



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

KONSTRUKCE A APLIKACE STACIONÁRNÍCH PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

DESIGN AND APPLICATION OF STATIONARY INDUSTRIAL ROBOTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Kykal

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Student: **Roman Kykal**

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Základy strojního inženýrství

Vedoucí práce: **doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček**

Akademický rok: 2021/22

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:

Konstrukce a aplikace stacionárních průmyslových robotů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Podrobný popis současného stavu v oblasti konstrukce stacionárních průmyslových robotů, včetně periferních zařízení a koncových efektorů, ze kterých se tvoří robotizovaná technologická pracoviště. Součástí BP je i uvedení příkladů z praxe několika provedení robotizovaných pracovišť libovolné technologie (manipulace s materiálem, svařování a pod.), kdy jedno autorem BP nalezené bude komentováno (projektováno) s ohledem na zásady Průmysl 4.0.

Cíle bakalářské práce:

Systémový rozbor řešené problematiky robotizace procesů.

Rešerše známých řešení (tj. stávajících, dlouhodobě používaných).

Nalezení a popis stávajících i nových, pokrokových způsobů v oblasti konstrukce a aplikace stacionárních průmyslových robotů.

Vlastní závěry a/nebo doporučení pro další rozvoj řešené problematiky.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů VI. Čtvrté vydání. Praha: MM publishing, s. r.o., 2018. ISBN- 978-80-606310-8-3.

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 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá základní konstrukcí, rozdělením a různým využitím stacionárních průmyslových robotů. V první části je zmíněna základní definice a struktura robotu, která je ve světě všeobecně využívána. Obsahuje také základní komponenty robotu, které jsou podrobněji popsány a případně rozděleny podle funkčnosti. V druhé části se nachází příklady robotů, které se prakticky využívají v dnešní době, a po této části následuje kapitola, ve které nalezneme poměrně nové technologie, které nejsou úplně dokonalé a neustále se vyvíjejí. Na závěr je vložen rozbor technologie robotů, proč na světě existují a proč nám usnadňují život.

ABSTRACT

This thesis deals with the basic construction, separation and various uses of stationary industrial robots. In the first part is mentioned the basic definition and structure of the robot, which is widely used in the world. It also contains the basic components of the robot, which are described in more detail and possibly divided according to functionality. The second part include examples of robots that are practically used today, and this part is followed by a chapter in which we find relatively new technologies that are not completely perfect and are constantly evolving. Finally, there is an analysis of robot technology, why they exist in the world and why they make our lives easier.

KLÍČOVÁ SLOVA

koncový efektor, robotizované technologické pracoviště, bezpečnostní sensorika, víceúčelovost robotů, manipulační schopnosti robotu

KEYWORDS

effector, robotic technological workplace, safety sensors, multipurpose robots, robot handling capabilities

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KYKAL, Roman. *Konstrukce a aplikace stacionárních průmyslových robotů* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139776>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu docentu Radku Knoflíčkovi za dobré rady, věcné připomínky, za věnovaný čas, za včasné reagování na mé dotazy, za vstřícnost a ochotu pomoci. Děkuji také své rodině za veškerou podporu a trpělivost při mém studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce s názvem „Konstrukce a aplikace stacionárních průmyslových robotů“ je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením docenta Radka Knoflíčka a s použitím literatury uvedené v seznamu na konci této práce

V Brně dne 16.05.2022

.....

Kykal Roman

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	MOTIVACE.....	12
3	HISTORICKÝ VÝVOJ ROBOTŮ	13
4	DEFINICE ROBOTŮ A JEJICH ROZDĚLENÍ.....	15
5	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY ROBOTIZACE PROCESŮ	18
5.1.	Pojetí robotů systémově.....	18
5.2.	Řízení průmyslových robotů.....	18
5.3.	Teorie systémového přístupu	19
5.4.	Systémový přístup na aplikaci PRaM v průmyslu.....	19
5.5.	Robot jako soustava konstrukčních uzlů	19
5.6.	Kinematická struktura průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)	21
5.6.1.	PRaM se sériovou kinematikou	21
5.6.2.	PRaM s paralelní kinematikou	23
5.7.	Pohony robotů.....	24
5.8.	Pohybové jednotky robotů	25
5.9.	Koncové efektory (výstupní hlavice).....	26
5.9.1.	Technologické efektory	26
5.9.2.	Manipulační výstupní hlavice (chapadla)	27
5.9.3.	Kombinované výstupní hlavice.....	28
5.9.4.	Speciální výstupní hlavice	28
5.9.5.	Automatické výměny efektorů.....	29
5.10.	Senzorické systémy robotů	29
5.10.1.	Dělení senzorů	30
6	REŠERŠE ZNÁMÝCH ŘEŠENÍ.....	32
6.1.	Robotizace výrobních systémů	32
6.1.1.	Potřeby robotizace	32
6.1.2.	Návrh robotizovaných technologických pracovišť a jejich složení	32
6.1.3.	Složení strojů a zařízení RTP	33
6.2.	RTP na manipulaci s objekty	33
6.3.	Návrh RTP pro technologické účely.....	34
6.3.1.	RTP pro obrábění	34
6.3.2.	RTP pro svařování	35
6.3.3.	RTP pro montáž	36
6.3.4.	Robot jako mobilní prostředek.....	37
6.3.5.	Kolaborativní robot.....	38
6.4.	Použití robotů v nevýrobních oblastech.....	40
6.4.1.	Robot v kosmu	40
6.4.2.	Robot na zemi (k přepravě).....	41
6.4.3.	Robot pod vodou.....	41
6.4.4.	Robot ve zdravotnictví.....	42
6.4.5.	Robot ve stavebnictví.....	43
6.4.6.	Robot v zemědělství.....	44
6.4.7.	Robot pro poskytování služeb.....	45

7	STÁVAJÍCÍ A NOVÉ POKROKOVÉ SYSTÉMY ROBOTŮ.....	47
7.1.	3D tisk a jeho nové aplikace	47
7.1.1.	3D tisk odlévání betonem (3DCP = 3D concrete printing).....	47
7.1.2.	Vývoj 3D tisku odléváním betonu	48
7.2.	Nové technologie ve stavebnictví	49
8	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PROBLEMATIKY A JEJÍHO DALŠÍHO ROZVOJE.....	51
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	55
10.1.	Seznam zkratk	55
10.2.	Seznam obrázků.....	55

1 ÚVOD

Robot se dnes vyskytuje v mnoha průmyslových i neprůmyslových odvětvích a technologie robotů se neustále vyvíjí.

Cílem této bakalářské práce je poukázat na to, proč se mezi námi roboty vyskytují, proč se člověk snaží je neustále rozvíjet, jak a v čem nám ulehčují život, a uvést příklady, kde všude můžeme roboty nalézt. Práce je zaměřena hlavně na stacionární roboty, které tvoří ve většině případů výrobní systémy a urychlují proces výroby. Na konci se nachází příklady nových technologií, kde se robot začal využívat v nedávné době, a zároveň s nedokonalostmi těchto technologií a jakým směrem se vyvíjí.

V první části je zachycena historie robotů, jejich definice, základní rozdělení a jejich konstrukce. Najdeme zde informace o základních částech robotu, jejich funkci a jaké jsou možnosti konstrukce robotu při jeho navrhování.

V další části se seznámíme se současnými aplikacemi robotů, kde je podrobněji popsáno, na co se specializují, jakou mají strukturu, čím jsou neobvyklí od ostatních robotů atd. Po současných aplikacích následují příklady využití robotů, kteří vznikly v nedávné době a u kterých je potřeba další vývoj, protože se u těchto technologií vyskytují nedostatky a nejde tak roboty uvést na trh.

Na závěr je uvedeno zhodnocení veškeré problematiky a úvaha o tom, proč tu jsou roboty s námi a jaký by byl svět bez robotů.

2 MOTIVACE

Téma robotizace procesů je dnes aktuální problematika a můžeme na ní sledovat neustálý vývoj. Robot má dnes velice široké využití a můžeme ho nalézt téměř v každém odvětví. Ovšem pro každé odvětví je nutné vytvořit zvlášť konstrukci robotu z důvodu splnění konkrétní funkce a odlišných podmínek pracoviště. Proto není jednoduché aplikovat roboty pro nové procesy a na daném projektu musí pracovat tým specializovaných odborníků.

Toto téma práce jsem si vybral, protože mě samotné téma robotů a automatizovaných procesů velmi zajímá a chtěl bych se mu i nadále věnovat a získat více informací z dané problematiky.

3 HISTORICKÝ VÝVOJ ROBOTŮ

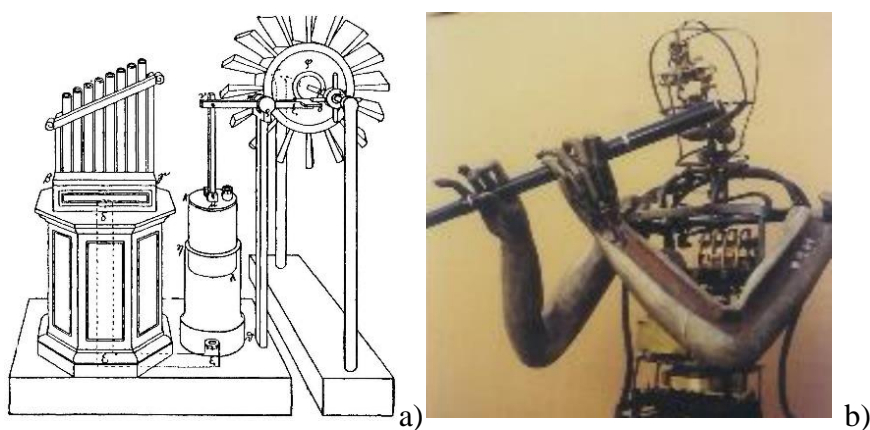
Už ve starověku vznikaly první pokusy o vytvoření primitivního automatizovaného systému. Například Hérón Alexandrijský vytvořil už teprve v 1. století automat na dávkování vody (Obr. 1a). Další zmínky o konstrukci automatů můžeme najít v období renesance, kdy Leonardo da Vinci sestavil pro krále mechanického lva, který bez lidské pomoci chodil a uměl zamávat tlapou. [1]

V 18. století francouzský mechanik Jacques de Vaucanson sestavil skutečně fungujícího robota „flétnistu“, který uměl zahrát 12 hudebních skladeb (Obr. 1b). Mezi další z tohoto století patří sestavení robota s podobou dítěte, který psal text na papír, nebo robota s podobou chlapce, který uměl nosit čaj. Poprvé se také pokusil rakouský vynálezce Wolfgang von Kempelen vyrobit stroj, který by napodoboval lidskou řeč. Podle odborníků dokázal vytvořit přístroj, který uměl vyslovovat rozličné slabiky, ze kterých pak bylo možné tvořit věty v jiných jazycích. [1]

Po první světové válce vznikaly roboty v podobě vojáků, které uměly pohybovat rukama, odpovídaly na jednoduché otázky díky gramofonové desce a také se pohybovaly pomocí elektrického pohonu. [1]

V průmyslové výrobě se nejprve začaly používat stroje, které měly nahradit lidskou práci (Obr. 2a). Tyto stroje nazýváme častěji automaty než roboty, protože nepřipomínají člověka a jejich funkce jsou velmi specializované. Později se objevil víceúčelovější automat, který: „zastával funkci člověka u výrobního stroje, avšak nemá jeho podobu.“ (Kolíbal, 2016, s.25) [1]

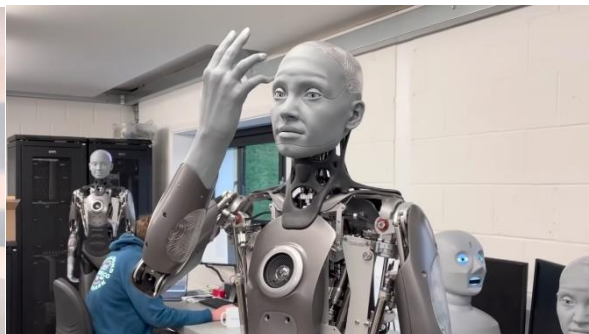
Největší podobu s člověkem můžeme zaznamenat u mobilních, kráčejících a humanoidních robotů, které nejenom umí napodobovat chůzi, pohyby a lidskou řeč, ale také vyjadřovat emoce nebo lidskou mimiku (Obr. 2b). Tyto roboty představují nejmodernější technologie umělé inteligence a rozvíjejí se až dodnes. [1]



Obr. 1) Vývoj robotů – a) Automat na dávkování vody, b) Robot „flétnista“ [2], [3]



a)



b)

Obr. 2) Pokročilý vývoj robotů – a) Průmyslový robot UNIMATE, b) Humanoidní robot [4], [5]

4 DEFINICE ROBOTŮ A JEJICH ROZDĚLENÍ

Slovo „robot“ má český původ u Karla Čapka, který jej poprvé použil ve svém díle R.U.R., a označuje těžkou a unavující práci. Předtím byli roboti nazýváni jako „laboři“, ale to se Karlu Čapkovi nelíbilo, proto jeho bratr Josef vymyslel slovo „robot“. Ovšem správná definice robotů dle normy ISO 8373 má tuto podobu: „Automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více (pohybových) osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.“ (Knoflíček, 2020, 6SR_10) [1], [6]

Označení „průmyslový robot“ velmi dobře vystihuje definice: „Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“ (Kolíbal, 2016, s.45) [1]

Skloňování slova robot je komplikovanější, než by se mohlo zdát. Jedná-li se o robota, kterého používáme v průmyslu, skloňujeme ho podle mužského rodu neživotného (hrad, les). U uměle inteligentních robotů je ovšem skloňování podle mužského rodu životného (pán). Jelikož konstruktéři a odborníci považují průmyslové roboty za neživé, skloňují je podle vzoru hrad. [1]

Podle stupně automatizace výrobních strojů je můžeme rozdělit do těchto druhů:

1. **Konvenční stroje.** Běžné stroje s pouze ručním ovládním bez automatizace nebo s minimální automatizací. Příkladem tohoto druhu může být soustruh, frézka, vrtačka, lis a další. S minimální automatizací je například kopírovací zařízení, u něhož člověk obsluhující tento stroj musí zůstat.
2. **Číslicově řízené neboli NC stroje (Numerical Control).** Jsou to automaticky řízené stroje číslicovým řídicím systémem. Příkladem je NC vertikální konzolová frézka. Dále sem můžeme zařadit obráběcí centrum, bezobslužné obráběcí stroje a z nich vyvinuté pružné výrobní systémy. Tyto obráběcí stroje představují vyšší vývojový stupeň.
3. **Automaty (nebo poloautomaty).** Pracovní cyklus se provádí automaticky díky nastaveným mechanismům a narážkám. Obsluha nemusí do cyklu zasáhnout, pouze obstarává materiál a odebírá dokončenou sérii výrobků. Řadí se sem soustružnické automaty, tvářecí automaty atd.
4. **Jednoúčelové stroje (JÚS) nebo výrobní linky.** Sestavení více pracovních jednotek s možnostmi a) kolem otočného stolu nebo b) podélně, ke kterým jsou automaticky posouvány polotovary, které jsou pak následně opracovány. Za rok takové systémy vyprodukují statisíce až milióny výrobků. [1]

Vlastnosti robotu:

- Manipulační schopnost – schopnost uchopovat předměty, přemísťovat je a provádět určité úpravy na těchto předmětech.

- Univerzálnost – robot neslouží pouze k jednomu účelu, ale můžeme ho využít mnoha způsoby. Ovšem musíme ho naprogramovat znova a přizpůsobit jeho tělo k dané činnosti.
- Vazba s prostředím – robot je schopen vnímat díky sensorům své okolí, podobně jako člověk zrakem, sluchem nebo dotekem, a navíc přinášet skrze čidla informace, což je pro člověka nemožné.
- Autonomnost chování – schopnost automaticky vykonat i náročnou řadu po sobě jdoucích úkolů podle programu. Program může být pevný (daný konstrukcí robotu) a nelze ho měnit, nebo volitelný člověkem, případně automaticky zařízením.
- Prostorová soustředěnost jednotlivých složek do jednoho celku.
- Vykonávání činností blízkých typickým úkonům člověka. [1]

Roboty se rozlišují podle následujících kritérií:

- morfologie robotu – důležitou veličinou je stupeň volnosti (do jaké míry je robot schopný se pohybovat),
- velikost a hmotnost,
- velikost obsluhovaného prostoru,
- hmotnost břemene – hmotnost předmětu, se kterým robot manipuluje,
- dosahovaná přesnost – zhoršuje se s větší hmotností břemene,
- rychlost pohybů – ovlivňuje dosahovanou přesnost, s větší rychlostí přesnost klesá,
- způsob pohonu – různé druhy pohonů: mechanické, pneumatické, hydraulické, elektrické a kombinované,
- druh servopohonů a způsob odměřování,
- způsob a rozsah vnímání – je daný vybavením robotů senzory,
- způsob řízení a komunikace s okolím – je závislý na výbavě softwaru a hardwar
- autonomnost robotu. [1]

Robot nabízí tyto výhody při využití v průmyslu oproti lidské práci:

- levnější provoz ve výrobě,
- vyšší a neměnná kvalita výroby,
- za určitý úsek času lepší produktivita (větší objem výroby),
- vyšší pružnost neboli flexibilita výroby,
- méně se vyskytující nepovedené výrobky (zmetky) – menší ztrátovost materiálu,
- bezpečnější práce pro lidi,
- úspora místa ve výrobě,
- dobrá investiční návratnost,
- lepší pracovní prostředí pro zaměstnance,

- není potřeba tolik pracovníků ve výrobě, snížení nákladů na jejich vybavení (pracovní oděv, ochranné pomůcky)
- humanizace. [6]

Použití robotu v průmyslu má i nevýhody:

- Pořizovací cena robotizovaného technologického pracoviště je vysoká (v řádu milionů korun).
- Neefektivní využívání vložené investice kvůli kratší době používání robotu.
- Při robotizaci procesu je nutná změna pracovního postupu.
- Obsluha robotu musí být zaškolená.
- Pracovníci ve výrobě nedůvěřují robotům a automaticky pracujícím zařízením.
- Dělníci jsou častokrát neochotní učit se nové postupy. [6]

Základní použití robotu v průmyslu:

- 1) Výrobní oblast (strojírenství, elektrotechnika)
 - práce s obrobky, výtisky a součástmi obecně,
 - pro svařování,
 - natírání povrchů výrobků,
 - využití jako mobilního prostředku ve víceúčelových pracovištích.
- 2) Nevýrobní oblast
 - v kosmu (manipulátor raketoplánu),
 - pod vodou (ponorky),
 - na zemi (k přepravě),
 - zdravotnictví (operace),
 - stavebnictví (skládání dlaždic),
 - zemědělství (trhání ovoce, automatické postřiky),
 - při poskytování služeb (čištění, prodej nápojů nebo potravin),
 - pro účely učení (didaktická pomůcka),
 - pro zábavu. [6]

5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY ROBOTIZACE PROCESŮ

5.1. Pojetí robotů systémově

Průmyslové roboty představují integrovaný kybernetický systém, který je složen ze tří subsystémů:

- 1) **Vnímací (senzorický) subsystém** – umožňuje vazbu s prostředím a vlastní složky podle fyzikálního charakteru sledované veličiny. Obsahuje senzory pro vnitřní nebo vnější informaci z pracovního prostředí.
- 2) **Řídicí a rozhodovací subsystém** – označováno jako centrum „duševní činnosti“ robotu neboli mozek robotu. Informace, které robot přijímá z okolí, jsou zpracovány a ukládány z důvodu plánování a vykonání určité činnosti. Je složen z procesů: vytvoření programu, reprodukce programu, zapamatování programu a vykonání programu. S vnímacím subsystémem vytváří kognitivní (inteligentní) systém.
- 3) **Akční (motorický) subsystém** – ovlivňuje prostředí tak, aby docházelo k jeho změnám. Jednotlivé systémy a subsystémy vytvářejí společný celek, ve kterém musí vzájemně spolupracovat. Proto je důležité na ně nahlížet komplexně a zajistit vyrovnaný výzkum a vývoj v rámci robotiky jako vědní disciplíny. [1]

5.2. Řízení průmyslových robotů

Systémy řízení PRaM (průmyslové roboty a manipulátory) úzce souvisí s číslicově řízenými stroji (NC stroji). Rozlišují se 2 druhy řízení:

- A. **Bodové řízení** – označované jako PTP (point to point neboli od bodu k bodu). Využívají se v případě, kdy je třeba manipulace robotu v jednotlivých bodech a mezi těmito body nebyla žádná souvislost z hlediska funkce. Příkladem této pracovní činnosti může být bodové svařování nebo obsluhování obráběcích, tvářecích a licích strojů. Na bodové řízení vyhovují prakticky všechny druhy pohonů robotu, ale za stanovených podmínek je výhodné využít pneumatický pohon.
- B. **Dráhové řízení** – pohyb robotu je naopak funkčně vázán k operačnímu procesu. Jedná se o spojitě řízení několika pohybů v čase a prostoru. Využívá se například u spojitě svařování, lakování nebo jiné povrchové úpravy. Mohou se pouze použít hydraulické, elektrické pohony nebo některé druhy kombinovaných pohonů. [1]

Většina robotů je programována metodou tzv. „učení robotů“ („play-back“), které rozdělujeme na:

1. Zprostředkované – učení pomocí programovacího panelu, na kterém se nastavují pro robot požadované body, ukládají se mu na zapamatování a nakonec panel určuje pokyny ke spojení těchto bodů po požadované dráze.

2. Bezprostřední – učení přímým vedením výkonného orgánu robotu po požadované dráze, kde je použit cyklus zapamatování (nahrát - „teach“) a tento cyklus se automaticky zopakuje v cyklu opakování (přehrát – „repeat“).
3. Pomocí tzv. „loutky“ – učení využitím náhradního mechanického systému v kinematické struktuře průmyslového robotu, který obsahuje odměřovací zařízení na zapamatování programovaného cyklu. Po dokončení procesu programování se loutka odstraní (např. otočením) a nahradí se skutečným robotem. [1]

Průmyslové roboty lze programovat přímo pomocí počítače a vývoj tohoto způsobu učení směřuje k určení pouze žádaného cíle bez naprogramování průběhu činnosti. Tento způsob učení lze použít u robotů s vyšším stupněm řízení. [1]

5.3. Teorie systémového přístupu

Systém je určená množina prvků a množina vazeb mezi prvky, které dohromady vytváří charakteristiku celku. Systémový přístup je chápán jako metoda myšlení, řešení problémů nebo metoda jednání, u kterého je daný případ řešen komplexně ve vnějších nebo vnitřních souvislostech. Uplatňuje se u komplikovaných jevů, které se mohou vyskytovat v mnoha různých oborech. [7]

Strukturu systému lze určovat na různé rozlišovací úrovni. První způsob je takový, že se dané vazby a prvky definují na hlavní úrovni, ale postupně jsou definovány podrobněji na nižší rozlišovací úrovni. Druhý způsob určování je zjednodušení rozsáhlého a složitého systému díky seskupování jednotlivých vazeb a prvků. [7]

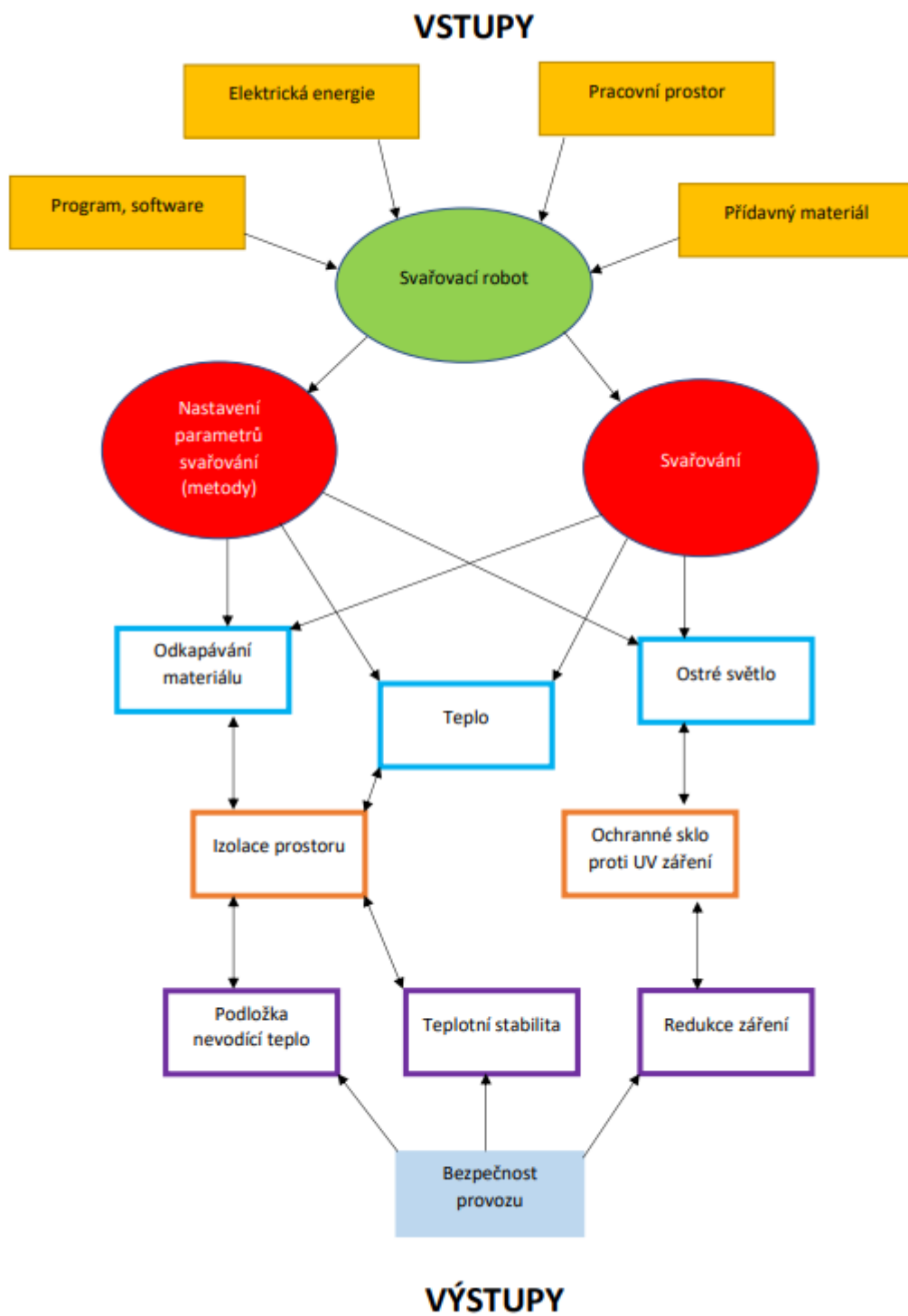
Metody systémového přístupu jsou přizpůsobené systémům, které se analyzují nebo navrhují. Mezi metody patří například metody pro analýzu a návrh informačních a řídicích systémů. Známa je také britská metoda SSADM (System Structured Analysis and Design Method). [7]

5.4. Systémový přístup na aplikaci PRaM v průmyslu

Pro aplikaci PRaM do průmyslové výroby se musí vyřešit několik problémů, aby byla zajištěna správná funkčnost daného systému. Tyto problémy se řeší komplexně, protože při vynechání jediné části by systém nemohl fungovat. Systém se skládá z množiny prvků a každý tento prvek má svoji funkci nebo svůj účel a dohromady vytváří konečné vlastnosti celku. Tyto systémy jsou relativně uzavřené, což znamená, že je u nich nutné uvažovat styk s okolím. Proto rozlišujeme jednotlivé vstupní a výstupní prvky, které zajišťují tento kontakt s okolím. [8]

5.5. Robot jako soustava konstrukčních uzlů

Na obrázku Obr. 3 se nachází blokové schéma průmyslového robotu jako soustavy konstrukčních prvků, u kterého se návrh a konstrukce stává právě komplexním problémem. Je třeba uvažovat několik dílčích problémů, které ovlivňují bezpečnost při práci svařovacího robotu. Mezi nejdůležitější prvky, které bezpečnost zajišťují, řadíme: teplotní stabilitu, redukci záření a podložku nevodící teplo.



Obr. 3) Blokové schéma svařovacího robotu

5.6. Kinematická struktura průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)

Základním stavebním kamenem pro roboty a manipulátory jsou mechanismy, kterými transformujeme pohyby a síly, a díky nimž můžou přemísťovat předměty, nástroje apod. Způsob, jakým se objekty přemísťují, vyplývá z požadované funkce jako například technologie výrobního procesu. [6]

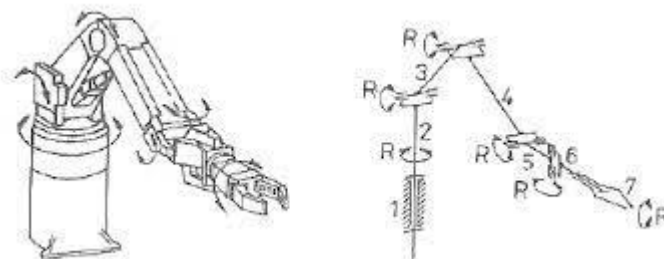
Principem kinematického řešení PRaM jsou jejich mechanismy sestavené ze vzájemně pohybujících se spojených členů, ovšem jeden z nich tvoří rám a nepohybuje se. Mechanismy jsou tvořeny kinematickými řetězci otevřenými v prostoru, které mají binární členy vázané prostorovými kinematickými dvojicemi. Pohyblivost těchto členů je určena počtem stupňů volnosti a je rovna počtu nezávislých jednoduchých pohybů (posuv a rotace), které vykonávají vůči sobě oba členy. [6]

Veškeré kinematické dvojice jsou hnací, což znamená, že pohyby všech členů jsou uskutečněny pomocí nezávislých pohonných jednotek (motorických pohonů). Jsou-li kinematické dvojice uspořádány za sebou, jedná se o **strukturu PRaM se sériovou kinematikou**, a pokud vedle sebe, nazýváme takovou **strukturu PRaM s paralelní kinematikou**. [6]

5.6.1. PRaM se sériovou kinematikou

Běžně používaná struktura. Stacionární průmyslové roboty a manipulátory se strukturou sériové kinematiky jsou pohybovým mechanismem složeným z mnoha binárních členů, které jsou na sebe vázány a sestaveny kinematickými dvojicemi (Obr. 4). Každý kinematický člen vlastní jeden stupeň volnosti, více stupňů volnosti není pro PRaM obvyklé. U PRaM se nejčastěji vyskytují kinematické dvojice:

- A. **Kinematická dvojice translační.** Jedná se o lineární (posuvný) pohyb dvou těles po sobě.
- B. **Kinematická dvojice rotační.** Tělesa rotují buď kolem vlastní osy, nebo kolem výstředné osy (kloubu), od které jsou vzdáleny daným ramenem o délce „R“. [1]



Obr. 4) Průmyslový robot se sériovým uspořádáním ramen [9]

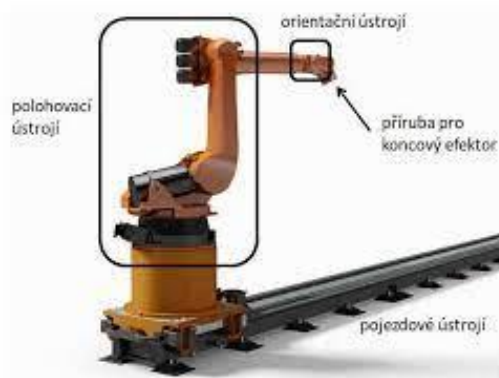
Pro obecnou orientaci a manipulaci v prostoru potřebujeme pouze 6 stupňů volnosti. K určení polohy bodu v prostoru stačí znát šest souřadnic. 3 souřadnice určují polohu těžiště v souřadnicovém systému x, y, z a 3 další souřadnice pak natočení objektu vůči osám x, y, z . [1]

V některých případech potřebujeme u PRaM počet stupňů rozšířit přidáním kinematických dvojic, které pak rozdělujeme podle umístění nebo podle funkce, kterou musí plnit. Takové rozdělení pak nazýváme jako funkční celky nebo funkční ústrojí:

1. **Pojezdové (lokomoční) ústrojí.** Jeho funkcí je přemísťování celého průmyslového robotu, který je sestaven odděleně a k pojezdovému ústrojí je připevněn. Nejvíce je využíváno pro potřebu robotu na více pracovních místech. Běžně se jako pojezdová ústrojí využívají otočná kola, kdy robot je schopný pohybu po obyčejné podlaze. Někdy se na roboty používají pojezdová kola, kterými se pohybují po kolejnicích nebo traverzách. Je zde nutné zajistit robotovu stabilitu, proto bývají výhodnější závěsné systémy, kde nedochází k dynamickým vlivům.

Jako pojezd je možné zvolit jednodušší systém, kdy je robot tažen lanem nebo řetězem. Při manipulaci robotu je ale nutné zajistit jeho stálou polohu. Tento problém je vyřešen pomocí kuželového čepu, který je při „zabrzdní“ robotu vsunut do soustavy podvozku. K zajištění polohy robotu může také sloužit hydraulické zpevňovací zařízení s plovoucími písty, mezi které se robot zachytí pomocí boční lišty a přistavených náběhů.

2. **Polohovací ústrojí.** Má zásadní vliv na stavbu a vzhled jednotlivého druhu robotu a jeho úkolem je zajistit polohu referenčního bodu „B“. Využívá přitom translačních i rotačních pohybů. Pro dosažení pohybu v prostoru je třeba polohovací ústrojí vybavit třemi kinematickými dvojicemi.
3. **Orientační ústrojí.** Jeho hlavním cílem je, aby byl uchopený a přemísťovaný předmět správně orientován. Stavbu robotu nějak neovlivňuje, je pouze doplňkem pro správnou dopravu předmětu. Vyskytují se zde převážně rotační kinematické vazby, výjimečně translační, jsou-li pro správnou funkci třeba.
4. **Výstupní hlavice (koncový efektor).** (Obr. 5) [1], [6]



Obr. 5) Akční systém průmyslového robotu [10]

Důležitou součástí akčního systému je referenční bod „B“, který se nachází mezi polohovacím a orientačním ústrojím a tvoří konec základního kinematického řetězce. Tento bod je polohován hlavně v prostoru. [1]

U průmyslového robotu bývá umístěn také kompenzátor polohy, který se nachází mezi orientačním ústrojím a hlavicí. Do kinematického řetězce je zahrnován pouze v případě, tvoří-li nedílnou součást při manipulaci. Předmět je uchopen současně dvěma částmi robotu: výstupní hlavicí a sklíčováním stroje, což někdy může vést k určité nepřesnosti. Z tohoto důvodu se umísťuje kompenzátor do kinematického řetězce, aby dané nepřesnosti mohly být odstraněny, a proto bývá označován jako kompenzátor orientace a polohy. [1]

Kompenzátory rozdělujeme na:

- **Vázané kompenzátory.** Jsou složeny z poddajných silových prvků, např. z pryžových bloků, z pružiny, z membrány nebo z vlnovce. Ovšem samostatné prvky nezajišťují opakovanou polohu předmětu, protože jsou ovlivněny gravitační nebo setrvačnou silou. Z tohoto důvodu je musíme doplnit vazbami, případně je zpevnit (například přidáním středícího kužele).
- **Volné kompenzátory.** Žádné poddajné silové prvky neobsahují a umožňují zcela volný pohyb koncového efektoru v určitých mezích například pomocí čepu s kuželovým zakončením. [1]

5.6.2. PRaM s paralelní kinematikou

Využívá myšlenku upnout obráběcí nástroj na plošinu (tzv. Stewartova plošina) uchycenou na kloubových závěsech, které mění svou délku. S pomocí manipulace touto plošinou může stroj opracovávat obrobek. Jsou potřeba minimálně 3 závěsy na umístění této plošiny, ale prakticky se osvědčilo využití 6 závěsů, proto je taková konstrukce označována jako Haxapod. [1]

Další příklad paralelní struktury je obráběcí centrum Dyna-M s hybridní pohonovou strukturou. Osy souřadnic x a y jsou postaveny k sobě paralelně a osa z sériově. Rovinný kloubový mechanismus je využit na vedení v rovině x a z a zároveň na nošení vřetena. [1]

Vyskytují se i průmyslové roboty s čistě paralelní kinematikou. Vyrábí je například firma ABB (Obr. 6). Jsou typické šikmým zavěšením lineárních akčních členů. Roboty dosahují vysoké manipulační rychlosti díky pohybu v užším akčním rádiu a mají uplatnění v potravinářském průmyslu nebo při montování solárních článků. [1]



Obr. 6) Průmyslový robot s paralelní kinematickou strukturou od firmy ABB [9]

5.7. Pohony robotů

Pohon je soustava měnící vstupní energii na výstupní. To znamená přenos mechanického pohybu (rotace, translace) a pohyblivou část mechanismu, který zajišťuje danou funkci. [6]

Rozdělení pohonů:

- A. **Mechanické pohony.** Transformuje se u nich mechanická práce na potřebný pohyb mechanismu nebo části mechanismu. Pro přenos těchto pohybů se využívají například váčkové mechanismy, krokovací mechanismy, pákové mechanismy, narážkové mechanismy apod. Velký problém těchto pohonů je, že není možné dosáhnout žádané trajektorie pohybu a nelze ji programovat. Z tohoto důvodu se mechanické pohony využívají u jednodušších zařízení nebo u mechanismů pro jediný účel. Jejich výhodou je především přesnost, rychlost, životnost a spolehlivost. Jejich cena je závislá na velikosti sériové výroby, což u ostatních mechanismů neplatí. [1]
- B. **Pohony hydraulické.** V tomto pohonu můžeme nalézt různé typy motorů jako například hydraulický axiální pístový motor, který funguje na principu tlakové kapaliny přiváděné k jednotlivým pístkům, které působí tlakem na valivě uložený otočný kotouč, u něhož způsobuje rotační pohyb a společně s rotačním unašečem způsobí pohyb robotu. Jsou častokrát nahrazeny pohony elektrickými. Další druhy rotačních hydromotorů jsou: zubové, lamelové a šroubové. Mezi hydraulické pohony se řadí také hydromotory přímočaré (lineární) nebo kývavé, kde se robot dostává do pohybu radiálním působením pístů. [1]

Jsou výhodné z důvodu dosažení vysokého výkonu při malé hmotnosti pohonu, dobré účinnosti, spolehlivosti, možnosti využít malé rychlosti pohybu bez převodů, vysoké tuhosti, plynulého řízení rychlosti a umí dosáhnout požadované polohy. I přes tolik dobrých vlastností mají i své nevýhody, jako je nutnost užívat je v samostatném a odděleném energetickém bloku, v závislosti na teplotě a hořlavosti kapaliny mohou změnit svoji viskozitu a těžce dosahují vyšších rychlostí. [1]
- C. **Pohony pneumatické.** Vhodné pro průmyslové roboty nebo manipulátory s menšími výkony a s jednoduššími pracovními cykly. Praktické využití u nich mají motory s přímočarým pohybem (tzv. pneumatické válce). Nemohou se pohybovat vyšší rychlostí z důvodu působením velkých setrvačných sil působících při rozběhu a brzdění na předmět. Vyskytují se i rotační pneumatické pohony, které jsou nevhodné kvůli hlučnosti, vysokým otáčkám a náročnému manipulování. Využití můžeme také nalézt u tzv. přímočarých vícepokojevých motorů vytvářených spojením dvou i více dvojčinných válců. [1]
- D. **Pohony elektrické.** Mají největší využití. Transformují elektrickou energii na mechanickou práci, čímž umožňují pohyb robotu. Lze je považovat za mechanický systém, který poskytuje kinematiku a dynamiku přenosu pohybu a obstarává řízení a komunikaci robotu. Subsystem elektrického pohonu se skládá z několika elektromotorů, které jsou spojeny se snímači stavových veličin, s napájecími měniči a s řídicími obvody. [1]
- E. **Pohony kombinované.** Vznikají spojením některých prvků různých pohonů za účelem vytvořit takový pohon, který bude mít výhodné vlastnosti od různých druhů

pohonů. Kombinují se u nich různé nositelé energie. Největší využití mají pohony elektrohydraulické a pneumohydraulické. [1]

5.8. Pohybové jednotky robotů

Průmyslové roboty a manipulátory jsou sestaveny stavebnicově nebo integrovaně (kompaktně). Stavebnicová konstrukce vzniká spojováním samostatných jednotek nebo modulů. Integrovaně se označují konstrukce, v nichž tyto jednotlivé části nemají samostatnou činnost při rozložení robotu. [1]

Důležité pojmy:

Modulová koncepce – počet stupňů volnosti a kinematická struktura jsou voleny na základě podmínek jeho aplikace např. na výrobní linku. Průmyslový robot je pak sestaven z vhodných konstrukčních modulů. [1]

Konstrukční modul – funkčně a konstrukčně nezávislá jednotka, kterou je možné použít samostatně, nebo s jinými konstrukčními moduly podle potřeby. Jsou vybaveny obvykle hnacími prvky, mechanismy, energetickými a informačními spojeními a ty zajišťují průmyslovému robotu jeden nebo i více stupňů volnosti. Moduly jsou přizpůsobeny tak, aby se mohly vzájemně spojovat díky stykovým plochám a konektorům. Z toho vyplývá, že je lze sestavit bez určitých projektových nebo montážních prací. Ovšem je nutné, aby konstrukční moduly byly přichystány podle určených velikostních řad (zachování logické struktury), což znamená sestavení robotu od základního modulu, který je nejtěžší a nejvýkonnější, po modul koncový, který je naopak nejlehčí a nejméně výkonný. [1]

Z těchto konstrukčních modulů lze dosáhnout snadného a rychlého sestavení průmyslového robotu s požadovanou kinematickou strukturou a počtem stupňů volnosti. V případě změny výrobního sektoru nebo jeho části, na který je průmyslový robot sestaven, může být velmi jednoduše přizpůsoben na jinou práci díky rychlé změně struktury. Proto jsou stavebnicové konstrukce robotů výhodnější než konstrukce integrované. [1]

Jsou případy, kdy je nutné přistoupit na stavbu průmyslového robotu využitím stavebnicové a integrované složky. Jedná se o situace, kdy je požadovaná univerzálnost a možnost využití více sestav modulárních průmyslových robotů a narůstá tak složitost jeho konstrukce. Pak je třeba použít na jejich sestavení prvky, které potom zůstávají nevyužity. Další problém v užívání pouze stavebnicové konstrukce je, že taková stavba robotu bývá mohutnější, těžší, a dokonce ne tak vzhledná. Proto integrované konstrukce mohou být v těchto případech efektivnější. [1]

Pro stavebnicové a integrované konstrukce je důležité řešení kinematických dvojic, tedy řešení translačních (lineárních) a rotačních pohybů:

1. **Lineární pohybové jednotky** – jsou 2 možnosti posuvu tělesa:
 - **Pohyb suportu** (stolu) – slouží u PRaM hlavně k přemístění celého robotu nebo manipulátoru a k vysouvání smykadla je obvykle užívaná výsuvná jednotka.
 - **Pohyb „vedení“ jednotky** (neboli vysunutí smykadla) – je obvykle užívaná výsuvná jednotka.

Vodící dvojice mohou být uspořádány taky 2 způsoby:

- zaměřeny na jedno těleso (soustředné plochy),
- odděleny od sebe na více tělesech (rozdělené vedení).

U průmyslových robotů se preferují vedení valivá z důvodu jednoduššího mazání a z důvodu robotu pracujícího v automaticky opakujícím se procesu, kde se požadují poměry bez vůle s co nejmenším třením. Náhradu valivých lineárních prvků může tvořit **kloubový mechanismus**. Ten spočívá v umístění spojovacího mezikusu nebo ozubených segmentů přímo doprostřed mezi 2 ramena. [1]

2. Rotační pohybové jednotky – 2 způsoby pohybu:

- Jednotky, které se mohou teoreticky otočit vícekrát než o 1 otáčku. Lze je rozdělit na:
 - rotační pohybové jednotky **s přímým náhonem**, u kterých je točna navázána na motor,
 - rotační jednotky **s nepřímým náhonem**, kde točna je oddělena od motoru a ten je k ní připojen.
- Jednotky s kývavým pohybem, kde posuvný motor má omezenou délku zdvihu. Kývavé pohyby lze taky rozdělit na:
 - kývavé jednotky **s přímým náhonem**, pokud dochází k transformaci pohonu k lineární závislosti,
 - kývavé jednotky **s nepřímým náhonem**, pokud dochází k transformaci pohonu k nelineární závislosti. [1]

5.9. Koncové efekty (výstupní hlavice)

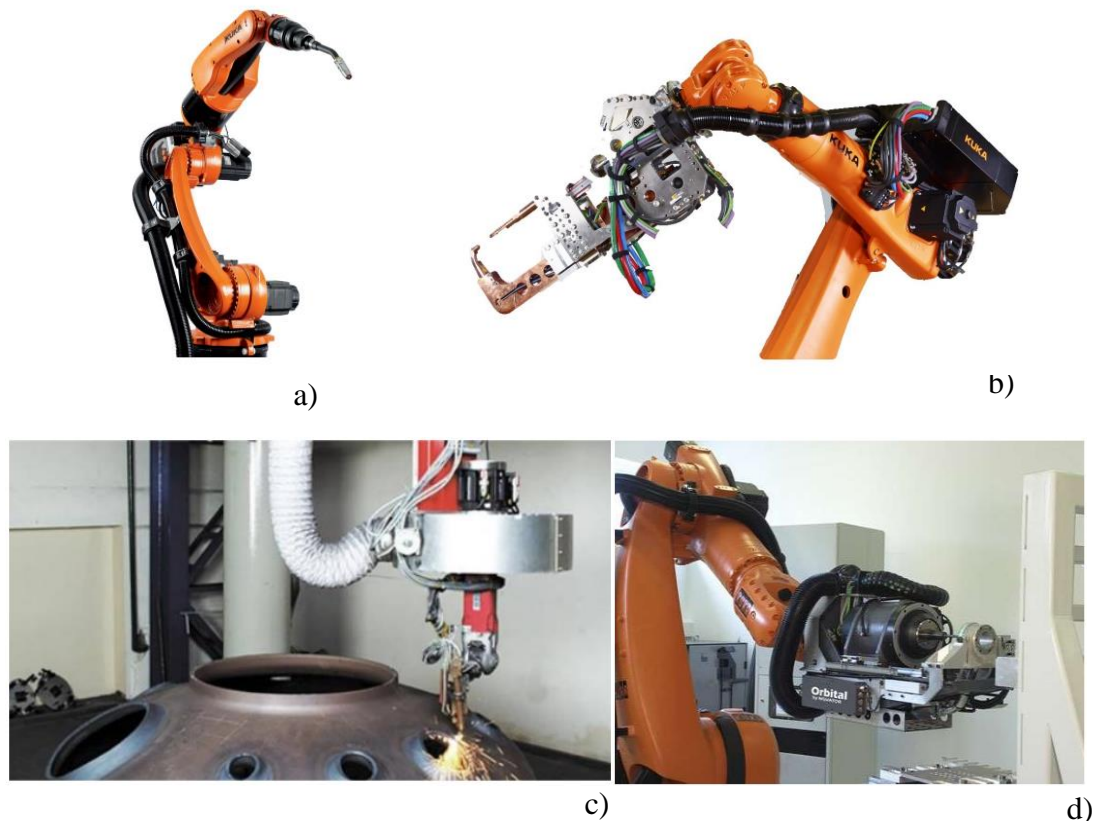
Je umístěn na konci kinematického řetězce u průmyslových robotů a manipulátorů a jeho podoba je přizpůsobena tomu, jakou funkci bude mít. Koncový efektor (neboli výstupní hlavice) může vykonávat tyto činnosti: a) vložení objektů do prostoru výrobních strojů nebo zařízení a následně jejich odejmutí, b) manipulace uprostřed procesu, c) operace technologické, d) operace kontrolování, e) operace speciální. [1]

Z konstrukčního pohledu se rozdělují na efekty technologické, manipulační (chapacla), kombinované a speciální [1]

5.9.1. Technologické efekty

Druhy výstupních hlavic určujeme podle technologické operace, kterou budou vykonávat (Obr. 7):

- tavné elektrické svařování (obloukové svařování nebo odporové svařování),
- stříkání nátěrů a ochranných hmot,
- obrábění náradí,
- montážní práce (sestavování součástek, spojování dílů, např. hřebíků lepení, kontrolní operace, speciální práce). [1]



Obr. 7) Druhy koncových efektorů: a) svařovací, b) pro bodové svařování (spojování), c) pro dělení materiálů, d) pro obrábění materiálů [11]

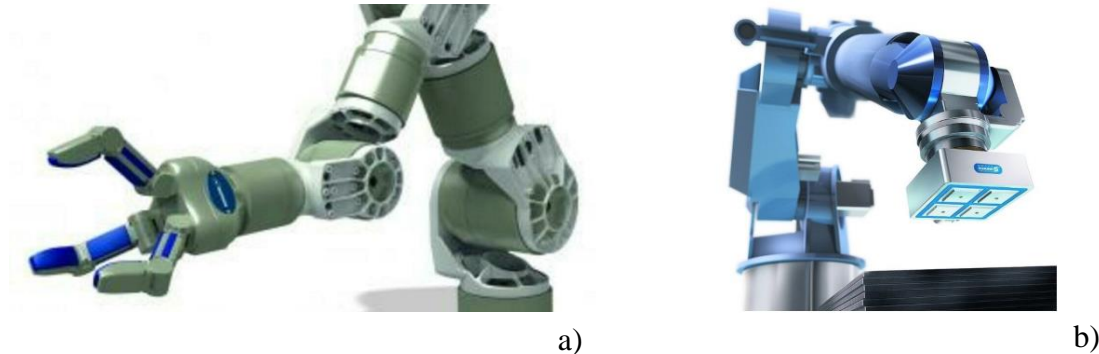
5.9.2. Manipulační výstupní hlavice (chapadla)

Slouží k držení a přemísťování předmětů za účelem dalšího manipulování s nimi (Obr. 8). Jsou sestaveny přímo na aplikace, které budou v budoucnu vykonávat. Část hlavice, která přichází do kontaktu s přenášeným objektem, se nazývá „úchopový prvek“. Dle charakteru styku se zmiňované prvky dělí na: mechanické, magnetické a podtlakové. Úchopové prvky, které považujeme za pasivní, nemohou ovlivnit úchopovou sílu na rozdíl od úchopových prvků aktivních. Efektory s pouze pasivními úchopovými prvky mohou pouze objekt uchopit, ale k jeho uvolnění je třeba vnější síly. [1]

Existují jednotlivé druhy úchopových prvků:

- a) Mechanické
 - pasivní, používají technologii: pevné a stavitelné opěry nebo pružné a odpružené čelisti
 - aktivní: s hydromotorem, pneumotorem, elektromotorem nebo s elektromagnetem
- b) Magnetické
 - pasivní: permanentní magnety
 - aktivní: elektromagnety
- c) Podtlakové
 - pasivní: deformační přísavky (nebo může být použit deformační ventil)
 - aktivní: s vývěvou nebo s ejektorem

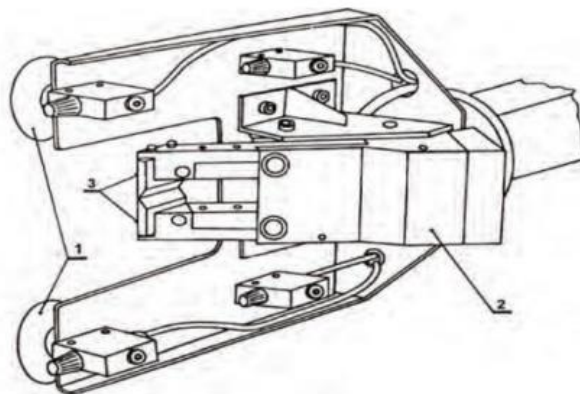
d) Speciální [1]



Obr. 8) Příklady chapadel: a) tříprsté chapadlo, b) magnetický manipulační koncový efektor [11], [12]

5.9.3. Kombinované výstupní hlavice

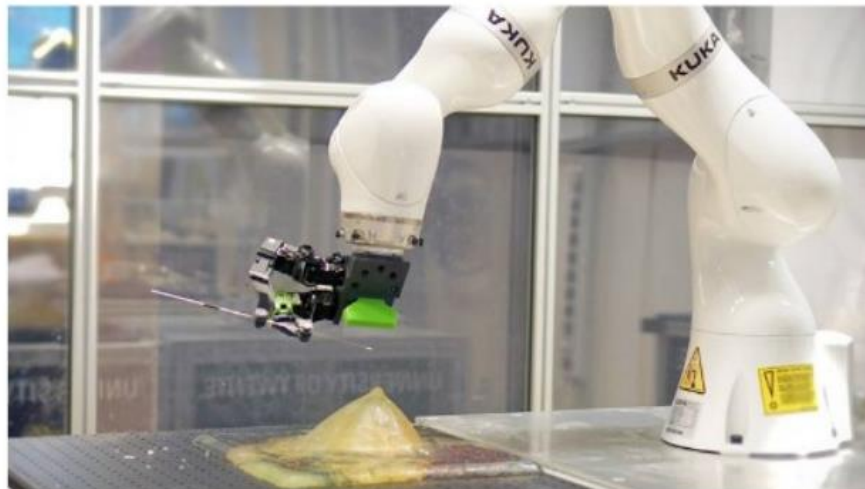
Vytváří kombinaci manipulačního efektoru (chapadla) a technologické výstupní hlavice. V praxi se častokrát používá na práci s odlitky u lisů pro hmoty z plastu nebo na práci technologického tváření za tepla. Efektor je sestavený jako chapadlo a zároveň jako technologická výstupní hlavice, která je zde umístěná pro ohřev povrchu objektu, se kterým je manipulováno. Efektor v tomto případě musí být vybaven chladicím systémem, aby mohl odvádět teplo. Další příklad kombinovaného efektoru na Obr. 9. [1]



Obr. 9) Kombinované chapadlo pro odšťikování vtokového nálitku odlitku: 1) podtlakové komory, 2) nůžky, 3) čelisti [11]

5.9.4. Speciální výstupní hlavice

Jde o efektor s využitím pro speciální aplikace (pro servisní roboty). Jsou vybaveny senzory (snímači, čidla), které jsou nutné pro rozvoj adaptivity robotů a robotických systémů. Nejdůležitějším senzorem pro automatickou montáž je taktilní (hmatový) senzor. Považují se za tlaková čidla, která snímají silové a tlakové změny a ty pak přeměňují na napěťové impulzy. Zmíněná chapadla jsou vhodná pro průmyslové podmínky a strojírenské výrobní systémy (Obr. 10). [1]

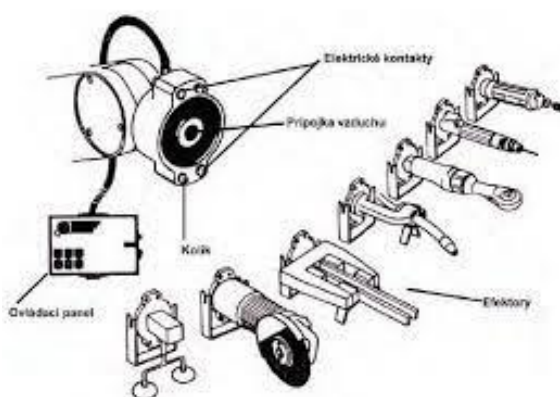


Obr. 10) Speciální výstupní hlavice určena pro diagnostiku rakoviny prsu v medicíně [11]

5.9.5. Automatické výměny efektorů

Jsou určeny pro pracoviště, kde je potřeba vykonávat více manipulačních nebo technologických operací. Díky automatické výměně výstupních efektorů robot umí pružně reagovat na změnu tvaru a rozměru manipulovaného objektu a taky se umí přizpůsobit změně technologického postupu, aniž by došlo k přerušení jeho automatického pracovního cyklu v rámci jednoho výrobního procesu. Vznikají tak univerzální roboty, které jsou ovšem nákladnější na pořízení a mají vyšší riziko závady. Pak záleží na posouzení, zda jsou pro danou výrobní linku výhodnější. [1]

Systém automatické výměny výstupní hlavice je funkční uzel, kde si robot vybere a automaticky připevní na sebe podle potřeby příslušný koncový efektor pro vykonání určené operace (Obr. 11). [1]



Obr. 11) Automatická výměna koncových efektorů pomocí magnetické síly [11]

5.10. Senzorické systémy robotů

Slouží robotu na adaptaci určité změny sledovaných parametrů a na základě získaných informací řídicí systém reaguje a přizpůsobuje pohyby robotu. Adaptivita je dána kvalitou

vybavení robotu o senzory. Díky sensorům je robot schopen vnímat své okolí stejně dobře jako člověk, nebo dokonce i lépe. Člověk vnímá změny okolí subjektivně (teplota, vlhkost, atd.). Na rozdíl od robotu a jeho spektrum vidění a slyšení je omezeno. Průmyslový robot je vybaven senzory, které podávají přesné informace a díky kterým je robot schopen získávat informace o okolí ve všech optických a akustických pásmech. [1]

Senzor vyhodnocuje prostředí pomocí citlivé části čidla, která vyhodnocuje měřenou většinou neelektrickou veličinu a převádí ji na elektrickou veličinu. Poté je tato veličina ve vnitřním systému zpracována. [1]

Senzor se skládá z těchto 3 částí:

- vstupní část – poskytuje přístup měřené veličiny a přeměňuje ji na elektrický signál,
- vnitřní část – zpracovává daný elektrický signál a kompenzuje vliv okolí (teplotu),
- výstupní část – umožnění komunikace senzoru s řídicím centrem. [1]

5.10.1. Dělení senzorů

- 1) **Elektromechanické snímače** – můžou to být tlačítka, dále sem patří veškeré snímače (havarijní, koncové atd.). Síla je přenášena nejčastěji pomocí pístku se stříškou nebo rolnou nebo kuličkou. Jejich úkolem je především snímání přejezdu přes daný bod nebo přes bezpečnostní snímač na konci dráhy k zabránění havárie.
- 2) **Tenzometry** – snímače reagující na deformaci změnou svého odporu. Jsou spojeny s povrchem sledovaného objektu, který přenáší deformace na tenzometr. Mohou být drátkové, fóliové nebo polovodičové.
- 3) **Indukční senzory** – k bezdotykovému snímání kovových předmětů. Fungují na principu vysokofrekvenčního elektromagnetického střídavého pole. Mají vysokou životnost a dobrou odolnost proti teplotním změnám, proti rušení a lze je použít ve vlhkém a prašném prostředí. Jejich nevýhodou je ale omezenost na kovové předměty a malý rozsah působnosti.
- 4) **Kapacitní senzory** – bezdotykové snímání objektů pomocí dvou kovových elektrod, které vytváří elektrické pole. Při vstupu objektu do elektrického pole vzniká vyšší vazební kapacita a okruh začne kmitat. Výhodou je dlouhá životnost, zaznamenají kovové i nekovové předměty, odolné proti rušení a teplotním změnám. Nevýhodou je velká snímací vzdálenost pouze u kovových objektů.
- 5) **Magnetické senzory** – využívají Hallův efekt (malá křemíková destička, kterou protéká proud). Mají využití k měření a detekci pohybů, přiblížení a umístění. Oproti např. indukčnímu senzoru lze tento senzor velmi dobře zmenšit.
- 6) **Senzory CCD** - tzv. technické vidění. Díky těmto sensorům robot rozpozná tvar součásti a určí její orientaci. Využívá fyzikálního jevu fotoefekt.
- 7) **Světelné závory** – snímají objekty pomocí přerušování světelného paprsku, který daný objekt přerušil. Jako vysílač světla slouží buď LED dioda, nebo laserová dioda a přijímačem je fototranzistor nebo PIN fotodioda.

- 8) **Bezpečnostní sensorika** – jsou na ně kladeny větší nároky. Slouží pro bezpečnost člověka a vyskytuje se všude, kde můžeme nalézt automatický pohyb. Druhy bezpečnostních zařízení: nouzová STOP tlačítka, bezpečnostní světelné závory, bezpečnostní laserový skener, bezpečnostní dveřní snímače a nášlapné rohože. [1]

6 REŠERŠE ZNÁMÝCH ŘEŠENÍ

6.1. Robotizace výrobních systémů

Výrobní procesy jsou dány souborem technologických, manipulačních a řídicích činností ve strojírenském průmyslu a jejich účelem je změna tvaru, rozměru, jakosti, složení, spojování materiálů do předem určené podoby produktů. [1]

6.1.1. Potřeby robotizace

Roboty se dnes neustále vyvíjejí díky tlaku konkurence a lze je dnes najít v mnoha různých průmyslových odvětvích, ve kterých se nikdy nevyskytovaly. Je odhadováno, že čím dál více porostou nároky zákazníků na kvalitu výrobků, cenu a rychlost dodávky apod. Následující příklady ukazují potřeby pro vytváření robotizovaných technologických pracovišť (RTP):

- nové technologie,
- modernizace výroby,
- výrobky a výrobní prostředky jsou inovovány,
- pracovní produktivita,
- humanizace člověka a omezení jeho práce v nepříznivých podmínkách,
- ekologičnost,
- výroba řízená pokročilými metodami,
- rozšíření výrobních kapacit. [1]

6.1.2. Návrh robotizovaných technologických pracovišť a jejich složení

Při navrhování RTP je potřeba uspořádat a řešit výrobní systém tak, aby splňoval požadavky pro optimální využívání zdrojů (materiálů, energií, prostor atd.), prostředků (manipulačních, výrobních, kontrolních...) a pracovní síly, které mohou ovlivňovat efektivitu a produktivitu práce. Je nutné dodržovat systémový a komplexní přístup. Při návrhu je potřeba postupovat v těchto jednotlivých fázích:

1. porozumění problematice výrobního procesu,
2. zvládnutí problematiky navrhování. [1]

Pokud člověk není na danou technologii odborníky, je potřeba si tuto technologii nechat vytvořit specialisty z oboru do požadovaného technologického postupu. Je také třeba brát v úvahu následující faktory při vytváření výrobního systému:

- materiál a polotovar,
- jak bude vypadat výrobek,
- technologie výroby,
- odbornost pracovníků a pracovní prostředí pro ně,
- způsob využití, množství a druh energie,
- organizace prostoru a času. [1]

Pro efektivnost technologického procesu je důležitá technická a ekonomická vyváženost jednotlivých částí a provozních podmínek systému. Tato efektivnost závisí na aktivitě člověka, jeho tvůrčích schopnostech. [1]

Při realizaci daného návrhu v praxi rozdělujeme etapy na předprojektovou a projektovou neboli realizační etapu. U předprojektové etapy se jedná o představu funkce budoucího výrobního procesu, tedy stanovení výchozích předpokladů pro rozvoj výrobního systému z hlediska komplexnosti a systémovosti. Druhá etapa upřesňuje a rozpracovává základní myšlenku pro vytvoření výrobního procesu a realizuje technickou, projektovou a realizační dokumentaci. [1]

Projektová etapa je složena ze dvou stupňů. U prvního je soustředěnost zaměřena na otázku konstrukčně-technologickou (analyzuje výrobu z hlediska tvaru, rozměru, jakosti, počtu kusů dané součástky, realizuje sériové výroby, její opakovatelnosti a hledá správně zvolený technologický proces). Druhý stupeň je pak zaměřený na technicko-organizační charakter (navrhuje specializovanou, časovou a prostorovou strukturu, pracovní prostředí, materiálový a informační tok atd.) [1]

6.1.3. Složení strojů a zařízení RTP

1. **Robotizovaný modul** – základní provozní jednotka, je schopna samostatné automatizace a je základním prvkem pro vyšší úrovně částí robotu. Obstarává 3 hlavní operační skupiny bez přítomnosti člověka: technologický proces, manipulační operace a řízení všech funkcí modulu (výrobní, manipulační a kontrolní vazby, včetně jejich kontaktu s prostředím).
2. **Skupina robotizovaných buněk** – interakce mnoha modulů nebo buněk podobné struktury a zajišťuje dopravu mezi operacemi řízenou centrálně.
3. **Pružné robotizované systémy** – vytvoří se integrací robotizovaných modulů, buněk nebo skupin buněk a mají různou výrobní funkci.
4. **Robotizované linky** – pevnější vazba buněk a modulů než u pružných robotizovaných systémů. Vazba je závislá na technologickém postupu výroby. [1]

6.2. RTP na manipulaci s objekty

Oblast manipulování s materiálem se může rozdělit do několika skupin: materiálová doprava, skladování materiálů, mezioperační a operační procesy, manipulování s materiálem, s odpady, dále balení, vážení a počítání kvantity. [1]

Správným návrhem výrobní linky pro manipulaci s materiálem lze dosáhnout menší potřeby pracovníků, odstranění namáhavé a rutinní práce a zvýšit bezpečnost práce. Manipulací materiálem snižujeme také počet rozpracovaných procesů během výroby a potřebu výrobních a pomocných ploch. U toku materiálu je třeba vyřešit následující parametry: směr (odkud kam se má materiál pohybovat), intenzita (jaké množství materiálu bude procházet za jednotku času) a frekvence (kolik cyklů proběhne za jednotku času). [1]

Příkladem takové aplikace je Průmyslový robot ABB IRB 4400/60 (Obr. 12), který byl navržen na Vysokém učení technickém v Brně. Váží 60 kilo a byl sestaven pro manipulace u nejběžnějších technologií (obrábění, svařování, atd.). Jeho pojezdová dráha měří 6 metrů a je vybaven automatickou výměnou koncových efektorů (chapadel), konkrétně pro něj byly

navrženy 3 druhy koncových efektorů. První chapadlo slouží k uchopování šestihranů s adaptivitou na povrch. Druhé chapadlo je určeno k přemisťování součástí o rozdílných průměrech. A třetí chapadlo je vybaveno podtlakovými efektorů pro ploché součásti. [1]



Obr. 12) Průmyslový robot ABB IRB 4400/60 na VUT v Brně [13]

6.3. Návrh RTP pro technologické účely

6.3.1. RTP pro obrábění

RTP a automatizované systémy poskytují odlišné možnosti pro obrábění. PRaM se uplatňují hlavně v operacích jako soustružení, vrtání, frézování a obrábění nerotačních součástí. Možná využití PRaM jako obráběcí stroje:

- 1) Pro manipulační proces – odebrání obrobku a ukládání do stanovených pozic (zásobník, další stroj, paleta atp.) nebo pro vyjímání polotovarů ze zásobníku a jejich následné upnutí do zásobníku stroje, ve kterém jsou upnuty během celé doby obrábění.
- 2) Integrace manipulačního řízení do stroje – nástrojová výměna nebo manipulování s paletami v obráběcím centru.
- 3) Provedení procesu obrábění – upravení hlavice robotu na potřebný nástroj, např. malá vrtačka, bruska, ocelový kartáč, frézky apod. nebo přizpůsobení hlavice robotu na uchopení objektu, se kterým pohybuje proti obráběcímu nástroji, frézce, brusce atp. [1]

K určení vhodnosti využití PRaM na proces obrábění jsou důležitá následující kritéria:

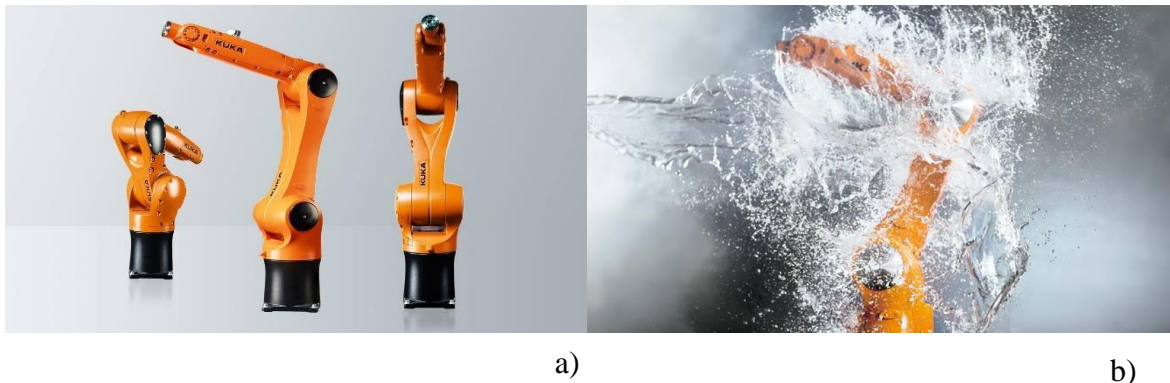
- vzájemná poloha nástroje a obrobků v počáteční poloze (otevřená, uzavřená),
- systém umisťování obrobků (počet polohovacích ploch, obrobek zavázán řeznými silami),
- znečištění pracoviště třískami, chladicí vodou apod,

- nutnost přidání zařízení na odstranění nečistot. [1]

Pro obrábění, u kterého využíváme robot, jsou nejvhodnější rotační součásti, protože se pro ně vyskytuje největší počet aplikací. Důležitá je zde dobrá přístupnost robotu k obráběcímu nástroji a vysoká přesnost polohování. PRaM nabízí tyto různé možnosti obsluhy obráběcího stroje: integrace do konstrukce stroje, vkládání obrobků do vnějšího zásobníku, ukládání obrobků do vlastního zásobníku, jako portálový manipulátor, mostový manipulátor anebo univerzální sloupový nebo stojanový robot. [1]

Příklad robotu: robot Kuka KR Agilus (

Obr. 13) – patří k sérii drobné robotiky s vysokým výkonem během maximální rychlosti. Má vysoce lesklý lak, nerezové kryty a možnost připevnění na stěnu nebo na strop. Je specifický v tom, že je voděodolný. Příklady použití má více díky možnosti výměny koncového efektoru: manipulace s obrobky, paletování obrobků, propojení strojů (přenášení obrobků z jednoho stroje do druhého) a manipulace s nástroji (obsluhování obráběcího stroje). [14]



Obr. 13a), b) Voděodolný robot Kuka KR Agilus [14]

6.3.2. RTP pro svařování

Svařování je proces, při kterém dochází ke spojení 2 kovů vzájemným působením meziatomových sil za vysoké teploty nebo tlaku. Roboty jsou navrženy hlavně pro obloukové a bodové svařování. [1]

Při obloukovém svařování součástek pomocí PRaM je třeba brát v potaz při navrhování pracoviště následující činitele: technologické operace, svařované objekty, řešení svářečského systému, požadavky na použité průmyslové roboty a na svařovací vybavení. Obloukové svařování je vhodné do provozů, kde se vytváří menší výrobky v rozsáhlejších sériích nebo rozměrné výrobky vyrábějící se opakovaně. U obloukového svařování by svařované spoje měly být přístupné pro svařovací efektor, nepřijatelné jsou větší rozdílové rozměry mezi svařovanými objekty, povrch by měl být čistý, tvar objektů je omezen kvůli dosahu robotu a určení referenčního místa pro objekt, dle kterého se umísťuje v přípravku pro svařování. [1]

Bodové svařování využívá svářečí kleště jako svářečí nástroj. Jedná se o svařování plechu s tloušťkou 0,6 až 1 mm. Povrchy plechů jsou tvarované a upravené tak, aby bylo možné bodové svařování realizovat. Často se vyskytující v automobilovém průmyslu. [1]

Příkladem je robotické pracoviště s robotem Kuka KR 125/1 (Obr. 14) obsahuje modulární svařovací soupravu s pneumatickým rychloupínacím zařízením, bezpečnostní ohrazení, svařovací soupravu a hrotové kleště. Využívá pevně upínací zařízení, která zajišťují polohování při svařování. Upevnění svařovaných dílů je uskutečněno pneumaticky. Řízení svařování proudu zajišťuje řídicí systém, který je součástí svařovacích kleští. [15]



Obr. 14) Robotické pracoviště Kuka se svařovacím robotem [15]

6.3.3. RTP pro montáž

RTP patří k nejvyužívanějším pro účely montáže. Montáží se rozumí sestavování součástí do předem stanovených celků, případně do dokončených výrobků. Nejčastěji se využívá v elektrotechnickém a automobilovém průmyslu. Jelikož se jedná o malé součástky, v pracovišti je nutná přítomnost zásobníku, ve kterém každá součást musí být správně orientována a oddělena od ostatních. Pro tyto účely je třeba provést kontrolu spojů pro montáž s cílem snížit jejich počet, zjednodušit konstrukci spojů a odstranit různorodost spojů. Vhodné montážní prostředky jsou montážní zařízení, manipulační zařízení a řídicí systém. [1]

Rozhodující vliv mají montážní zařízení (montážní centra, stroje, nástroje, montážní jednotky, řada různých přípravků atd). Tato zařízení musí provádět náročné operace se součástkami, je zde kladena vysoká přesnost a tuhost jednotlivých mechanismů podílejících se na montáži. [1]

Základní druhy prací při montážním procesu:

- Přípravné práce – čištění, třídění a ukládání součástí do zásobníku.
- Lisovací práce – snaží se splnit technické požadavky a smontovatelnost součástí.
- Montáž skupin, podskupin, výrobků a celků.

- Seřizovací práce – zajištění přesné vzájemné polohy součástí vůči sobě a v celku.
- Kontrolní práce – ověřují správnost smontování součástí, správnost funkce a zdali se dosáhne požadovaných parametrů.
- Plnicí práce – příprava výrobku k provozu nebo k uskladnění. Plnění mazivy, pohonnými hmotami atd. nebo konzervace výrobku, než se uskladní.
- Demontážní práce – pro úspornější uskladnění při expedici a dopravě. [1]

Montážní práce například v automobilovém průmyslu vykonává Kobot (kolaborativní robot, viz str. 36) UR16e, který umí montovat kliky od dveří, stěrače atd. a zastává tak funkci dělníků. Je schopen nést objemnější předměty jako kola, poklopy a kapoty motoru. Na obrázku (Obr. 15) robot připevňuje autosedačku na připravený pojezd. [16]



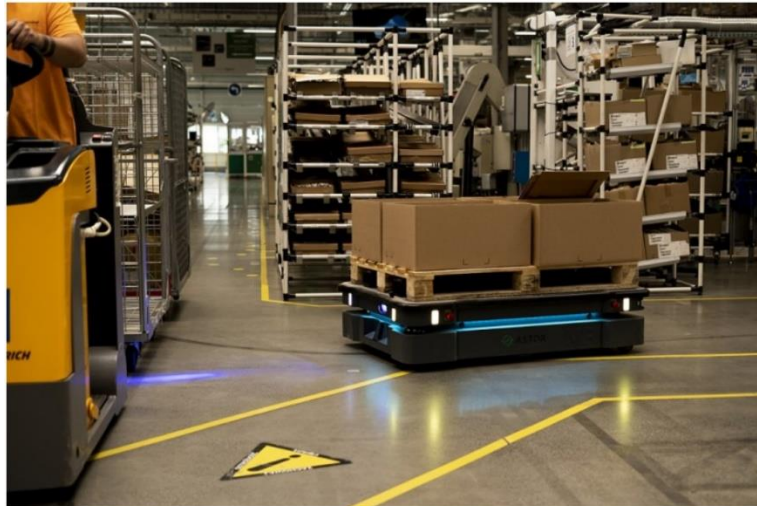
Obr. 15) Kobot UR16e vykonávající montážní činnost [16]

6.3.4. Robot jako mobilní prostředek

Roboty v průmyslu se nemusí využívat pouze na manipulační nebo technologické operace, ale mohou sloužit i jako mobilní prostředek ve výrobní hale. Příkladem je mobilní robot MiR500 ve společnosti Schneider Electric Industries, která má sídlo ve městě Bukowno v Polsku. Autonomní mobilní roboty dopravují palety s nákladem o hmotnosti až 400 kilo mezi výrobou a sklady. Pomáhají optimalizovat interní logistiku, snížit přepravní náklady a zlepšit bezpečnost. [17]

Robot MiR500 funguje 24 hodin denně ve třisměnném provozu a pokrývá 8 přepravních drah s průměrnou délkou 140 metrů. Během směny robot může najet až 5,5 – 6 km. Jeho funkcí je po zadání úkolu od pracovníka skladu vzít prázdnou paletu ve skladu a převezít ji k výrobní lince. Zde prázdnou paletu odloží a vymění ji za paletu naloženou zbožím, kterou dopraví zpátky do skladu. Pokud nemá další úkol, samovolně odjede do nabíjecí stanice. [17]

Robot je vybaven zdvižným modulem, který zjednodušuje vyzvedávání palet. Jeho senzory jsou propojené s Wi-Fi sítí a poskytují informace o aktuální pozici robotu. Robot je vybaven 360stupňovými laserovými skenery, které nepřetržitě snímají okolní objekty a zaručují tak bezpečnost. Pokud jeho laserový skener detekuje člověka nebo stroj, zastaví a překážku objede. Bezpečnost zvyšují i zvukové signály, které robot vydává při vstupu do místnosti, a osvětlení modrou barvou (Obr. 16), díky čemuž je těžké ho přehlédnout. Díky flexibilitě robotu lze přenastavit úkol rychleji bez dodatečných nákladů a bez nutné externí podpory. [17]

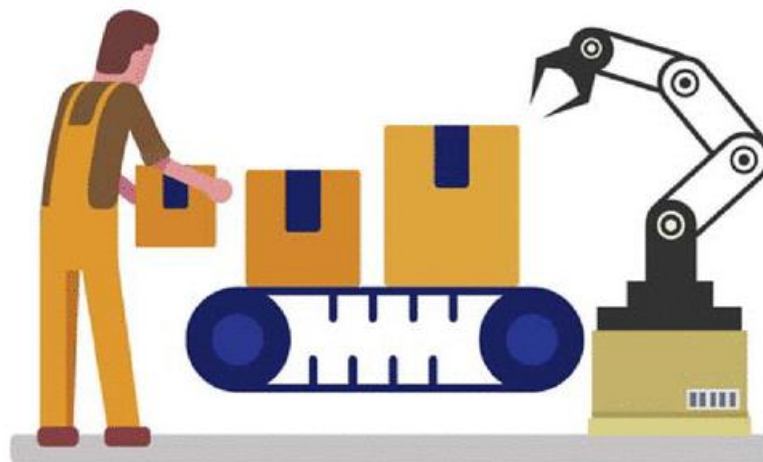


Obr. 16) Robot MIR500 s modrým osvětlením převážející palety [17]

6.3.5. Kolaborativní robot

Kolaborativní roboty (koboty) mohou komunikovat s lidskými pracovníky v pracovním prostoru (Obr. 17). Bezpečnost člověka je na prvním místě, proto jsou kolaborativní roboty navrženy tak, aby člověka žádným způsobem neohrozily. I v případě kolize, zaseknutí nebo dalších neočekávaných poruch je třeba zajistit pracovníkovu bezpečnost. Kolaborativní roboty jsou zkonstruovány tak, aby mohly využít více druhů koncových efektorů, aby mohly pracovat s více druhy a tvary obrobků. Pro efektivní využití kolaborativních robotů se využívá spousta senzorů pro vnímání prostoru, prostředí a rychlost lidských pracovníků. Jsou typické malou konstrukcí, nízkou spotřebou energie, nízkým výkonem, malým hlukem a pohodlnou instalací do provozu. Další jejich výhodou je, že mají funkci programové výuky, čímž je můžou programovat i běžní pracovníci a snižuje se tak časová náročnost programování. [18]

Dříve než kolaborativní roboty přišly do průmyslu kooperativní roboty, které mohly spolupracovat na jednom pracovišti. Dnes mají kolaborativní roboty široké využití, zvláště v oblastech, kde robot musí spolupracovat s člověkem. Nejčastěji se vyskytují ve výrobních linkách nebo mohou být využity na montáži. Další aplikace kolaborativních robotů: obsluha strojů s počítačovým číslicovým řízením (CNC), balení výrobků, manipulace s obrobky nebo jako robot, který je podobný člověku a umí stejně kombinovat gesta a chování a který asistuje lidským pracovníkům při montáži bedny a provádí vizuální kontrolu kvality montáže. Konkrétní případ kolaborativního robotu se nachází na (Obr. 18). [18]



Obr. 17) Kobot spolupracující s člověkem [18]



Obr. 18) Kobot ve velkosériové výrobní lince pro výrobu motorů Volkswagen [19]

6.4. Použití robotů v nevýrobních oblastech

6.4.1. Robot v kosmu

Satelity a další vesmírné technologie se staly nedílnou součástí našeho každodenního života a poskytují spoustu služeb, které lidstvu usnadňují život.

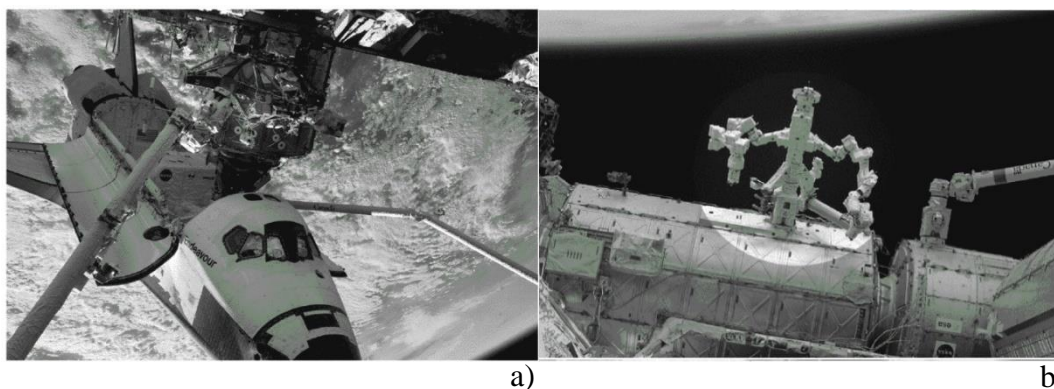
Manipulátor raketoplánu SRMS (Shuttle Remote Manipulator System) neboli Canadarm byl prvním dálkově ovládaným robotickým manipulačním ramenem používaným v prostředí oběžné dráhy Země. Jedná se o mechanickou paži, která je dlouhá 15 metrů, má 6 stupňů volnosti a podobně jako lidská paže má ramenní a loketní klouby pro vychýlení a náklon. Jejím účelem je především manipulace s nákladem z raketoplánu na jeho konečnou stanici a poté jeho uvolnění. Canadarm se využívá také k zachycení orbitálního plavidla a ukotvení v nákladovém prostoru, čímž pomáhá lidem při letu na oběžné dráze. Pomocí podpěry, která se připevní na konec manipulátoru, se lidská posádka může přemístit z raketoplánu na satelit. Pro Canadarm byl navržen standardní koncový efektor, který umí uchopit speciálně navržený tyčovitý úchyt připevněný na zařízení. Rameno Canadarm se už dnes nevyužívá, můžeme ho najít pouze vystavené v muzeu. [20]

Servisní a údržbové mise Hubbleova vesmírného dalekohledu (

Obr. 19a) a stavba Mezinárodní vesmírné stanice ISS patří k nejpozoruhodnějším misím, na kterých byl využit Canadarm s manipulátorem Canadarm2 jako nástroj. Rameno Canadarm2 je o něco delší, měří 17,6 metrů a je vybavený sedmi klouby a aretačními koncovými efekty na obou koncích, jejichž prostřednictvím se přenášejí data a může se přenášet i energie, což mu umožňuje přemísťovat se od konce ke konci pomocí pohybu, který připomíná pohyb červa. [20]

Dalším příkladem může být manipulátor SPDM (Special-Purpose Dexterous Manipulator) neboli Dextre (

Obr. 19b). Jde o dvouramenný systém manipulátoru, který je mnohem menší než systém SRMS a je schopen provádět údržbářské práce a opravy během provozu. [20]



Obr. 19) Manipulátory raketoplánu a) Oprava a servis Hubbleova teleskopu robotickým ramenem Canadarm a Canadarm2, b) Manipulátor SPDM [20]

6.4.2. Robot na zemi (k přepravě)

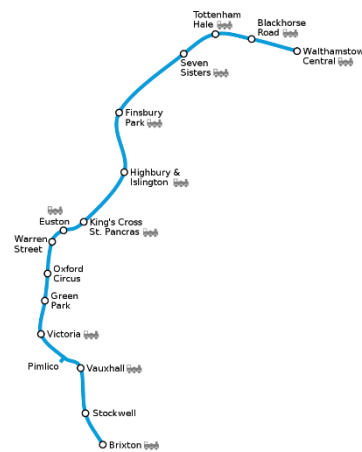
V dnešní době se můžeme častokrát setkat s automatizovanými dopravními prostředky jako například s vlaky. Zde se zavádí systém tzv. automatického provozu vlaků (Automatic train operation = ATO) pro větší bezpečnost a ušetření řidičů. Stupeň automatizace vlaků má 4 úrovně, kdy 4. stupeň představuje plně automatizovaný vlak bez přítomnosti řidiče. Systém ATO společně se systémem pro automatické řízení vlaků (ATC = automatic train control) udržují vlaky v intervalech jízdního řádu. Tohoto dosahují úpravou provozních parametrů: poměr výkonu k pojezdu za jízdy a doba pobytu ve stanici. Kombinací těchto systémů je zajištěn bezpečnostní rozestup mezi vlaky, zastavení vlaku v případě nutnosti a předávání pokynů, kdy má zastavit ve stanici a kdy se má rozjet. [21]

Vlak přijíždí do stanice pomocí signálu. Jakmile dosáhne vlak u stanice prvního majáku se zařízením vydávající signály, obdrží vlak povel k brzdění ve stanici. Palubní počítač vypočítá brzdňou křivku, která umožní zastavení ve správném bodě. Během toho se křivka několikrát aktualizuje, aby byla zajištěna přesnost. Na nástupišti se otevrou dveře jenom tehdy, pokud vlak zastavil správně v rámci smyček, které potom mohou otevřít dveře. [21]

Tyto systémy už využívají v Tokiu, v Paříži, v Londýně a v dalších velkých městech. Už v roce 1968 byla otevřena linka Victoria v Londýně jako nová automatizovaná železniční trať, ale pořád využívala strojvedoucího (Obr. 20 a, b). Ten ve vlaku stiskl tlačítko start a vlak se rozjel až po vyhodnocení řídicího systému, který musel nejprve ukázat, že je cesta volná. Strojvedoucí mohl kdykoliv zasáhnout do jízdy nebo vlak zastavit. V roce 2012 se linka stala první plně automatizovanou železnicí na světě. [22]



a)



b)

Obr. 20) Automatizovaný dopravní systém: a) Linka metra Victoria v Londýně, b) Trasa linky Victoria [22]

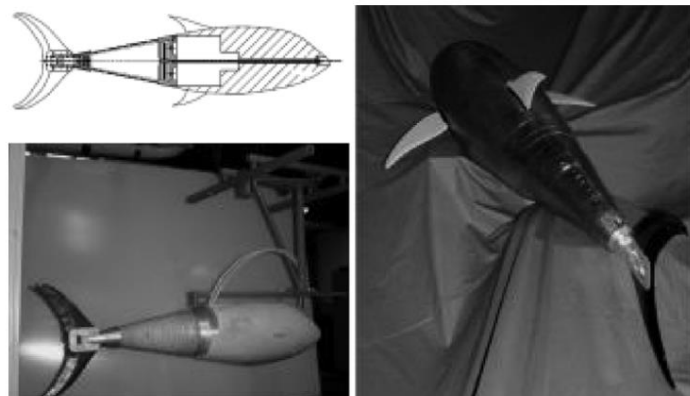
6.4.3. Robot pod vodou

Oceány dosahují obrovských hloubek a existuje tam život, který člověk nebyl ještě schopen prozkoumat díky vysokému tlaku v hloubkách oceánů. Z tohoto důvodu vznikají robotické ponorky, které dokážou prozkoumat dno i za velké tmy. Robotické ponorky neboli

ROV (remotely operated vehicles) jsou řízeny a poháněny operátorem vyskytujícím se na palubě lodi, a který je s nimi propojen pomocí speciálního kabelu. Prostřednictvím tohoto kabelu může operátor nejen komunikovat, ale i napájet robot elektrickou energií, kterou spotřebuje hlavně pro hydraulické čerpadlo, díky němuž se může pohybovat. Hydraulické čerpadlo se skládá z kroutících nástrojů a manipulačních ramen. Aplikaci motoru pod vodou by byla příliš obtížná. [23]

Pohyb ROV je inspirovaný pohybem ryb a jejich strukturou (Obr. 21). Systém kmitajícího ocasu je důležitý pro úspěšný pohyb robotu ve vodě. Tento pohyb může být řízen elektromotory se střídavým pohybem přímo na hřídeli spojené s kmitajícím ocasem. Jiné mechanismy využívají klouby umístěné mezi motorem a kmitajícím ocasem, které umožňují přenos rotačního pohybu hřídele na kmitavý pohyb ocasu. Navíc tento pohyb už není rybám tak podobný, protože kloubové mechanismy jsou sestaveny z tuhých těles, které pouze simulují přirozenou strukturu, ale pohyb ocasu je odlišný. [23]

ROV můžou ve vodě těžit i uhlovodíky a velmi malé robotické ponorky slouží potápěčům k dosažení míst, která jsou pro něj jinak nepřístupná. Naopak ROV o větších velikostech dokážou navíc hloubit příkop na mořském dně, umístit oceánografické vybavení pro pozorování nebo zachránit ztracené předměty na mořském dně. U takových typů je pak nutné je vybavit například tříprstými chapadly, aby mohly plnit dané úkoly. [23]



Obr. 21) Ukázka struktury a celé podoby robotické ponorky [23]

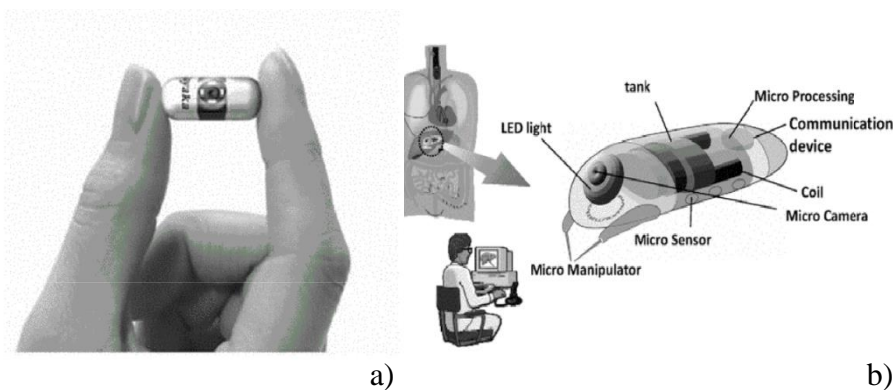
6.4.4. Robot ve zdravotnictví

Ve zdravotnictví je dnes široké využití robotů. Vyskytují se zde i v miniaturní podobě ve velikosti fazole (Obr. 22a) a můžou sloužit třeba k prozkoumání břišní dutiny. Zavádí se do těla buď spolknutím kapsle, nebo přes konečník. Tento tzv. robotický endoskop se skládá z předního a zadního těla s oboustrannými rotačními žebry. Části těla pak spojuje stejnosměrný motor, který ovládá rotace přední části těla a zadní části, což potom umožňuje robotu pohyb. Kapsle potřebuje přívod energie pomocí drátů a permanentní magnet. Problém tohoto typu robotu je rotační pohyb, při kterém se rotační část těla robotu mohla přilnout na povrch. [24]

V případě, že robot nemá regulátor, využívá vestavěný magnetický, který je jednou z možností pro ovládání robotu. Řízené magnetické pole udává robotu lineární a rotační hybnost. Použití rotačního magnetického pole na permanentní magnet umístěný uvnitř robotu

způsobí, že se magnet robotu začne otáčet a bezdrátově se pohybovat. Nedostatek této metody může ukázat mobilní nebo kovový předmět, kdy se robot začne pohybovat neočekávaně uvnitř člověka, což by mohlo poškodit zdraví pacienta. Proto bylo třeba vyvinout přesné pulzy magnetického pole a robot vybavit úzkým feromagnetickým pásem, kterým už nereagoval na vnější vlivy, ale pouze na dané vytvořené magnetické pole. Pro pohyb robotu bylo třeba vytvořit správný tvar těla a správné tření mezi robotem a břišní stěnou (Obr. 22b). [24]

Ovšem daná problematika není dokonalá a neustále se vyvíjí. Robot by dále vědci chtěli vybavit speciálním ramenem pro vytváření lepších snímků a také zlepšit pojezd, LED svícení a manipulátor pro efektivnější ovládání robotu. Dosavadní experimenty byly prováděny pouze na modelu králíka. [24]



Obr. 22) Robotický endoskop: a) skutečná velikost, b) struktura robotického endoskopu [24]

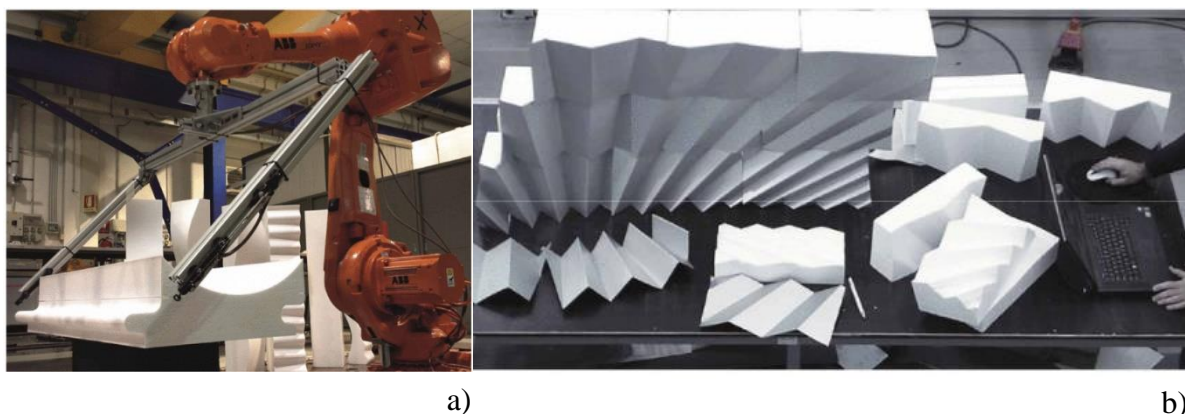
6.4.5. Robot ve stavebnictví

Ve stavebnictví umožňuje robot převzít těžkou práci člověka, ušetřit mu čas a použít technologii, která by byla pro člověka nebezpečná. Na konkrétním příkladě je robot určen pro hromadnou výrobu zděných panelů na izolaci (

Obr. 23a). Tento výrobní systém dokáže navrhnout a vyrobit parametrické stěnové prvky, které mají neobvyklé formy (

Obr. 23b). Ty se musí nejprve navrhnout a vyrobit, čímž umožňují lepší konfiguraci návrhu a robot se tak jednodušeji programuje. Řada postupů umožňuje vytvořit dobře propracované povrchy, které zlepšují konstrukční, akustické a tepelné vlastnosti stěny. Bloky stěny jsou řezány šestiosým robotem s koncovým efektořem ve formě žhavého drátu a dochází tak k roztavení materiálu. Nástroj pro řezání horkým drátem má podobu pevného rámu vyrobeného ze standardních hliníkových profilů, na kterém je natažen drát na místě mezi jeho konci. Na drát se přivádí napětí, které ho zahřívá a umožňuje mu pohybovat se. Geometrie stěny je řízena

bitmapovým vzorem (metoda zobrazující prostor a barvu každého pixelu neboli bitu), který určuje estetiku vnějšího povrchu stěn a zlepšuje její vlastnosti. [25]

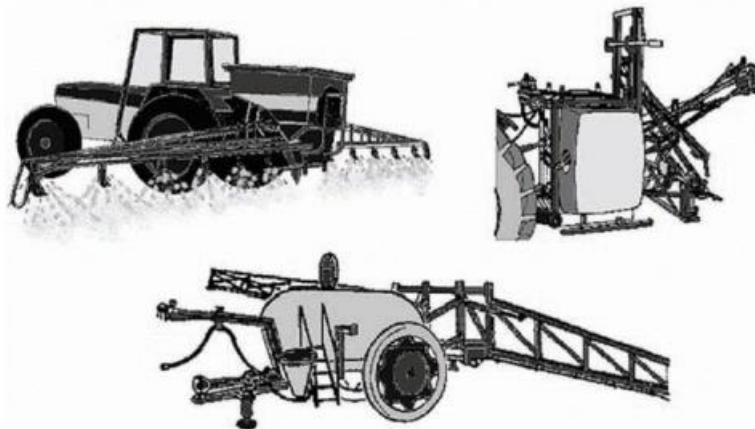


Obr. 23) Výroba zděných panelů na izolaci: a) robot s efektořem žhavého drátu, b) ořezané zděné bloky [25]

6.4.6. Robot v zemědělství

Roboty se v dnešní době rozšiřují do mnoha odvětví a vyskytují se i v zemědělství. Také zde se robot stal důležitým nástrojem. V zemědělství se mnoho úkolů musí dělat opakovaně nebo mohou být nebezpečné pro lidské zdraví jako například setí, sklizení nebo nanášení postřiků. Robot v zemědělství může vykonat 3 hlavní fáze zemědělského cyklu jako je: příprava půdy, pěstování rostlin a sklizeň. Jeho výhodou jsou snížené náklady, vyšší bezpečnost, flexibilita, větší úroda a celodenní provoz. [26]

Jako příklad může být stroj poháněný pneumatickým pohonem, který využívá energii stlačeného vzduchu a vykonává tak rozvoz hnojiva. Výhodou použití pneumatického pohonu je vysoká účinnost šíření a rychlost šíření. Tyto stroje mohou být buď tažné, nebo tlačné (Obr. 24). Jeho příčná rozsypávací tyč hnojiva může být dlouhá až 20 metrů. Tyč nese určitý počet trubek a každá tato trubka má na svém konci rozdělovač, kterým je hnůj dopravován proudem vzduchu vytvářeným ventilátorem. Hlavní výhodou tohoto typu stroje je vytvoření rovnoměrného proudu vzduchu, příčné rozložení produktu a možnost zařízení pro nastavení průtoku, které umožňuje distribuci výrobku nastavit úměrně rychlosti podávání. [26]



Obr. 24) Tlačný a tažný stroj na sypání hnojiva poháněný traktorem [26]

6.4.7. Robot pro poskytování služeb

S domácími pracemi se člověk setkává každý den. Ovšem existuje řešení, jak jednu z těchto prací ulehčit, a to díky robotu, který za nás obstará alespoň částečně úklid. Úklidový modul roomba (Obr. 25), který je součástí projektu IWARD (Intelligent Robot Swarm for Attendance, Recognition, Cleaning and Delivery), dokáže provést plánovaný a pravidelný úklid na nemocničním oddělení. Tento projekt je určen pro nemocnici, kde je nedostatek personálu, a úklid podlah zajišťuje několik roomba robotů (tzv. roj robotů). Díky nim se dostane pacientům větší a kvalitnější zdravotní péče. [27]

Robot neobsahuje žádný navigační systém. Proto je pro provedení úkolu nutné, aby se roomba orientoval směrem k navigačnímu robotu, kterého následuje, měří a udržuje mezi nimi vzdálenost a komunikuje s ním. V blízkosti jeho pracoviště je umístěna dokovací (nabíjecí) stanice. Dokovací stanice má pevné umístění. Robot z ní roombu vyzvedne a následuje ho pomocí „elektronického gumového pásu“ který se skládá z orientačního zařízení a ze zařízení pro měření vzdálenosti (DMD = distance measurement device). Na robotu se nachází snímač, který chytá signály vysílané DMD a roomba tak pozná, v jaké vzdálenosti se robot nachází. Pokud je vzdálenost příliš velká, roomba dá pokyn robotu, aby zpomalil. Pokud je vzdálenost příliš malá, roomba zastaví. Orientační zařízení se skládá z výrazného světelného zářiče na robotovi a systému vidění (kamery) nacházejícího se na roombě. Roomba se pohybuje a orientuje směrem k světelnému zářiči pomocí analýzy obrazu z kamery. [27]

Jakmile robot a roomba dosáhnou požadovaného místa, robot nechá roombu provádět pravidelný úklid, zatímco robot může vykonávat jiný úkol. Když je úklidový cyklus hotový, robot se vrátí na stejné místo a navede roombu zpět do její dokovací stanice. [27]



Obr. 25) Čistící modul roomba jako součást projektu IWARD [27]

7 STÁVAJÍCÍ A NOVÉ POKROKOVÉ SYSTÉMY ROBOTŮ

7.1. 3D tisk a jeho nové aplikace

Aditivní výroba nebo 3D tisk je výroba trojrozměrného objektu libovolného tvaru na základě digitálního modelu. 3D tisk se provádí pomocí aditivního procesu, při němž se postupně vytvářejí vrstvy. Materiál se nanáší na různé tvary. 3D tisk je také odlišen od obvyklé obráběcí techniky, u které se většinou spoléhají na odstraňování materiálu metodami, jako je řezání nebo vrtání (subtraktivní procesy). A 3D tiskárna je omezený typ průmyslového robota, který je schopen realizovat aditivní proces pod počítačovým řízením. [28]

Technologie 3D tisku je náhradní a distribuovanou výrobou, která se uplatňuje v oborech: architektura, stavebnictví, průmysl designu, automobilový průmysl, letecký průmysl, vojenství, strojírenství, stavebnictví, zubní a lékařský průmysl, biotechnologie (náhrada lidské tkáně), móda, klenotnictví, optika, vzdělávání, geografické informační systémy, potravinářství a mnoho dalších oborů. Řada technologií 3D tisku je omezená z hlediska kompatibility materiálů a v mechanických vlastnostech, které lze dosáhnout. [28]

7.1.1. 3D tisk odlévání betonem (3DCP = 3D concrete printing)

3DCP je typ aditivní výrobní techniky, při níž se konstrukce vytváří přidáváním materiálu po vrstvách. V procesu práškování se tenká vrstva prášku rozprostře na povrch už naneseného prášku. Jakmile je vrstva hotová, jsou vázané kapičky pojiva selektivně nanášeny na vrstvu prášku hlavou od robotu na 3D tisk, což způsobí, že práškové částice se navzájem spojí a ztvrdnou. Opakováním těchto kroků vzniká sestavený dokončený díl a po určité době tuhnutí je nespojený prášek odstraněn pomocí vzduchového dmychadla. [29]

Další proces 3DCP je založený na vytlačování. Je podobný modelování pomocí tavného nanášení materiálu na podložku používanému v polymerních a kovových technologiích (Obr. 26). Vytváření obrysů vrstvením je jednou z výrobních technologií, které se vyvíjí již téměř 15 let. Je založena na vytlačování betonu na bázi cementu proti lopatce, která umožňuje hladkou povrchovou úpravu, která se pak vytváří postupným vrstvením. [29]

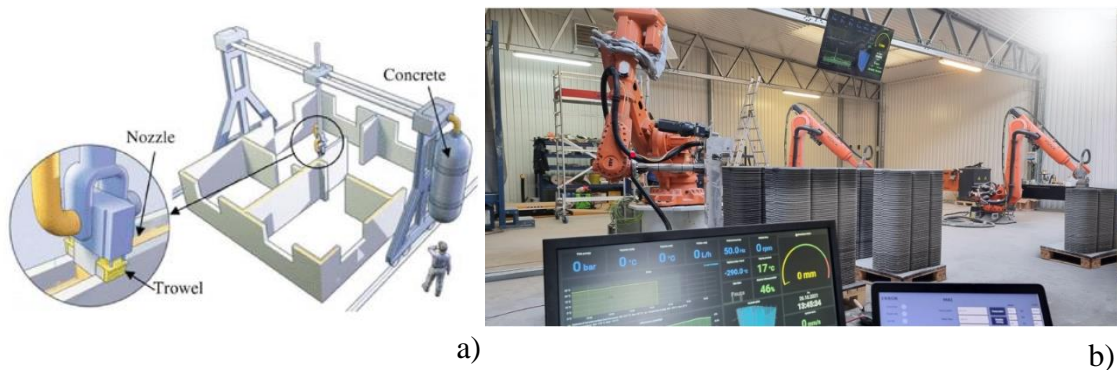
Konstrukce 3D tiskového stroje, která je přizpůsobena především metodě 3D tisku, je pro splnění funkce zásadní. Optimální stroj je nezbytný, aby doplnil vhodný návrh směsi. Návrh stroje musí zohledňovat několik kritérií souvisejících s vlastnostmi betonové směsi. 3D tiskárna se skládá ze tří hlavních součástí: nádrže na beton a čerpacího mechanismu, tiskové trysky a systému řízení pohybu. Beton je uložen v nádrži. Poté je manuálně čerpán, aby se mohl přesunout k trysce pro jeho vylití. [29]

3DCP umožňuje až 70% úsporu materiálu, používá materiály šetrné k životnímu prostředí, je očekávána 50% úspora na náklady výstavby, nepotřebuje stavební pracovníky a otvírá možnost digitální konstrukce budov. [30]

V roce 2014 čínská společnost Winsun postavila 10 běžných domů za méně než jeden den, přičemž plocha a náklady na každý z nich činily přibližně 195 m² a 96 000 Kč. Společnost

použila velkou extruzní 3D tiskárnu k samostatné výrobě základních dílů domů mimo staveniště, než byly převezeny a sestaveny na místě. V roce 2015 společnost postavila pětipodlažní bytový dům o rozloze cca 1100 m², což je v současnosti nejvyšší stavba vytištěná 3D tiskem. Společnost také postavila samostatnou betonovou vilu s vnitřním vybavením v ceně přibližně 3 200 000 Kč. [29]

Firma ICE Industrial Services ze Žďáru nad Sázavou jako první přinesla technologii 3D tisku z betonu do České republiky. Vlastní několik robotických 3D tiskáren, založených na přesné aplikaci betonu, a jedinečné tiskové hlavy, která umožňují vícesložkový tisk pomocí unikátní metody čerpání a homogenizace materiálu. Má neomezené možnosti výroby speciálních dílů, například městské výzdoby nebo laviček, dětských hřišť nebo stavebních prvků. Aktuálně pomáhá ukrajinské armádě vytvářením ochranných zátarasů, které jsou pak kamióny na Ukrajinu dováženy. [30]



Obr. 26) 3D tisk pomocí betonu, a) 3DCP metodou vytlačování, b) Interiér Firmy ICE s pracujícími roboty [29], [30]

7.1.2. Vývoj 3D tisku odléváním betonu

Výzkumníci a odborníci z průmyslové výroby pracující na 3D tisku s využitím betonu předpokládají, že tato technologie bude významným milníkem ve stavebnictví. Na obrázku se nachází vize odborníků pro futuristickou výstavbu domů a vícepodlažních budov s využitím technologie 3DCP. Západní země mají obecně vyšší úroveň bezpečnostních předpisů při stavebních pracích než v rozvojových zemích, což s sebou nese značné náklady na stavebnictví. Přesto je úrazovost v sektoru stavebnictví stále jedna z nejvyšších ve srovnání s ostatními odvětvími. Jedním z hlavních přínosů automatizovaného stavebnictví je jeho potenciál významně snížit počet úrazů a úmrtí ve stavebnictví. [29]



Obr. 27) Budoucí vize využití technologie 3DCP [29]

7.2. Nové technologie ve stavebnictví

Australská společnost Fastbrick Robotics byla první s vývojem robotu Hadrian X, který se montuje do nákladního automobilu a snadno se tak přemísťuje na místo stavby. Robot je vybaven 30 metrů dlouhým teleskopickým ramenem pro přepravu na míru vyrobených betonových bloků, které následně skládá na sebe podle předem definovaného plánu a zpevňuje je pomocí rychle tuhnucího polymerního lepidla. Před aplikací musí být tyto bloky zarovnané ve správném pořadí. Stroj může také řezat bloky na čtvrtiny, poloviny nebo tři čtvrtiny a uložit je pro pozdější použití. Tyto bloky se pak dopravují ke pokládací hlavě, která bloky rozvrhne na základě logiky a vzoru naprogramovaného v systému stroje. Aby byla zajištěna požadovaná přesnost, robot dynamicky stabilizuje své rameno, čímž odolává vnějším vlivům jako větru, vibracím a otřesům. Koncový efektor se přizpůsobuje velikosti bloků při uchopování. [31]



Obr. 28) Robot navržený na pokládání cihel [31]

Podobné řešení se vyvíjí v ČR ve spolupráci katedry technologie staveb ČVUT a firmy Stavebniny DEK (Obr. 29). Cílem projektu je vytvoření stacionárního robotu, který bude zcela automaticky stavět stěnu z cihel. Robot umí automaticky vyměnit koncový efektor, čímž

přechází na technologii 3D tisku nanášením potřebného spojovacího materiálu. Je schopen také informovat o aktuálním stavu surovin, které má k dispozici. [32]

Tento robot pracuje 3krát až 4krát rychleji než člověk, díky čemuž dokáže ušetřit náklady na najmutí zedníků a dosáhnout vyšší kvality stavby. Aby se mohl vyskytnout na trhu, je třeba zajistit levnější suchou směs, ověřit její funkčnost s nižším obsahem cementu nebo bez cementu a odstranit rozměrové rozdíly pálených cihel, aby robot mohl pokládat cihly pravidelně bez mezer a přesahů. [32]



Obr. 29) Stacionární robot DEKMATIK pro konstrukci stěn [32]

8 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PROBLEMATIKY A JEJÍHO DALŠÍHO ROZVOJE

Účelem této práce bylo seznámit s problematikou robotizace procesů, se základní strukturou robotů a jejich rozdělení do jednotlivých odvětví, kde splňují určitou funkci. Dalším cílem bylo uvedení nových technologií, které můžeme ve světě prakticky nalézt, ovšem tyto technologie nemusí být zcela použitelné a musí se neustále vyvíjet, aby se mohly na trhu prosadit.

Zároveň se z práce můžeme dozvědět, že roboty jsou dneska rozšířené ve spoustě odvětví a s pokročilou dobou vzniká čím dál větší potřeba robotů. Díky nim se můžou objevovat nové technologie, které by se bez práce robotu neobešly. Například u výroby některých elektronických součástí je potřeba dosáhnout velké přesnosti, kterou nám lidská ruka neumožňuje.

Roboty ulehčují v mnoha případech člověku práci a díky jejich efektivnosti z hlediska času a výroby se můžou podniky vyvíjet a více prosperovat. Zároveň v některých případech ušetří dělníky od těžké práce a nemusí tak práci ohrožovat své zdraví. Robot zachraňuje i lidské životy, protože umí provádět operace, kde převezme práci lékaře, který robot pouze navádí, jak danou operaci provést. Prozkoumáváme díky němu neznámá hluboká místa pod vodní hladinou, a dokonce robot může sloužit i ve vesmíru jako opravář satelitů, jak jsme se mohli v práci dozvědět. Robot pomáhá i naší kultuře, nejenom pomáhá vyřezávat dekorativní prvky zdí budov nebo vytvářet venkovní dekorace, ale můžeme ho nalézt i v malířském nebo sochařském umění.

Celkově roboty pomáhají člověku v rozvoji a v posouvání technologických hranic. Proto si myslím, že rozvoj robotů je důležité podporovat, abychom žili bezpečnější, pohodlnější život a nemuseli se fyzicky tolik namáhat. Bez robotů by člověk nemohl být tak vyspělý jako dnes, museli bychom se vrátit do starých dob, kdy se veškerá práce prováděla pouze manuálně a nemohli bychom tak využívat elektronických zařízení včetně aut.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] FOP SHVACHKO V.V. *Shvachko.net* [online]. ©2008-2022 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://shvachko.net/?p=775&lang=en>
- [3] TIMEGRAPHICS. *Time.graphics.com* [online]. ©2018-2022 [cit. 2018-09-28]. Dostupné z: <https://time.graphics/event/1736967>
- [4] MAN+MACHINES. *Manplasmachines.com* [online]. ©2022 [cit. 2021-10-06]. Dostupné z: <https://manplasmachines.com/differences-robots-cobots/>
- [5] NEW YORK TECH. *Nytech.media* [online]. ©2021 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://nytech.media/heres-the-freakiest-and-most-realistic-humanoid-robot-ever/>
- [6] KNOFLÍČEK, Radek. *Průmyslové roboty a manipulátory*. In: . Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2020. Dostupné také z: <https://moodle-archiv-2019-2020.ro.vutbr.cz/mod/folder/view.php?id=156378>
- [7] LACKO, Branislav. *Systémový přístup.doc.pdf*.
- [8] KNOFLÍČEK, Radek. *Systémový rozbor.docx*.
- [9] PAVLICA, Jiří. *Paralelní kinematické struktury průmyslových robotů*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [10] CHROMČÍK, Adam. *Návrh virtuálního modelu robotického pracoviště*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [11] MAHDAL, Daniel. *Návrh a optimalizace výrobního procesu koncového efektoru robotického pracoviště v rámci svařovací linky*. Zlín, 2019. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství.
- [12] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Mmspektrum.com* [online]. ©2001-2022 [cit. 2010-03-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/robot-v-rozlicnych-aplikacich>
- [13] SMETANOVÁ, Anna. *Optimalizace energie při pohybu robotu*. Brno, 2009. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.

- [14] KUKA. *kuka.com* [online]. ©2022. Dostupné také z: <https://www.kuka.com/cs-cz/pr%c5%afmyslov%c3%a1-odv%c4%9btv%c3%ad/kovopr%c5%afmysl/obr%c3%a1b%c4%9bc%c3%ad-stroje>
- [15] PHAM, D.T., E.E. ELDUKHRI a A.J. SOROKA. *Innovative Production Machines and Systems* [online]. Cardiff University. Cardiff, Scotland, UK: Whittles Publishing, 2009. ISBN 978-1904445-81-4.
- [16] UNIVERSAL ROBOTS. *Universal-robots.com* [online]. ©2022 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/blog/6-examples-of-industrial-robots-in-the-automotive-industry/>
- [17] VŠE O PRŮMYSLU. *Vseoprůmyslu.cz* [online]. ©2022 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.vseoprůmyslu.cz/robotizace/mobilni-roboty-agv/mobilni-robot-snizuje-naklady-na-prepravu-ve-schneider-electric.html>
- [18] LIU, Hui. *Robot Systems for Rail Transit Applications* [online]. Central South University, Changsha, China: Elsevier, 2020. ISBN 978-0-12-822968-2.
- [19] CANALES SECTORIALES, INTEREMPRESAS. *Interempresas.com* [online]. ©2019 [cit. 2013-06-09]. Dostupné z: <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/112930-Volkswagen-apuesta-robots-Universal-Robots-contribuir-procesos-trabajo-ergonomicos.html>
- [20] VASILE, Massimiliano a Edmondo MINISCI. *Asteroid and Space Debris Manipulation: Advances from the Stardust Research Network* [online]. Reston, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2016. ISBN 978-1-62410-323-0.
- [21] Automatic train operation. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Last modified on 7.5.2022. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_train_operation
- [22] Victoria line. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. ©2022. Last modified on 30.4.2022. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Victoria_line
- [23] KECECI, Emin a Marco CECCARELLI. *Mobile Robots for Dynamic Environments* [online]. New York, USA: The American Society of Mechanical Engineers, 2015. ISBN 978-0-7918-6052-6.
- [24] WU, Jinglong. *Technological Advancements in Biomedicine for Healthcare Applications* [online]. Hershey, USA: Medical Information Science Reference, 2013. ISBN 978-1-4666-2197-8.
- [25] INFORMATION RESOURCES MANAGEMENT ASSOCIATION. *Additive Manufacturing: Breakthroughs in Research and Practice* [online]. Hershey, USA: Engineering Science Reference, 2020. ISBN 9781522596257.
- [26] CECCARELLI, Marco. *Service Robots and Robotics: Design and Application* [online]. University of Cassino, Italy, 2012. ISBN 978-1-4666-0293-9.

- [27] PHAM, D.T., E.E. ELDUKHRI a A.J. SOROKA. *Innovative Production Machines and Systems* [online]. Cardiff University. Cardiff, Scotland, UK: Whistles Publishing, 2009. ISBN 978-1904445-81-4.
- [28] DROBNY, Jiri George. *Handbook of thermoplastic elastomers* [online]. 2.vydání. Oxford, Great Britain: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-323-22136-8.
- [29] SANJAYAN, Jay, Ali NAZARI a Bezhad NEMATOLLAHI. *3D Concrete Printing Technology Construction and Building Applications* [online]. University of Technology, Hawthorn, Australia: Elsevier, 2019. ISBN 978-0-12-815481-6.
- [30] ICE-coral: *Ice.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.ice.cz/en/ice-coral>
- [31] CASINI, Marco. *Construction 4.0 Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry* [online]. Cambridge, USA: Elsevier, 2022. ISBN 978-0-12-821803-7.
- [32] DEK. *Dek.cz* [online]. ©2022 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/dekmatic>

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1. Seznam zkratk

3DCP	3D tisk z betonu
Kobot	kolaborativní robot
PRaM	průmyslové roboty a manipulátory
RTP	robotizované technologické pracoviště
SSADM	System Structured Analysis and Design Method

10.2. Seznam obrázků

- Obr. 1) Vývoj robotů – a) Automat na dávkování vody, b) Robot „flétnista“ [2], [3]
- Obr. 2) Pokročilý vývoj robotů – a) Průmyslový robot UNIMATE, b) Humanoidní robot [4], [5]
- Obr. 3) Blokové schéma svařovacího robotu
- Obr. 4) Průmyslový robot se sériovým uspořádáním ramen [9]
- Obr. 5) Akční systém průmyslového robotu [10]
- Obr. 6) Průmyslový robot s paralelní kinematickou strukturou od firmy ABB [9]
- Obr. 7) Druhy koncových efektorů: a) svařovací, b) pro bodové svařování (spojování), c) pro dělení materiálů, d) pro obrábění materiálů [11]
- Obr. 8) Příklady chapadel: a) tříprsté chapadlo, b) magnetický manipulační koncový efektor [11], [12]
- Obr. 9) Kombinované chapadlo pro odstříkávání vtokového nálitku odlitku: 1) podtlakové komory, 2) nůžky, 3) čelisti [11]
- Obr. 10) Speciální výstupní hlavice určena pro diagnostiku rakoviny prsu v medicíně [11]
- Obr. 11) Automatická výměna koncových efektorů pomocí magnetické síly [11]
- Obr. 12) Průmyslový robot ABB IRB 4400/60 na VUT v Brně [13]
- Obr. 13) Voděodolný robot Kuka KR Agilus [14]
- Obr. 14) Robotické pracoviště Kuka se svařovacím robotem [15]
- Obr. 15) Kobot UR16e vykonávající montážní činnost [16]
- Obr. 16) Robot MIR500 s modrým osvětlením převážející palety [17]
- Obr. 17) Kobot spolupracující s člověkem [18]
- Obr. 18) Kobot ve velkosériové výrobní lince pro výrobu motorů Volkswagen [19]
- Obr. 19) Manipulátory raketoplánu a) Oprava a servis Hubbleova teleskopu robotickým ramenem Canadarm a Canadarm2, b) Manipulátor SPDM [20]

- Obr. 20) Automatizovaný dopravní systém: a) Linka metra Victoria v Londýně, b) Trasa linky Victoria [22]
- Obr. 21) Ukázka struktury a celé podoby robotické ponorky [23]
- Obr. 22) Robotický endoskop: a) skutečná velikost, b) struktura robotického endoskopu [24]
- Obr. 23) Výroba zděných panelů na izolaci: a) robot s efektem žhavého drátu, b) ořezané zděné bloky [25]
- Obr. 24) Tlačný a tažný stroj na sypání hnojiva poháněný traktorem [26]
- Obr. 25) Čistící modul roomba jako součást projektu IWARD [27]
- Obr. 26) 3D tisk pomocí betonu, a) 3DCP metodou vytlačováním, b) Interiér Firmy ICE s pracujícími roboty [29], [30]
- Obr. 27) Budoucí vize využití technologie 3DCP [29]
- Obr. 28) Robot navržený na pokládání cihel [31]
- Obr. 29) Stacionární robot DEKMATIK pro konstrukci stěn [32]