-220-81330/?cid=1102>
- [60] *Magnetické grippery* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/prumyslove-magneticke-systemy/magneticka-manipulace/manipulacni-magnety/magneticke-grippers>
- [61] *SWIVELLINK* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.htetechnologies.com/vendors/view/Swivellink>
- [62] *Hydraulic Grippers* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.mobilehydraulictips.com/hydraulic-grippers/>
- [63] *ROBOTLU KAYNAK OTOMASYONU* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.turkcadcam.net/rapor/robotlu-kaynak/>
- [64] *ABB Robotics - Grinding Forged Steel Parts* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OMAT6sEipgE>

[65] *M-900iB/280L* [online]. In: . [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-900/m-900ib-280l>

[66] (3D model pracoviště) [Ing. VETIŠKA Jan Ph.D.] [Brno university of technology] [2018-05-17]

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratk:

CPS	kyberneticko-fyzický systém
IOT	internet věcí
IIOT	Průmyslový internet věcí
VR	virtuální realita
AR	rozšířená realita
RAMI	Reference Architecture Model od Industry 4.0
IOS	internet služeb
P	posuvná (translační) vazba
R	rotační vazba

8.2 Seznam obrázků

OBR. 1) ČASOVÁ OSA PRŮMYSLOVÝCH REVOLUCÍ [34]	18
OBR. 2) RAMI 4.0 [35].....	19
OBR. 3) DEMONSTRACE PROPOJENÍ ZAŘÍZENÍ POMOCÍ INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS [40]	21
OBR. 4) ONLINE DIAGNOSTIKA JEDNOTLIVÝCH VŘETEN BRUSKY [41]	23
OBR. 5) DETAILNÍ DIAGNOSTIKA OBRÁBĚCÍHO VŘETENA V REÁLNÉM ČASE [41]23	
OBR. 6) ROZHRAŇÍ ONLINE VIBRODIAGNOSTIKY OBRÁBĚCÍCH VŘETEN NA STROJÍCH GROB BZ 550 VE FIRMĚ BOSCH DIESEL S.R.O [41]	24
OBR. 7) DATA Z ONINEDIAGNOSTIKY VŘETEN PŘIDĚLENA K LAYOUTU JEDNOTLIVÝCH VÝROBNÍCH LINEK [41]	24
OBR. 8) MĚŘENÍ TEPLoty PLÁŠTĚ MOTORU POMOCÍ TERMOVIZE [42]	24
OBR. 9) ILUSTRACNÍ ZOBRAZENÍ ČLOVĚKA VE VIRTUÁLNÍ REALITĚ ZPROSTŘEDKOVANÉ BRÝLEMI OCULUS RIFT [43].....	25
OBR. 10) VIRTUÁLNÍ POHLED NA PRACOVIŠTĚ MONTÁŽE PALUBNÍ DESKY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU [44].....	26
OBR. 11) ILUSTRACNÍ VIRTUÁLNÍ MODEL SKLADU PRO SNADNĚJŠÍ VYHLEDÁVÁNÍ ZBOŽÍ [45]	27
OBR. 12) KONTROLA POTRUBÍ ROZŠÍŘENOU REALITOU TECHNOLOGIÍ VIDEO SEE-TROUGH [47]	28
OBR. 13) VIZUALIZACE ELEKTROINSTALACE ZPROSTŘEDKOVANÁ CHYTRÝMI BRÝLEMI [46].....	29
OBR. 14) LIGHT GUIDE SYSTÉM ŘÍKÁ PRACOVNÍKOVI, ABY UTÁHL ZELENĚ SVÍTÍCÍ ŠROUB [48].....	29

OBR. 15) PRACOVNÍK MÁ UTÁHNOUT ŠROUB MOMENTEM 15 NM [48].....	30
OBR. 16) PRACOVNÍK VYBRAL ŠPATNÝ ŠROUB. IHNED JE UPOZORNĚN VÝSTRAŽNÝM SVĚTLEM [48].....	30
OBR. 17) AUTOMATIZOVANÝ DOPRAVNÍ VOZÍK VE FIRMĚ BOSCH DIESEL S.R.O. [49].....	31
OBR. 18) UNIVERZÁLNÍ ŠESTIOSÝ SÉRIOVÝ ROBOT FANUC M-900IB/280 [51] 37	
OBR. 19) PARALELNÍ ROBOT FANUC M-2 IA 6H [50]	38
OBR. 20) KINEMATICKÉ SCHÉMA REDUNDANTNÍHO ROBOT A S 9 STUPNI VOLNOSTI PRACUJÍCÍM V UZAVŘENÉM PROSTORU [5]	39
OBR. 21) ČTYŘOSÝ SCARA ROBOT ABB IRB 910SC [52].....	39
OBR. 22) MOŽNÉ USPOŘÁDÁNÍ KINEMATICKÝCH ŘETĚZCŮ [5].....	40
OBR. 23) A) PEROKRESBA KINEMATIKY PPP [5] B) ROBOT F9000N SE STAVEBNICOVOU KONSTRUKCÍ [2].....	41
OBR. 24) A) MODEL ROBOTU TYPU RPP [54] B) ROBOT DENSO S KINEMATIČOU RPP [53]	41
OBR. 25) PRACOVNÍ PROSTOR RRP ROBOTU [55]	42
OBR. 26) PRACOVNÍ PROSTOR ROBOTU RRR [5].....	42
OBR. 27) MOTORY ROBOTŮ: A) ELEKTRICKÝ ROTAČNÍ SERVO MOTOR [56] B) HYDRAULICKÝ ROTAČNÍ MOTOR [57] C) PNEUMATICKÝ KYVNÝ MOTOR [57].....	44
OBR. 28) POHON ROBOTU KUKA KR 500 ZPROSTŘEDKOVANÝ ŘEMENOVÝM PŘEVODEM [58]	45
OBR. 29) MANIPULAČNÍ EFEKTORY: A) MECHANICKÝ S HYDROMOTOREM [62] B) MAGNETICKÝ [60] C) PODTLAKOVÝ [61]	46
OBR. 30) A) SVAŘOVACÍ EFEKTOR [63] B) ROBOT JAKO OBSLUHA PÁSOVÉ BRUSKY [64].....	47
OBR. 31) ABB YUMI [10]	48
OBR. 32) MOŽNOSTI ÚPRAVY EFEKTORU ABB YUMI [10].....	48
OBR. 33) UNIVERZÁLNÍ ŠESTIOSÝ MANIPULÁTOR FANUC M-900IB/280L [65] 49	
OBR. 34) ROBOTICKÉ PRACOVIŠTĚ VUT FSI	51
OBR. 35) A) ROBOT ABB 130/6 B) ZÁSOBNÍK NA MANIPULAČNÍ EFEKTORY B) ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA ROBOTU S RUČNÍM OVLADAČEM.....	52
OBR. 36) CNC STROJE: A) SOUSTRUH SPM 16 B) FRÉZKA MCV 754	52
OBR. 37) VIRTUÁLNÍ MODEL PRACOVIŠTĚ POHLED A [66]	54
OBR. 38) VIRTUÁLNÍ MODEL PRACOVIŠTĚ POHLED B [66].....	54

9 SEZNAM PŘÍLOH

9.1 Výkresy

Náčrt layoutu robotického pracoviště