



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

KOLABORATIVNÍ ROBOTY VE STROJÍRENSKÉM PRŮMYSLU

COLLABORATIVE ROBOTS IN INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Sláma

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Martin Sláma
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2019/20

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:

Kolaborativní roboty ve strojírenském průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem zpracovatele BP je podrobně se seznámit s novým trendem v robotice, kterým je použití kolaborativních robotů společně s lidmi v průmyslu. Dalším úkolem je po pečlivé rešerši současného stavu uvedení příkladů úspěšných aplikací a nalezení a zejména podrobné popsání kladů a záporů realizace úloh technologických operací ve strojírenské výrobě, ve vztahu spolupráce člověka s robotem.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše současného stavu v oblasti nových trendů využívání kolaborativních robotů a robotiky ve spolupráci s člověkem.

Průzkum trhu v oblasti nabídky komerčně dostupných kolaborativních robotů, jejich popis, vlastnosti a charakteristiky.

Rešerše nalezení úspěšných aplikací, popis v současnosti známých projektů úspěšných pracovišť s kolaborativním robotem(-y) ve strojírenství v ČR, Evropě, ve světě.

Analýza výhod a nevýhod používání kolaborativních robotů z technického, ekonomického i humanitního hlediska.

Vlastní závěry a doporučení pro další rozvoj řešené problematiky.

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 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřená na oblast kolaborativní robotiky. V první části jsou popsány kolaborativní roboty a jejich specifikace. Dále jsou představeny nejznámější kolaborativní roboty na trhu a jejich parametry. V další kapitole jsou uvedeny příklady úspěšných aplikací. Na závěr je popsána bezpečnost a programování kolaborativních robotů.

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the field of collaborative robotics. First, collaborative robots and their specifications are described. Next are presented the most famous collaborative robots on the market and their parameters. In another chapter, examples of successful applications are given. Finally, the safety and programming of collaborative robots is described.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kolaborativní robot, kobot, kolaborace, průmyslový robot, robotika

KEYWORDS

Collaborative robot, cobot, collaboration, industrial robot, robotics

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLÁMA, Martin. *Kolaborativní roboty ve strojírenském průmyslu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124600>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Kolaborativní roboty ve strojírenském průmyslu“ vypracoval samostatně na vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Brně dne

.....

Sláma Martin

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radku Knoflíčkoví, Dr., za jeho trpělivé vedení a pomoc při zpracovávání bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině, přátelům a přítelkyni za podporu během celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	KOLABORATIVNÍ ROBOTY	17
2.1	Průmyslový robot.....	17
2.2	Historie průmyslových robotů	17
2.3	Kolaborativní vs průmyslové roboty	19
2.3.1	Kolaborativní roboty.....	19
2.3.2	Průmyslové roboty.....	19
3	AKTUÁLNÍ NABÍDKA NEJZNÁMĚJŠÍCH KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ	21
3.1	Universal robots	22
3.1.1	Roboty Universal robots	22
3.2	ABB	23
3.2.1	Roboty ABB	23
3.3	Rethink Robotics.....	24
3.3.1	Roboty Rethink Robotics.....	24
3.4	Omron	25
3.4.1	Roboty Omron	25
3.5	KUKA	26
3.5.1	Roboty KUKA	26
3.6	Comau.....	27
3.6.1	Roboty Comau	27
3.7	FANUC.....	28
3.7.1	Roboty FANUC	28
3.8	Kawasaki.....	30
3.8.1	Roboty Kawasaki.....	30
3.9	AUBO Robotics.....	31
3.9.1	Roboty AUBO Robotics.....	31
4	PŘÍKLADY ÚSPĚŠNÝCH APLIKACÍ	33
4.1	CaliBurger.....	33
4.2	Covid-19	34
4.3	Abrantix AG	36
4.4	Ford Motor Company	37
4.5	Škoda Auto	38
4.6	BAI Lear	39
4.7	Rosborg Food Holding.....	40
4.8	STIHL	41
4.9	Fitzpatrick Manufacturing	42
4.10	MANN + HUMMEL IBÉRICA	43
5	ANALÝZA VÝHOD A NEVÝHOD POUŽÍVÁNÍ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ	45
5.1	Výhody.....	45
5.2	Nevýhody.....	46
6	BEZPEČNOST KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ	47
6.1	ISO/TS 15066	47
6.2	Režimy spolupráce.....	48

6.2.1	Safety-rated monitored stop (SRMS)	48
6.2.2	Hand guiding	48
6.2.3	Speed and separation monitoring (SSM)	48
6.2.4	Power and force limiting (PFL)	49
7	PROGRAMOVÁNÍ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ	51
7.1	Online programování	51
7.2	Off-line programování	52
7.3	Interaktivní programování	52
8	VLASTNÍ ZHODNOCENÍ	53
9	ZÁVĚR	55
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	61
11.1	Seznam obrázků	61
11.2	Seznam tabulek	61

1 ÚVOD

Kolaborativní roboty jsou v posledních letech stále více využívány v průmyslu, což vede k nárustu jejich prodeje. S větší poptávkou roste i počet firem, které se zaobírají kolaborativními roboty. Důvodem vysokého zájmu o tyto roboty je jejich přesnost a rychlost, ale i nízká nezaměstnanost, která vede k nedostatku lidské pracovní síly.

Cílem bakalářské práce je představit nový trend v robotice, kterým je použití kolaborativních robotů společně s lidmi v průmyslu. Je definován pojem kolaborativní robot, uvedena stručná historie průmyslových robotů a popsány výhody a nevýhody kolaborativních robotů oproti průmyslovým robotům. Dále je uveden přehled nejznámějších kolaborativních robotů na současném trhu společně s jejich parametry. Je popsáno využití kolaborativních robotů a jsou uvedeny příklady úspěšných aplikací. Podrobně je popsána bezpečnost při sdílení pracovního prostoru robotu s člověkem a je zmíněná norma ISO/TS 15066. Představeny jsou všechny čtyři režimy spolupráce. Na závěr je také popsáno programování kolaborativních robotů.

2 KOLABORATIVNÍ ROBOTY

2.1 Průmyslový robot

Robotem se dle normy ISO 8373 označuje „*Spouštěný mechanismus programovatelný ve dvou nebo více osách se stupněm autonomie pohybující se v rozsahu svého prostředí za účelem provádění zamýšlených úkolů.*“ Programovatelný robot je „*Automaticky řízený opakovaně programovatelný víceúčelový manipulátor programovatelný ve třech nebo více osách, který může být buď pevně umístěn nebo mobilní pro použití v průmyslových aplikacích s použitím automatů.*“ Tato norma obecně definuje průmyslový robot. V normě je kolaborativní robot pouze jako „*robot navržený pro přímou interakci s člověkem.*“ [1]

2.2 Historie průmyslových robotů

George Charles Devol, často nazýván otcem robotiky, vynalezl v roce 1954 průmyslového robota Unimate. O několik let později Devol a Joseph F. Engelberg založili společnost Unimation. První prototyp Unimate byl vyroben v roce 1961 a nainstalován v továrně GM pro manipulaci s tlakovým litím a bodové svařování. GM poté nainstalovala dalších 66 robotů Unimate a společnost Ford o tyto roboty také projevila zájem. Slibná budoucnost pro průmyslové roboty tak byla jistá díky zájmu a investicím z automobilového průmyslu. [2; 3]



Obrázek 1 Robot Unimate [45]

V 60. a 70. letech se moderní robotická ramena dále vyvíjela po celém světě. Konkurence v průběhu času rostla, ale stále se udržovala vysoká poptávka po průmyslových robotech. To podnítilo další výzkum a technický rozvoj. Vývoj mikroprocesoru pomohl vytvořit levné a rozsáhlé řídicí systémy. Roku 1963 bylo vytvořeno šesti kloubové rameno Rancho pro pomoc handicapovaným. Následovalo „tentacle arm“, navržené Marvinem Minským v roce 1968, s 12 klouby a schopné zvednout člověka. O rok později byl vytvořen první průmyslový robot navržený pro specifické využití společností ABB. [4]

Vývoj průmyslových robotů se rychle vyvíjel a v roce 1969 rameno Stanford nakonec napomohlo k produkci komerčních zbraní. Ramena Stanford byla jedna z prvních elektronicky poháněných a počítačem řízených robotických ramen. O rok později následovalo

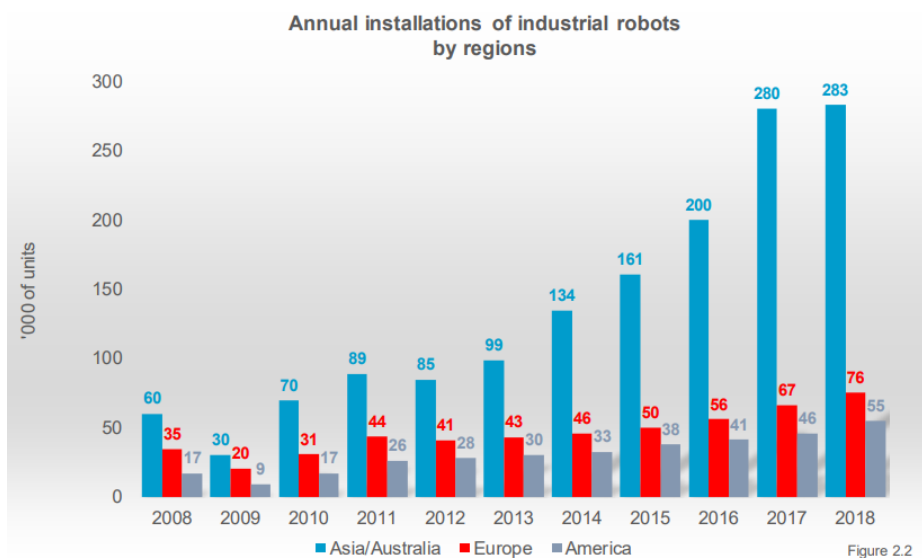
rameno Silver, vytvořeno Davidem Silverem pro přesnou montáž pomocí mikropočítače a dotykových a tlakových senzorů. [4]



Obrázek 2 Rameno Stanford [46]

V polovině 70. let nastal velký rozvoj průmyslových robotů a očekávalo se, že jejich počet poroste o 30 % ročně. Průmyslový robotický průmysl tak oficiálně odstartoval. V 80. letech automobilové společnosti investovali mnoho peněz do robotického průmyslu, avšak ne všechny investice se jim vrátily. V roce 1988 roboty v závodě Hamtramck Michigan způsobily zmatek – rozbily okna a navzájem se pomalovaly. Předčasné zavedení robotiky bohužel vytvořilo finanční nestabilitu, ta později vedla k utlumení robotického odvětví. Americký trh robotiky téměř zmizel po nástupu japonských a evropských společností. [4]

Teprve rok 2010 přinesl obrovské navýšení poptávky v důsledku pokračujícího vývoje a zlepšování průmyslových robotů. Do roku 2014 došlo k celosvětovému nárůstu prodeje robotů o 29 %. Od roku 2013 do roku 2018 se roční instalace v průměru zvýšily ročně o 19 %. V roce 2018 se globální instalace robotů zvýšily o 6 % na 422 271 jednotek. [5]



Obrázek 3 Počet celosvětově prodaných průmyslových robotů [5]

2.3 Kolaborativní vs průmyslové roboty

2.3.1 Kolaborativní roboty

Kolaborativní roboty jsou navrženy pro použití v definovaném společném pracovním prostoru s lidskými pracovníky a obvykle mají vestavěny některé bezpečnostní prvky pro toto použití. Každá automatizovaná aplikace, v níž jsou přítomní lidé, totiž vyžaduje posouzení rizik a řadu bezpečnostních mechanismů. Tyto roboty většinou plní opakující se úkoly nebo činnosti s vyšším rizikem, zatímco lidský pracovník zastává roli obsluhy. Kolaborativní roboty napodobují lidské činnosti a plní úkoly pomalejšími rychlostmi a s menším užitečným zatížením oproti klasickým průmyslovým robotům. [6]

Většina kolaborativních robotů se velmi snadno programuje, především pomocí ručního navádění, což zjednodušuje nasazení robotů do výroby a nevyžaduje pokročilé programovací dovednosti. Díky bezpečnostním prvkům mohou být umístěny v tradičním výrobním prostoru a nemusí být za bezpečnostními zábranami. Další výhodou je například flexibilita, lehká váha, mobilita a snadné přeprogramování. [6]

2.3.2 Průmyslové roboty

Průmyslové roboty mohou automatizovat širokou škálu procesů. V dnešní době jsou často implementovány do plně automatizovaných výrobních linek, které zcela odstraňují lidské operátory z nebezpečného prostředí. Díky vyhrazenému pracovnímu prostoru a stále více intuitivnímu programovacímu rozhraní nejsou tyto roboty tolik svázány bezpečnostními omezeními. Průmyslový robot se proto většinou nachází za bezpečnostními zábranami, které vymezují prostor pracoviště. Tyto zábrany však zabírají prostor a zabraňují možné spolupráci. Průmyslové roboty se využívají především u velkoobjemových procesů, nejčastěji automobilový průmysl, kde jsou plně automatické linky, ve kterých se většinou nepohybují lidští pracovníci. [6]

3 AKTUÁLNÍ NABÍDKA NEJZNÁMĚJŠÍCH KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ

Roboty lze vybírat dle několika kritérií popsaných níže. Nejdůležitějším kritériem při vybírání kolaborativního robotu je nejčastěji užitečné zatížení. Mnoho lidí však vybírá robot také podle jeho ceny. Výběr správného robotu je velmi důležitý hned z několika hledisek.

Užitečné zatížení

Užitečné zatížení je maximální váha břemene, které robot dokáže unést. Každý robot má tuto váhu rozdílnou dle své konstrukce. Užitečné zatížení nepočítá s hmotností koncového efektoru.

Dosah

Dosah je největší dosažitelná vzdálenost koncového efektoru robotu od jeho základny. Vymezuje tak přibližnou velikost pracovního prostoru robotu.

Maximální rychlost

Maximální rychlost je definovaná jako nejvyšší rychlost, při které se může koncový efektor robotu pohybovat. Liší se v závislosti na specifikacích a velikosti, ale také na aktivním režimu robotu. Některé roboty nabízí například tzv. režim spolupráce, kdy je jejich rychlost výrazně omezena, aby se zaručila bezpečnost obsluhy.

Stupně volnosti

Stupně volnosti udávají počet os, kolem nichž se robot může pohybovat. Většina robotů má šest stupňů volnosti, tři hlavní osy (X, Y, Z) a osy rotace kolem nich (A, B, C). Existují však i roboty se 7 stupni volnosti, které umožňují větší svobodu pohybu a více možností konfigurace.

Opakovatelnost

Opakovatelnost vyjadřuje schopnost robotu vrátit se opakovaně na stejnou pozici. Protože se kolaborativní roboty často programují tzv. vedením je opakovatelnost většinou cennější než přesnost, se kterou se robot dostane do daného bodu v X, Y, Z souřadnicích.

Cena

Cena je často jedna z prvních věcí, na kterou se lidé dívají při hledání konkrétního robotu. Některé roboty mají nízkou cenu s omezenými funkcemi, jiné jsou nákladné s více funkcemi, vybavením či efektoru.

Hmotnost

Hmotnost je jednoduše hmotnost samotného robotu, bez jeho ovladače. Ovlivňuje manipulaci s robotem a je také důležitým faktorem při rozhodování o jeho umístění.

Certifikace bezpečnosti

Bezpečnost je velmi složité téma v případě kolaborativních robotů. Certifikace bezpečnosti proto ulehčují zákazníkům posoudit úroveň bezpečnosti robotu. Nejprísnejší schvalovací proces probíhá agenturou TÜV (Technical Inspection Association). [3]

3.1 Universal robots

Dánská společnost Universal robots byla založena Esbenem Østergaardem, Kasperem Støymem a Kristianem Kassowem v roce 2005. Jejím zaměřením byla již od počátku robotická technologie pro menší a střední podniky. Společnost byla odkoupena v roce 2015 firmou Teradyne.

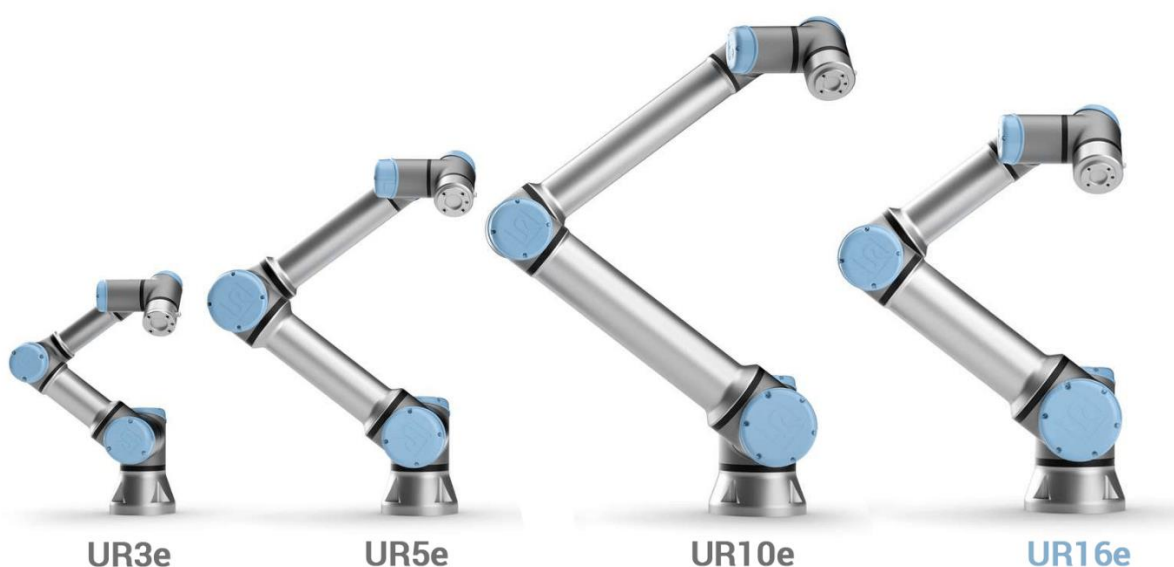
V roce 2008 se Universal robots podařilo prodat první kolaborativní robot – UR5. V dalších letech představuje větší robot – UR10. Novinkou je řada e-series, která zdokonaluje předchozí roboty. Nejnovějším robotem firmy Universal robots je UR16e, který je také největší. [7]

3.1.1 Roboty Universal robots

Společnost v současnosti nabízí 4 kolaborativní roboty: UR3e, UR5e, UR10e a UR16e. Roboty jsou určeny pro menší a střední podniky. Jejich cena je oproti robotům FANUC podstatně nižší. Roboty jsou také velmi lehké, proto se dají využít pro stolní průmyslové aplikace. Všechny splňují bezpečnostní nároky pro kolaborativní roboty. Bezpečnostní nastavení se dá v průběhu provozu upravovat pro specifické řešení. Roboty společnosti Universal robots patřili k nejprodávanějším kolaborativním robotům v roce 2019. [8; 9]

Tabulka 1 Roboty Universal Robots [8; 9]

Roboty	UR3e	UR5e	UR10e	UR16e
Stupně volnosti	6	6	6	6
Opakovatelnost [mm]	±0,03	±0,03	±0,05	±0,05
Hmotnost [kg]	11,2	20,6	33,5	33,1
Dosah [mm]	500	850	1300	900
Maximální rychlost [mm/s]	1000	1000	1000	1000
Užitečné zatížení [kg]	3	5	10	16
Přibližná cena [Kč]	650 000	750 000	970 000	1 100 000
Hlavní využití	Montáž, šroubování	Odebírání, ukládání	Montáž, obrábění	Montáž, ukládání



Obrázek 4 Roboty Universal Robots [9]

3.2 ABB

Společnost ABB vznikla v roce 1988 sloučením dvou firem – Elektriska Aktiebolaget a BBC. Elektriska Aktiebolaget byla založena roku 1883 Ludvigem Fredholmem a BBC roku 1891 Charlesem Brownem a Walterem Boverim. V České republice ABB působí od roku 1992.

ABB je velmi rozsáhlá nadnárodní korporace zaměřující se na energetiku a automatizaci. První a jediný kolaborativní ABB robot YUMI vznikl v roce 2015. Oproti tomu ABB disponuje desítkami průmyslových robotů a zařízení. Dokonce disponuje i vlastním programovacím softwarem (RobotStudio) pro své roboty. [10]

3.2.1 Roboty ABB

ABB nabízí pouze jeden kolaborativní robot YUMI. Lze koupit ve dvou provedení s dvěma či jedním ramenem. Jedná se o nejmenší a nejhbitější kolaborativní robot se 7 osami a užitečným zatížením pouze 0,5 kg. Jednoramenné provedení je také lehké, což přispívá k lepší manipulativnosti. Díky programovacímu softwaru RobotStudio na ABB lze obě provedení bez problému kombinovat v mnoha konfiguracích. K nejnovějším robotům YUMI zákazník dostane také ovladač OmniCore, který zjednodušuje obsluhu. Název vznikl spojením slov YOU AND ME (ty a já). [10]

Tabulka 2 Roboty ABB [10]

Roboty	IRB 14000	IRB 14050
Stupně volnosti	7	7
Opakovatelnost [mm]	±0,02	±0,02
Hmotnost [kg]	38	9,5
Dosah [mm]	500	559
Maximální rychlost [mm/s]	1500	1500
Užitečné zatížení [kg]	0,5	0,5
Přibližná cena [Kč]	850 000	500 000
Hlavní využití	Montáž drobných součástí	



IRB 14000



IRB 14050

Obrázek 5 Roboty ABB [10]

3.3 Rethink Robotics

Společnost Rethink Robotics byla založena roku 2008 spoluzakladateli Rhodney Brooks a Ann Whitaker s cílem vytvářet levnější roboty. Původní název společnosti byl Heartland Robotics. První kolaborativní robot Baxter představila společnost v roce 2011. O 4 roky později pak představila robot Sawyer, menší a rychlejší verzi.

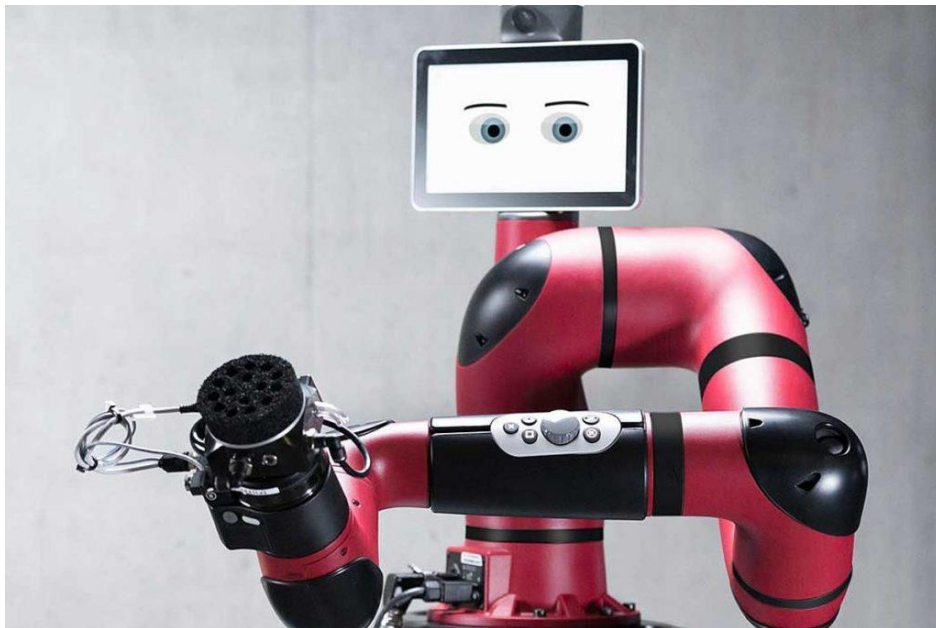
V roce 2018 společnost Rethink Robotics ukončila svoji činnost a nabídla svá aktiva k prodeji. Většinu společnosti se všemi patentky a ochrannými známkami koupil distributor HAHN Group, zaměřující se na automatizaci. [11]

3.3.1 Roboty Rethink Robotics

V dnešní době společnost nabízí pouze novější kolaborativní robot Sawyer. Specialitou Sawyer je displej, který promítá aktuální stav robotu. Specializovaný software zjednodušuje ovládání a programování. Robot je také vybaven systémem vidění, který umožňuje detekci překážek. [11]

Tabulka 3 Roboty Rethink Robotics [11]

Roboty	Sawyer
Stupně volnosti	7
Opakovatelnost [mm]	$\pm 0,1$
Hmotnost [kg]	19
Dosah [mm]	1260
Maximální rychlost [mm/s]	1500
Užitečné zatížení [kg]	4
Přibližná cena [Kč]	800 000
Hlavní využití	Skládání, obrábění, balení



Obrázek 6 Sawyer [11]

3.4 Omron

Zakladatelem společnosti Omron byl Kazuma Tateisi v roce 1930. Cílem byla inovace a vývoj nové a moderní techniky. V počátku se firma věnovala výrobě rentgenu, postupně však začala vyrábět různé nové technologie (detektory, snímače, signalizace atp.).

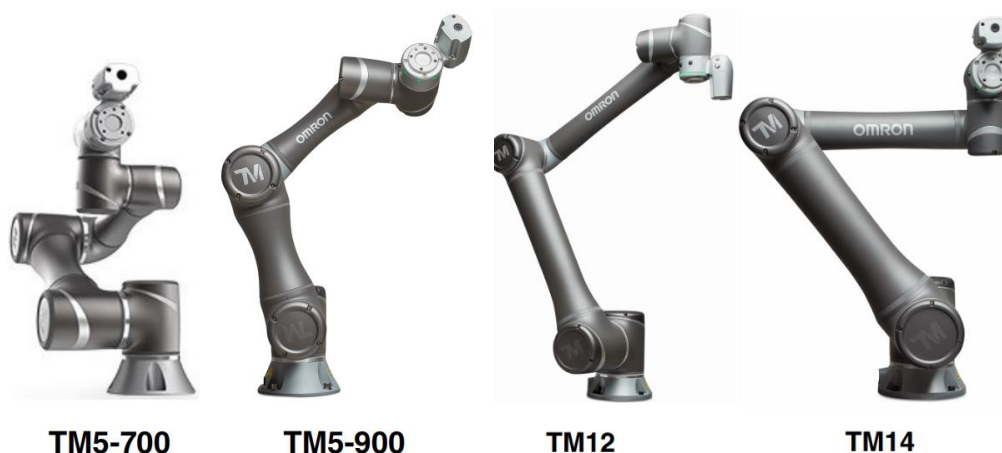
Firma má v současnosti okolo 35 000 zaměstnanců a má výrobní továrny po celém světě. V dnešní době společnost patří ke špičce v oboru průmyslové automatizace. Název Omron vznikl ze slova Omuro, což je čtvrť města Kjóto, kde Kazuma Tateisi založil svůj první obchod. [12]

3.4.1 Roboty Omron

Hlavními produkty společnosti jsou snímače, dopravní signalizace, značící automaty a detektory. Nabízí však i 4 typy kolaborativních robotů: TM5-700, TM5-900, TM12 a TM14. Roboty mají v sobě vestavený kamerový systém, který umožňuje rozpoznávání a umisťování předmětů a čtení čárových kódů. Programování nevyžaduje konzoli ani kódování, což umožňuje rychlejší a snadnější uvedení robotu do provozu. [12; 13]

Tabulka 4 Roboty Omron [13]

Roboty	TM5-700	TM5-900	TM12	TM14
Stupně volnosti	6	6	6	6
Opakovatelnost [mm]	±0,5	±0,5	±0.1	±0.1
Hmotnost [kg]	22,1	22,6	33,3	32,6
Dosah [mm]	700	900	1300	1100
Maximální rychlost [mm/s]	1100	1400	1300	1100
Užitečné zatížení [kg]	6	4	12	14
Přibližná cena [Kč]	700 000	700 000	850 000	900 000
Hlavní využití	Měření, skládání, montáž		Montáž, Obrábění, balení	



Obrázek 7 Roboty Omron [13]

3.5 KUKA

Společnost KUKA vznikla v roce 1898. Jejimi zakladateli byli Johann Josef Keller a Jakob Knappich. Původní nezkrácený název byl Keller und Knappich Augsburg, z něhož vznikla telegrafická zkratka KUKA. Společnost začala s jedinou továrnou na výrobu acetylenového plynu, avšak v důsledku jeho cenového propadu se po pár letech zaměřila na svařování autogenem. V pozdějších letech rozšiřuje sortiment o několik specializovaných robotů. V roce 1956 firma nabízí první automatickou svařovací linku.

Společnost KUKA se zapsala do historie jako průkopník robotiky díky vývoji prvního průmyslového robotu se šesti poháněnými osami. V pozdějších letech také jako jedna z prvních přechází na řízení robotů pomocí počítače. Ve 21. století patří roboty KUKA k jedněm z nejprodávanějších robotů. Roku 2013 představuje svůj první kolaborativní robot LBR iiwa. V současnosti patří společnost KUKA k předním světovým dodavatelům inteligentních automatizačních řešení. [14]

3.5.1 Roboty KUKA

Ke spolupracujícím robotům společnosti KUKA patří řada LBR iiwa, která disponuje dvěma roboty LBR iiwa 7 R800 a LBR iiwa 14 R820. Rozdílem je užitečné zatížení 7 a 14 kg a dosah. Roboty disponují řadou snímačů k eliminaci kolizí. K programování slouží řídicí systém KUKA Sunrise Cabinet, pro zjednodušení lze použít režim simulace. Oba roboty jsou konstruované z hliníku pro odlehčení. [15]

Tabulka 5 Roboty KUKA [15]

Roboty	LBR iiwa 7 R800	LBR iiwa 14 R820
Stupně volnosti	7	7
Opakovatelnost [mm]	±0,1	±0.1
Hmotnost [kg]	23,9	29,9
Dosah [mm]	800	820
Maximální rychlost [mm/s]	1500	1500
Užitečné zatížení [kg]	7	14
Přibližná cena [Kč]	1 400 000	1 800 000
Hlavní využití	Měření, montáž, lepení, balení...	



Obrázek 8 LBR iiwa 7 R800 [15]

3.6 Comau

Comau bylo založeno roku 1973 jako Consorzio Macchine Utensili s cílem sjednotit všechny podniky sídlící v Turíně a okolí, které pomáhali s výstavbou výrobního závodu v Rusku. Comau se díky FMG (flexibilní výrobní systémy) a vývoji technologie vysokorychlostního obrábění rozšiřuje do Spojených států. Vytváří CPS (Comau productivity Systems) pro komerční a průmyslový rozvoj v Severní Americe. Ve druhé polovině 80. let ve spolupráci s firmou Trumpf vytváří první laserové roboty. Comau začala vyvíjet nová řešení v oblasti letectví, komerčních a těžkých vozidel, železnic a obnovitelných zdrojů energie.

Na počátku 21. století odkupuje Comau francouzskou společnost Renault Automation SA a poté také společnost PICO. Dále zakládá Comau Aerospace, eComau a Comau Adaptive Solutions. Probíhá nadále rozšiřování do celého světa, nyní například i s otevřením pobočky v České republice. V současné době se společnost zaměřuje mimo jiné na spolupracující roboty a automatizaci. Představuje tak svůj průmyslový kolaborativní robot AURA. [16]

3.6.1 Roboty Comau

Společnost Comau nabízí největší kolaborativní robot na trhu s užitečným zatížením 170 kg. Jeho název AURA vznikl zkrácením Advanced Use Robotic Arm. Robot umožňuje přepínání mezi kolaborativním a nekolaborativním režimem, kdy se zvýší maximální povolená rychlost z 500 na 2000 mm*s⁻¹. Díky jeho velkým rozměrům je nutné, aby dodržoval nejprísnejší bezpečnostní kritéria pro kolaborativní roboty. Z tohoto důvodu je pokryt ochrannou pěnou a vybaven řadou senzorů a čidel. Robot váží přes 1,5 tuny, což značně znesnadňuje jeho manipulaci. [17]

Tabulka 6 Roboty Comau [17]

Roboty	Aura
Stupně volnosti	6
Opakovatelnost [mm]	±0,1
Hmotnost [kg]	1615
Dosah [mm]	2790
Maximální rychlost [mm/s]	500/2000
Užitečné zatížení [kg]	170
Přibližná cena [Kč]	1 800 000
Hlavní využití	Automobilový průmysl



Obrázek 9 Aura [17]

3.7 FANUC

Firma byla založena v roce 1956 jako Fuji Automatic Numerical Control, zakladatelem byl Dr. Seiueemon Inaba. Jako jedna z prvních firem se začala věnovat číslicovému řízení (Numerical Control). Sám Dr. Seiueemon Inaba vynalezl první elektrický pulzní motor, kterému naprogramoval číslicové řízení.

Již v roce 1972 vznikl první FANUC ROBODRILL, který byl číslicově řízený počítačem (Computer Numeric Control). O dva roky později přišel první FANUC průmyslový robot. V roce 1978 se FANUC rozšiřuje do Evropy a Koreje. Ve 21. století je FANUC považován za jednu z největších firem v oblasti robotiky a automatizace. První kolaborativní robot od firmy FANUC vznikl v roce 2015. [18]

3.7.1 Roboty FANUC

Firma nabízí celkem 6 kolaborativních robotů: CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L, CR-14iA/L, CR-15iA, CR-35iA.

Největší užitečné zatížení se tedy pohybuje od 4 do 35 kg. Všechny roboty lze programovat ručním vedením a jsou potaženy měkkým materiálem pro eliminaci nebezpečných střetů s člověkem. Roboty disponují také řadou čidel, které dokážou robot zastavit během několika milisekund v případě nebezpečí. Splňují tedy všechny bezpečnostní kritéria pro kolaborativní roboty. [19]



Obrázek 10 Roboty FANUC [19]

Tabulka 7 Roboty FANUC [19]

Robot	CR-4iA	CR-7iA	CR-7iA/L	CR-14iA/L	CR-15iA	CR-35iA
Stupně volnosti	6	6	6	6	6	6
Opakovatelnost [mm]	±0,01	±0,01	±0,01	±0,01	±0,02	±0,03
Hmotnost [kg]	48	53	55	55	255	990
Dosah [mm]	550	717	911	911	1441	1813
Maximální rychlost [mm/s]	1000	1000	1000	500	800-1500	750
Užitečné zatížení [kg]	4	7	7	14	15	35
Přibližná cena [Kč]	1 050 000	1 100 000	1 150 000	1 200 000	1 300 000	1 800 000
Hlavní využití	Manipulace, kontrola, logistika a obsluha strojů					

3.8 Kawasaki

Počátky společnosti Kawasaki sahají až do roku 1878, kdy Shozo Kawasaki založil v Tokiu loděnici Kawasaki Tsukiji. Na počátku 20. století společnost otevřela Hyogo Works pro výrobu železničních vozů. V důsledku mnoha japonských válek se společnosti díky zvýšené poptávce po válečných lodích a ponorkách velmi dařilo. Dalším oddělením v Hyogo Works se stalo roku 1918 oddělení letadel. Ve 40. letech minulého století začala společnost s výrobou automobilů. V roce 1969 Kawasaki vyvíjí první průmyslový robot vyrobený v Japonsku. O 4 roky později přichází také s vodním skútem Jet Ski. Společnost začala vyrábět mimo jiné i plynové turbíny. V 90. letech firma expandovala do dalších zemí, převážně do USA. Později získala též zakázku na Eurotunel spojující Velkou Británii s Francií. V průběhu nového tisíciletí se společnost dále rozšiřuje a staví mimo jiné první výrobní linku v USA pro nákladní dveře letadla Boeing. [20]

3.8.1 Roboty Kawasaki

Robotická divize společnosti Kawasaki vznikla koncem 60. let minulého století s představením svého prvního průmyslového robota. V dnešní době nabízí dva kolaborativní roboty s názvem Dual-arm Scara 1 a Dual-arm Scara 2, zkrácené duAro1 a duAro2. Specialitou těchto robotů jsou dvě ramena, každé rameno má 4 stupně volnosti a maximální užitečné zatížení 2 či 3 kg. První model je navržen převážně na horizontální pohyb s maximálním vertikálním zdvihem ramen 15 cm. Díky tomu se příliš nehodí pro balení do krabic, kdy je vyžadovaný větší vertikální dosah. Proto druhý model má rozsah tohoto zdvihu rozšířen již na 55 cm. [21]

Tabulka 8 Roboty Kawasaki [21]

Roboty	duAro1	duAro2
Stupně volnosti	2x4	2x4
Opakovatelnost [mm]	±0,05	±0,05
Hmotnost [kg]	230	230
Dosah [mm]	760	785
Maximální rychlost [mm/s]	1500	1500
Užitečné zatížení [kg]	2x2	2x3
Přibližná cena [Kč]	720 000	750 000
Hlavní využití	Montáž, manipulace, lepení, balení	



Obrázek 11 Roboty Kawasaki [21]

3.9 AUBO Robotics

Společnost byla založena v roce 2014 jako Smokie Robotics. Jméno změnila o dva roky později na AUBO Robotics. Zakladateli byli tři profesori PhD z USA a Číny s cílem vytvořit lehký inteligentní spolupracující robot pro malé a střední podniky.

Společnost v dnešní době pokrývá přes 50 zemí a je podporována sítí distributorů po celém světě. Zaměstnává přibližně 100 odborníků ve všech klíčových odvětvích. [22]

3.9.1 Roboty AUBO Robotics

Společnost nabízí v současnosti 4 kolaborativní roboty s maximálním užitečným zatížením od 3 kg do 10 kg. Roboty se hodí převážně pro přemísťování, manipulaci či montáž. Všechny 4 roboty disponují jednoduchým a intuitivním ovládním pomocí ovládacího displeje či ručním naváděním. Bezpečnostní funkce zahrnují omezení rychlosti a síly pomocí nastavitelné konstrukce. Vzhledem k nízké váze robotů je s nimi snadná manipulace. Jedná se o modulární kloubové roboty. [22]

Tabulka 9 Roboty AUBO Robotics [22]

Roboty	AUBO i3	AUBO i5	AUBO i7	AUBO i10
Stupně volnosti	6	6	6	6
Opakovatelnost [mm]	±0,03	±0,05	±0,05	±0,05
Hmotnost [kg]	15,5	24	32	37
Dosah [mm]	625	924	1150	1350
Maximální rychlost [mm/s]	1900	2800	3500	4000
Užitečné zatížení [kg]	3	5	7	10
Přibližná cena [Kč]	420 000	480 000	550 000	600 000
Hlavní využití	Manipulace, montáž, přemísťování, třídění			

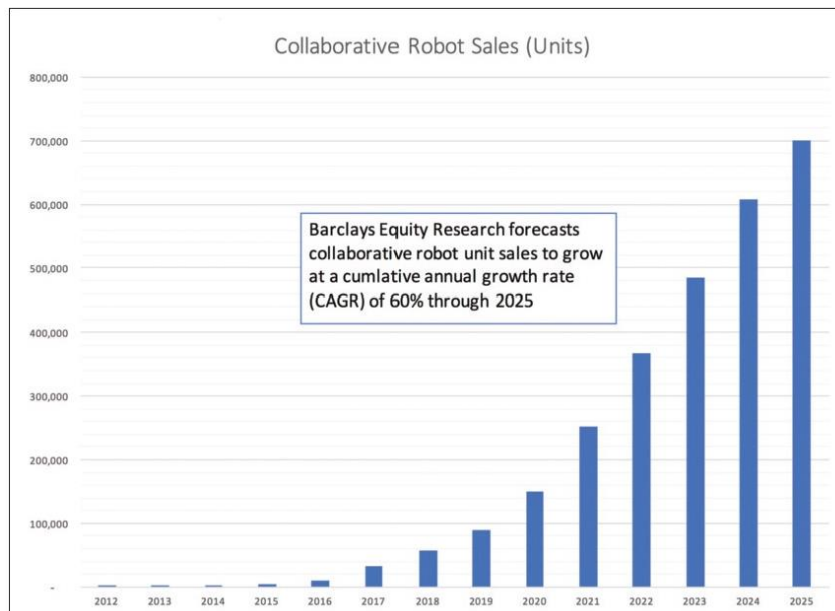


Obrázek 12 Roboty AUBO Robotics [22]

4 PŘÍKLADY ÚSPĚŠNÝCH APLIKACÍ

Využití kolaborativních robotů je v dnešní době velmi rozsáhlé a sahá do mnoha odvětví. V těchto odvětvích roboty zastávají spoustu činností: balení a paletizace, kontrola kvality, uchopení a umístění předmětu, obsluha CNC strojů, montáž, leštění, svařování, šroubování, lepení a další. Na rozdíl od většiny obyčejných průmyslových robotů, kde je hlavní oblast využití dána konstrukcí a parametry daného robotu, je většina kolaborativních robotů univerzální a lze je použít k většímu počtu aplikací.

V aplikacích kolaborativních robotů se využívá různých vlastností. Uplatnění rychlosti, přesnosti a opakovatelnosti, užitečného zatížení, specifické síly atp. Díky mnoha výhodám se počet úspěšných aplikací kolaborativních robotů každým dnem navyšuje. Například společnost Universal Robots prodala již více než 44 tisíc kolaborativních robotů. Na obrázku níže lze vidět odhad počtu prodaných kolaborativních robotů. Pro mnoho aplikací budou v této kapitole uvedeny jen určité příklady realizovaných pracovišť kolaborativních robotů a důvody jejich nasazení.



Obrázek 13 Počet prodaných kolaborativních robotů [51]

4.1 CaliBurger

Uplatnění kolaborativních robotů se nyní rozšiřuje i do restaurací. Zdárným příkladem je robot Flippy, který je v dnešní době uplatněn již v několika pobočkách společnosti CaliBurger. Flippy je výsledkem dvouleté spolupráce mezi společnostmi CaliBurger a Miso Robotics. Pouhý týden po zavedení však musel být robot dočasně uveden mimo provoz, protože lidští spolupracovníci nestíhali rychlosti robotu a Flippy měl problém s přesným umístěním hotových hamburgerů na připravené podnosy. Po několika měsících se však upravený Flippy vrátil do provozu a od té doby robot pracuje každou směnu a průměrně obrátí na 300 hamburgerů denně. [23]

Hlavním úkolem robotu je obracení a sundávání hamburgerů z grilu. Flippy dokáže pomocí termovize určit správný čas pro sundání masa z grilu, ale zobrazuje také zbývající dobu smažení a informuje, kdy je správný čas položit sýr na vrchol. Dále je robot schopný sám vyměňovat a čistit používané špachtle i otřít povrch grilu škrabkou. [24]

Původně byl hlavní důvod pořízení reklama, kdy chtěli restauraci něčím ozvláštnit, ale postupem času zjistili, že Flippy je velmi efektivní a nenáročný. Proto je zaváděn i v nových pobočkách. O robot byl veliký zájem, a tak se Miso Robotics rozhodlo, že robot Flippy bude komerčně dostupný. Dnes už se tedy dá robot Flippy pořídit pro vlastní užití a nově je schopný obsluhovat také fritézu a zvládne celkem 14 různých úkolů. Miso Robotics plánuje další vylepšování a v budoucnu celé autonomní kuchyně. [24]



Obrázek 14 Flippy [23]

4.2 Covid-19

Robotika se objevila jako jedna z technologií, která nejvíce přispívá k boji proti COVID-19. Není totiž bezpečnější cestou v boji s nebezpečným virem než využít roboty. Díky zamezení kontaktu s koronavirem SARS-CoV-2 se riziko nákazy eliminuje. Kolaborativní roboty tedy provádějí nebezpečné autonomní úkoly, jako například: přeprava potravin, léků a spotřebního materiálu, dezinfekční úkoly či telemedicínu. Tímto způsobem je zabráněno fyzickému kontaktu mezi zdravotnickým personálem a pacienty s možným nakažením. [25]

Příkladem úspěšného využití kolaborativních robotů pro dezinfekční úkoly je nasazení robotů HCR do zdravotnických zařízení korejskou vládou. Roboty sterilizují ozářovaným povrchem a zároveň okolní vzduch pomocí UV paprsků a cirkulátorů vzduchu. Výhodou nasazení kolaborativních robotů je jejich nepřetržitý provoz. Dříve byla sterilizace prováděna lidskou obsluhou rozprašováním dezinfekční kapaliny. Bylo velmi těžké aplikovat dezinfekci nepřetržitě, a kromě toho byla v prostoru zanechávána chemická substance. [26]



Obrázek 15 Roboty HRC [26]

Pro přepravu jídla a léků bylo nasazení kolaborativních robotů velmi rozsáhlé, například kolaborativní roboty ve dvou nemocnicích v okrese West Singhbhum v Jharkhandu, v evropských nemocnicích od společnosti Robotnik, na izolačních odděleních nemocnice Alexandra v Singapuru či v několika Čínských nemocnicích od společnosti PuDu. Zavedením

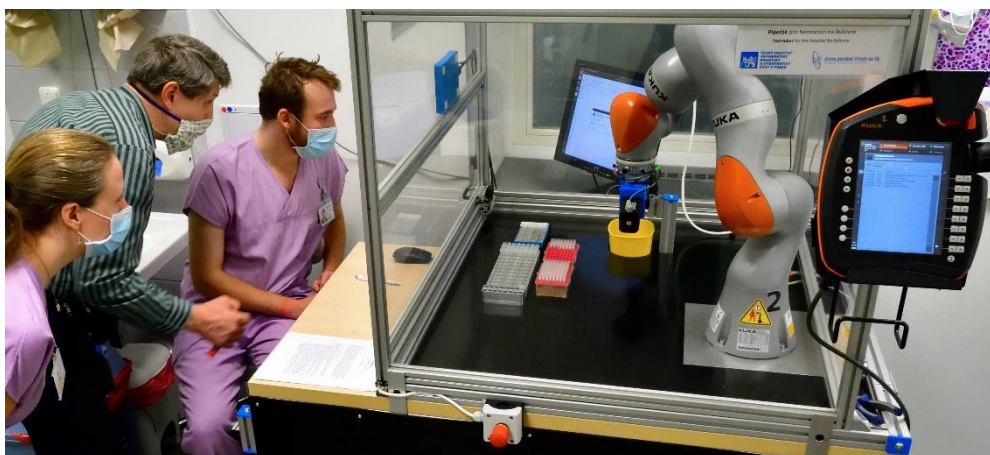
robotů se usnadnila práce pro zdravotnický personál, který se díky tomu může věnovat jiným záležitostem, a snížilo se riziko nákazy. [27]

Společnost Robotnik vyvinula mobilní robot, který umožňuje dálkově kontrolovat stav pacienta, aniž by se zdravotnický personál dostal do přímého kontaktu s pacientem. Tím zamezí nebezpečnému kontaktu a chrání lidské pracovníky. [27]



Obrázek 16 Robotnik pro dálkovou kontrolu stavu pacienta [52]

Velké úsilí bylo vynaloženo pro nalezení bezpečné cesty testování vzorků na COVID-19. Proto například i v České republice vzniklo několik pipetovacích robotů Eppendorf (přezdívka „Pipet’ák“) pro automatizaci testování ve spolupráci týmu studentů a zaměstnanců z Fakulty elektrotechniky ČVUT (FEL) a z Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT (CIIRC). Roboty v dnešní době testují vzorky již ve dvou laboratořích, a to v Nemocnici Na Bulovce a v 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy. Další robot je připravován pro fakultní nemocnici Královské Vinohrady. Pomocí metody vyvinuté v Ústavu organické chemie a biochemie Akademie věd České republiky roboty automatizují izolaci RNA s použitím magnetických nanočástic z Regionálního centra pokročilých technologií a materiálů Univerzity Palackého v Olomouci. [28]



Obrázek 17 Pipetovací robot „Pipet’ák“ [53]

Ani Vysoké učení technické v Brně nezahálelo a vytvořilo robotické pracoviště nazvané openTube, které by mohlo pomáhat se vzorky COVID-19 ve Fakultní nemocnici Brno. S tímto řešením přišli vědci z Ústavu automatizace a informatiky Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně pod vedením doc. Ing. Radomila Matouška, Ph.D. Pracoviště vzniklo kombinací automatizace od firem SMC, B&R a univerzálního kolaborativního robota YuMi od společnosti ABB. Díky online rozhraní, do kterého pacient před testováním vyplní údaje, stačí v odběrovém stanu pouze načíst čárový kód z občanského průkazu, který se automaticky spáruje se zadanými údaji. Zkumavky se vzorky jsou poté vybaveny unikátním čárovým kódem. Laborant založí označené zkumavky do držáku a vše ostatní už funguje automaticky. Robot vzorky digitálně identifikuje, odzátkuje, odebranou tekutinu přenesou do mikrozkušavky nebo jamky v kazetě pro 8 až 96 vzorků. Každá kazeta je opět označena digitálním kódem a identifikací pozice každého zpracovaného vzorku. Kazeta je tímto způsobem připravena k dalšímu zpracování, kterým je separace nukleové kyseliny a samotný PCR test. Příprava vzorků odebraných pacientům s podezřením na COVID-19 je však pouze jedno z mnoha možných využití robota. Není totiž potřeba měnit hardware při změně úkolů, ale stačí robotické pracoviště pouze přeprogramovat. [29]



Obrázek 18 Robotické pracoviště openTube [29]

4.3 Abrantix AG

Robot YuMi od společnosti ABB testuje bezpečnost bankomatů. Tato zařízení pro vybírání a někdy také vkládání peněz se ve městech celého světa nacházejí prakticky na každém rohu. Díky bankomatům je využívání bankovního účtu snadné a pohodlné. Kvůli zabezpečení je však nutné software bankomatu aktualizovat na novou verzi minimálně jednou za půl roku. Tato aktualizace však musí být před instalací kompletně otestována, zda splňuje požadavky na spolehlivost, funkčnost a bezpečnost.

Robota YuMi využila Švýcarská společnost Abrantix AG, která dodává platební software, pro testování běžných operací s bankomatem, jako je například odebrání či vložení bankovek, vložení karty či zadání kódu PIN, tedy běžné operace, co dělají lidé. Robot je naprogramován tak, aby se záměrně dopouštěl lidských chyb, jako je například vložení bankovek sepnutých sponkou či zadání opakovaně chybného kódu PIN. Cílem je zajistit, aby si software dokázal poradit opravdu se vším.

Pro zkušební pracovníky znamená zavedení robotu YuMi se dvěma pažemi zásadní změnu. Robot totiž nahrazuje tradiční ruční testování, kdy pracovník musel u bankomatu strávit stovky hodin a zkoušet různé operace. Díky robotu se nejen významně zkracuje čas, ale i eliminuje riziko lidských chyb. Není šance, aby robot zapomněl něco otestovat. Vývojáři se tedy mohou delší čas věnovat smysluplnějším úkolům a vývoji nových funkcí pro software bankomatu, robot YuMi je pak automaticky testuje a výsledky se poté pouze zkontrolují. Vývoj softwaru se tedy díky automatizaci významně urychlil. „Ve společnosti Diebold Nixdorf se domníváme, že toto automatické testovací prostředí, které vytvořili přední inovátoři Abrantix a ABB, společně s našimi rozsáhlými znalostmi v oblasti vývoje a testování nového softwaru pro bankomaty, může nesmírně zvýšit efektivnost testování a kvalitu softwaru ve stovkách testovacích laboratořích našich zákazníků po celém světě,“ uvedl Richard Schlauri, výkonný ředitel švýcarské společnosti Diebold Nixdorf. [30]



Obrázek 19 Testování bankomatů robotem YuMi [30]

4.4 Ford Motor Company

Automobilka Ford představila tým kolaborativních robotů, který pracuje společně s inženýry v německém Kolíně nad Rýnem. Úkolem robotů je zajistit, aby každý vůz Ford Fiesta měl dokonalý povrch.

Šest spolupracujících robotů dokončuje choreografickou sekvenci, aby se celý povrch vozu zabrousil za pouhých 35 sekund. Roboty nenahrazují zaměstnance, ale umožňují jim se věnovat složitějším úkolům a převážně odlehčit práci na opakujících se operacích. Jsou také schopni vyvinout větší sílu než lidé a snadněji se dostat do těžko dostupných míst, jako je například střed střechy auta. Jedná se o roboty UR10 od společnosti Universal Robots, které byly v roce 2019 nejprodávanější kolaborativní roboty na světě.

V lakovně Ford mají roboty speciální měkkou a pružnou vrstvu mezi robotickým ramenem a brusným papírem vytištěnou na 3D tiskárnách. Tato vrstva umožňuje robotům pracovat se stejnou přesností a obratností jako lidská ruka. Každý vůz je během výrobního procesu ponořen do speciální lázně, která poskytuje více jak deset let ochrany proti korozi. Poté však na povrchu mohou zůstat malé skvrnky, které nejsou viditelné pouhým okem, ale lze je

cítit rukou. Proto 6 kolaborativních robotů odstraní veškeré nerovnosti a vysaje zbylý prach. Dva zaměstnanci poté provedou závěrečnou kontrolu. Vůz nakonec putuje na aplikaci základního nátěru.

Zavedení kolaborativních robotů na pohyblivou výrobní linku zabralo několik týdnů. Po vychtání všech chyb již roboti pracují nepřetržitě. V závodě se nachází další kolaborativní robot pro výrobu reproduktorů a zvukových zařízení. Společnost Ford zavádí spolupracující roboty do dalších závodů, například do Valencie ve Španělsku či do Krajova v Rumunsku. Další roboty pomáhají pracovníkům i při složitých montážních postupech, jako je montáž tlumičů do automobilů či zapalovacích svíček do motorů. V budoucnu společnost plánuje mít více závodů s kolaborativními roboty, které by pracovali bok po boku s lidmi. [31]



Obrázek 20 Roboty UR10 v závodě Ford [31]

4.5 Škoda Auto

Výrobce automobilů Škoda používá kolaborativní roboty při montáži automatických převodových systémů. Robot LBR iiwa přebírá od lidských pracovníků písty akčního členu převodového kola a vkládá je do skříně převodovky. Díky sensorům točivého momentu je robot schopný komponenty vkládat správně, aniž by je nutil na místo.

Již v roce 2011 se Volkswagen rozhodl přeměnit továrnu Škoda Auto ve Vrchlabí s 1000 zaměstnanci na závod, který by vyráběl výhradně sedmistupňovou automatickou převodovku s dvojitou spojkou a s přímým posuvem DQ200, která je považována za jednu z nejnovativnějších v automobilovém průmyslu. Při transformaci továrny hrály významnou roli společnosti KUKA a MATADOR Group. Závod byl v roce 2015 odměněn, když jej poradenská firma A.T. Kearney a odborný časopis Produktion nazvali Továrnou roku za „globální excelenci v provozu“. Jinými slovy, spolupráce mezi člověkem a robotem ve výrobním závodě Škoda je úspěšná.

Výroba této převodovky má velmi vysoké požadavky na přesnost. Například pohyblivé části mají toleranci v rozmezí od tří do pěti mikrometrů, což je jen zlomek šířky lidského vlasu, který má šířku asi 60 mikrometrů. Proto byl vybrán kolaborativní robot KUKA LBR iiwa. Tento robot vkládá písty akčního členu přesně pomocí sensorů na každé ze svých sedmi os. Sensory také detekují jakýkoli možný kontakt s člověkem či prostředím, zajišťují tak maximální bezpečnost pracovníků a maximální ochranu kvality dílů. LBR iiwa má jedinečnou citlivost,

která mu umožňuje komponenty vkládat nenásilně na místo. To je neocenitelné pro manipulaci s citlivými součástmi, které jsou při montáži náchylné k poškození. Další výhodou využití kolaborativního robotu je jeho bezpečnost, takže nemusí být umístěn za bezpečnostní zábrany, které by zabírali zbytečný prostor. To umožňuje automatizaci procesů v omezených prostorech bez nutnosti upravovat stávající výrobní linky.

MATADOR Group měla za úkol začlenit robot KUKA LBR iiwa do konceptu závodu Škoda ve Vrchlabí, což pro slovenskou společnost znamenalo cennou zkušenost. Pracovníci se museli naučit pracovat v řídicím systému KUKA Sunrise, který kombinuje pohybové a senzorové systémy v reakci na současné programovací požadavky. Společně s využitím programovacího jazyka Java neexistuje téměř žádný limit pro různé možnosti automatizace.



Obrázek 21 Robot KUKA LBR iiwa v závodě Škoda Auto [32]

[32]

4.6 BAI Lear

Beijing BAI Lear Automotive System Co., Ltd. je podnik založený společnostmi Beijing Hainachuan Automotive Parts Co., Ltd. (BHAP) a Lear Corporation committed pro návrh a výrobu autosedaček. Podnik má nyní více než 800 zaměstnanců a roční obrat ke 3 miliardám RMB (Čínský jüan – asi 3,3 české koruny). Společnost se snaží vybudovat vedoucí postavení na čínském automobilovém trhu se sedadly. Nyní sériově vyráběné, ale i speciálně řešené sady sedadel dodává do různých vozidel, jako jsou malá RV, SUV či vozy plné velikosti.

Díky rychlému rozvoji automobilového průmyslu v Číně zaznamenala společnost BAI Lear v posledních letech nárůst své výrobní kapacity. V průměru vyrábí 1500 sad sedadel (sedadlo pro řidiče a spolujezdce) denně. Při zavádění automatizačního řešení je velké zpoždění ve výrobě nepřijatelné a doba přizpůsobení mezi pracovníky a novým zařízením musí být co nejkratší. Proto společnost naléhavě potřebovala nalézt efektivní a flexibilní řešení automatizace. Zpočátku považovala průmyslové roboty za proveditelné řešení, ale vzhledem k omezenému prostoru, vysokým nákladům a nízké flexibilitě, vybrala jako řešení kolaborativní roboty. Po průzkumu trhu vybrala kolaborativní roboty UR10 od společnosti Universal Robots převážně díky jejich snadnému programování a rychlé instalaci.

Od uvedení prvního robota UR10 pro utahování šroubů v roce 2017 společnost nasadila celkově okolo 40 dalších robotů UR, převážně pro utahování šroubů autosedaček, elektrickou kontrolu, vychystávání či umisťování dílů. Díky robotům se snadným programováním, rychlou

instalací a nastavením se zpoždění ve výrobě zásadně zkrátilo. K výhodám zavedení robotů patří zamezení lidských chyb či možný nepřetržitý provoz. První kolaborativní robot funguje bez problému od svého zavedení již 3 roky. Po zavedení robotů UR se pracovníci, kteří byli původně zodpovědní za dané výrobní linky, mohli začít věnovat záživnějším úkolům.

Jako největší a nejrychleji rostoucí automobilový trh na světě je Čína strategickým místem, o který všichni výrobci z automobilového průmyslu soutěží. Výrobci musí zvýšit svoji konkurenceschopnost, převážně pokud jde o kvalitu a cenu. Vedení BAI Lear začalo uvažovat o optimalizaci a modernizaci výroby před několika lety s cílem podpořit udržitelný rozvoj a dlouhodobě se přizpůsobit změnám na trhu. Vsadili na vývoj robotických technologií, který hraje důležitou roli při podpoře inteligentní výroby, zvyšování produktivity, zvyšování inovací a podpoře konkurenceschopnosti. Společnost od klientů dostává každý rok vyšší požadavky, takže musí neustále zlepšovat kontrolu výrobního procesu a zaručit stabilní produkci. BAI Lear zvažuje zavedení více UR robotů a jejich využití u více procesů. [33]



Obrázek 22 Roboty UR10 v BAI Lear [33]

4.7 Rosborg Food Holding

Rosborg Food Holding, největší dánský výrobce bylin a drobných rostlin, používá ve svých balících operacích kolaborativního robota k vyzvednutí rostlin z dopravního pásu a jejich umístění do kartonů. Robot se využívá také pro vyzvednutí a umístění kartonových krabic na místo, kde do nich jiný robot vloží předem balený salát.

Skleníky společnosti Rosborg Food Holding zabírají v dánském městě Odense asi 120 000 metrů čtverečních. V nich celkem asi 130 zaměstnanců pěstuje, balí a prodává přes 28 milionů bylin a 12 milionů drobných rostlin. Dánská společnost pěstuje byliny a drobné rostliny již od roku 1980. Avšak stále narůstající poptávku může uspokojit jen komplexnějšími automatizačními opatřeními. Proto vedoucí pracovníci v Rosborgu hledali způsob, jak zvýšit dostupné kapacity v každodenním provozu, aby mohli zdvojnásobit výrobu ve špičkách, jako jsou Vánoce, Silvestr či Velikonoce, aniž by ztratili příjmy kvůli přesčasům a náhradním pracovníkům. Nejslibnějším řešením se nabízelá automatizace pomocí robotů. Díky automatizaci mohou pracovníkům ulehčit od fyzicky náročných úkolů, a zároveň také snížit počet přesčasových hodin či počet dočasných zaměstnanců.

V roce 2013 se tedy majitel rozhodl pro zásadní modernizaci celé produkce. Do nových, vysoce účinných skleníků vybavených automatizační technologií a roboty se investovalo 37 milionů dánských korun (asi 130 milionů českých korun). Jednou z nejnovějších investic

do automatizace je flexibilní balící linka s kolaborativním robotem od společnosti Universal Robots vybaveným chapadlem RG6 od společnosti OnRobot. Efektor je vybaven inteligentní, pokročilou technologií, která napodobuje lidský smysl pro dotyk při intuitivním uchopení a pohybu objektů. Robot dokáže pohybovat se zátěžemi do šesti kilogramů s nastavitelnou silou na 25 do 120 Newtonů. Chapadlo RG6 se vyznačuje jemnými a pečlivými pohyby uchopení, ale také přesností a flexibilitou. Je tedy schopný jemně zvednout různé byliny a květiny, aniž by je rozdrtil.

Zavedení robotu bylo zpočátku provedeno hravým interaktivním přístupem, kdy si zaměstnanci zkusili různé vtipné aplikace. Tím se seznámili s ovládáním robotu a poznali jej jako snadno použitelný a nápomocný nástroj. Konfigurace aplikací a řešení automatizovaného balení je však tak intuitivní, že to zvládnou i zaměstnanci bez předchozí zkušenosti. Společnost již plánuje další kroky týkající se automatizace. Chce například pořídit další kolaborativní robot pro obsluhu řezacího stroje. [34]



Obrázek 23 Kolaborativní robot v Rosborg Food Holding [34]

4.8 STIHL

Německá společnost STIHL již ve svých výrobních závodech využívá stovky průmyslových robotů. Nyní však přidala do jedné z vlastních výrobních linek kolaborativního robota. Jedná se o FANUC CR-35iA, který má jedno z největších užitečných zatížení. Robot totiž vykonává všechny zvedací a polohovací práce s řezacími stroji, které váží přes 10 kg. [35]

Známý německý výrobce řetězových pil STIHL vyrábí také řadu řezacích strojů. Počátky společnosti sahají již do 30. let minulého století. V roce 1926 Andreas Stihl zakládá inženýrskou kancelář ve Stuttgartu v Německu. Již na počátku se společnost věnovala převážně řetězovým pilám. Postupně se však produkce rozšířila také na různé čistící stroje, stroje pro péči o zeleň či stavební stroje. Nyní řetězové pily značky STIHL patří k jedněm z nejprodávanějších na světě. Společnost STIHL v dnešní době zaměstnává desítky tisíc zaměstnanců a má pobočky po celém světě. [36]

Důvodem zavedení kolaborativního robotu byla nutnost bezpečné interakce s člověkem. Robot má totiž na nové inspekční a balící lince STIHL nejen za úkol vyjmout kotoučovou řezačku ze zavěšeného dopravníku, provést otřesový test a následně umístit do přepravní krabice, ale také polohovat se strojem tak, aby lidský pracovník mohl provést finální kontrolu. Bez pomoci robotu musel pracovník každý kus zvedat rukama, což se při 10 kg hmotnosti

ukázalo jako značné zatížení pro několikahodinový provoz. Zavedením robotu se tedy snížila fyzická zátěž na lidské pracovníky a zefektivnil proces kontroly.

Výběr kolaborativního robotu nebyl pro STIHL problém díky předchozí několikaleté spolupráci se společností FANUC. Zahájení výroby s nově zavedeným robotem trvalo necelé tři dny a robot i při první noční směně pracoval bez jediného problému. Vedoucí skupiny André Lange, který je zodpovědný za plánování služeb a hardwaru, totiž těžil ze znalosti robotické technologie FANUC z předchozích aplikací průmyslových robotů. Schopnost použít stejný řídicí systém FANUC jako při předešlých aplikacích se ukázala jako jedna z hlavních výhod pro společnost STIHL, protože řídicí technologie a uživatelské rozhraní jsou stejné. Používané systémové komponenty, jako je „Line Tracking“ technologie, která je obzvláště užitečná při synchronizaci se zavěšeným dopravníkovým systémem, integrace kamerových systémů či osvědčené softwarové možnosti „Collision Guard“ jsou již společnosti STIHL dobře známy a oceňovány. [35]



Obrázek 24 Robot FANUC CR-35iA ve společnosti STIHL [35]

4.9 Fitzpatrick Manufacturing

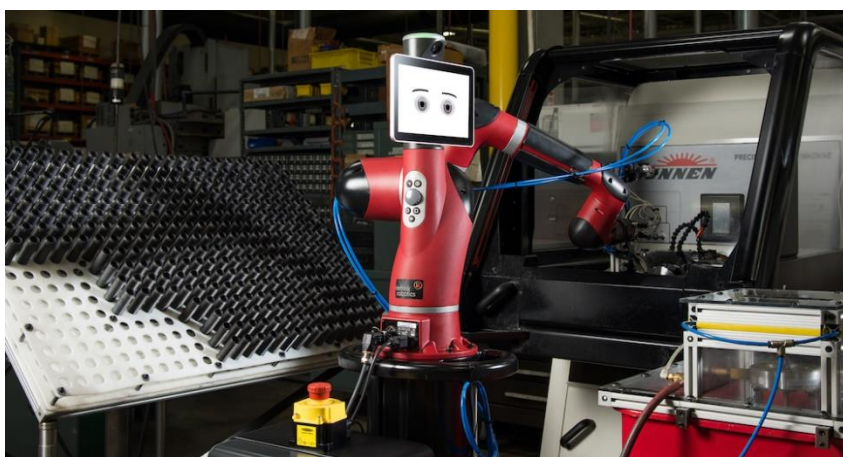
Fitzpatrick Manufacturing, továrna na CNC stroje a zakázkový výrobce, nainstaloval spolupracující robot Sawyer od společnosti Rethink Robotics ve svém závodě ve Sterling Heights v Michiganu, aby zvýšil provozní efektivitu a vyvážil napjatý trh práce.

Společnost Fitzpatrick Manufacturing byla založena roku 1952 a dodává díly do více než desítky odvětví, včetně letectví, automobilového průmyslu, lékařského vybavení či do ropného a plynového průmyslu. Společnost je známá pro svou inovaci a do závodu pravidelně zavádí nové technologie pro zvýšení rychlosti, zvýšení efektivity a udržení konkurenceschopnosti.

Proto se společnost obrátila na automatizaci, aby zvýšila provozní efektivitu a zlepšila kvalitu dílů. Počet pracovních míst stále roste, ale je stále těžší nalézt pracovníky ochotné dělat monotónní činnost. Před zavedením robotu se na dané práci střídali čtyři lidé, jen aby zabránili nudě. Šlo totiž o bezduchou a únavnou práci, kdy pracovníci jen obsluhovali stroj. To vedlo mimo jiné k větší míře lidských chyb, kdy byli například některé prodané kusy mastné, protože je pracovníci zapomněli umýt. Robot Sawyer je však stoprocentní, a proto je každá část procesu vykonána správně.

Ve výrobním závodě tedy Sawyer pomáhá zdokonalovat součásti, které se stávají součástkami v průmyslu pro řízení pohybu. Robot identifikuje, která část se má upravit jako první, a založí ji do honovacího stroje. Po dokončení první operace část vyjme a založí do stroje druhou část, mezitím první část umístí do mycí stanice. Nakonec obě omyté části usuší ve vysoušecí stanici, a pak je zabalí do přepravní krabice. Se 400 místy pro ukládání může Sawyer pracovat samostatně pět až osm hodin, než musí lidský pracovník zasáhnout. Díky tomu může robot pracovat i přes noc. To výrazně zvyšuje efektivitu práce, ale hlavně ulehčuje od monotónních úkolů.

Zavedení robotu se zprvu setkalo se zaváháním, převážně od starší generace, která se obávala, že je robot nahradí. Jakmile si však uvědomili, že Sawyer spíše pomáhá vykonat práci rychleji a lépe, ale hlavně dává více příležitostí pro zábavnější práci, tak jeho zavedení ocenili. Pro společnost Flitzpatrick Manufacturing, stejně jako pro většinu ostatních továren, jde především o efektivitu práce. Díky robotu se zvýšila produkce průměrně o 300 kusů denně, proto vzhledem k úspěchu prvního robota Sawyer má společnost další nápady pro nasazení kolaborativních robotů. [37]



Obrázek 25 Robot Sawyer v závodě Flitzpatrick Manufacturing [37]

4.10 MANN + HUMMEL IBÉRICA

Španělská dceřiná společnost, MANN+HUMMEL IBÉRICA, německé nadnárodní skupiny MANN + HUMMEL implementovala tři kolaborativní roboty od společnosti Universal Robots pro optimalizaci procesů ve výrobě automobilových dílů. Roboty, které pracují bok po boku s lidskými pracovníky při obsluze strojů, pomohly společnosti dosáhnout zvýšení produktivity bez zvýšení nákladů nebo nadměrné produkce dílů.

MANN+HUMMEL je předním výrobcem vysoce kvalitních produktů v oblasti filtrů a technických plastových komponentů pro automobilový a průmyslový sektor. Dceřiná společnost se nachází v Zaragoze ve Španělsku a má asi 750 zaměstnanců. Jejich zákazníci jsou výrobci vozidel a distributoři náhradních automobilových dílů. Společnost neustále pracuje na zdokonalování výrobních procesů a je pevně odhodlána automatizovat výrobní linky, aby dosáhla snížení nákladů, zvýšení produktivity a udržení tak konkurenceschopnosti.

Proto vytvořila tři aplikace využívající kolaborativní roboty UR10 od společnosti Universal Robots. Tyto tři aplikace jsou integrovány do montážních buněk, kde se přenos dílů provádí automaticky. UR10 spolupracuje s operátorem, pomáhá mu s obsluhou stroje v okamžiku, kdy je pro operátora obtížné vstoupit do pracovního prostoru či je nutné reagovat

v přesně daný okamžik procesu. V první aplikaci je dokonale synchronizované založení a vyjmutí dílu ze svařovacího stroje, aby docházelo k co nejmenším prodlevám. Druhá aplikace se naskytla při pozdějším navýšení poptávky zákazníků, kdy sestavovací buňku nejprve obsluhoval jediný operátor, poté však nestačil a navýšení poptávky nebylo tak zásadní, aby se vyplatil druhý operátor. Proto řešením bylo přidání kolaborativního robota, jehož úkolem je přenos součásti mezi svařovacím strojem a ověřovacím strojem. Robot čeká, dokud se díl nedokončí, poté jej vyjme ze stroje a doručí ho přímo do ruky obsluhy přesně podle potřeby. Ve třetí aplikaci robot UR10 pracuje společně s jedním operátorem při přenosu součásti mezi dvěma různými stroji.

Distributor SEA Zaragoza při objasnění problému bez zaváhání navrhl kolaborativní robota od společnosti Universal Robots. Čas integrace byl minimální a po krátkém zácviku se obsluha rychle naučila vyvíjet své vlastní aplikace díky flexibilitě a jednoduchosti kolaborativních robotů nejen od dané společnosti. Zkušenosti společnosti MANN+HUMMEL s koboty byly natolik pozitivní, že ihned poté zvažují jejich použití na další operace, jako například kontrolní úkoly, balení dílů či monotónní činnosti. V současné době testují další robot UR10 vybavený efektořem Robotiq 2F-140 v rámci vývoje nové aplikace balení. [38]



Obrázek 26 Robot UR10 v MANN+HUMMEL IBÉRICA [38]

5 ANALÝZA VÝHOD A NEVÝHOD POUŽÍVÁNÍ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ

Jako každá věc mají i kolaborativní roboty své výhody a nevýhody. Záleží však na spotřebitelích, která vlastnost pro ně bude důležitější. Kolaborativní roboty se hodí převážně do malých a středních podniků, díky svému snadnému přeprogramování. Pro plně automatické linky se naopak spíše hodí průmyslové roboty, díky své rychlosti a velkému užitečnému zatížení. [39]

Tabulka 10 Hlavní výhody a nevýhody kolaborativních robotů [6]

Výhody	Nevýhody
Sdílení pracovního prostoru s lidmi	Nutné posouzení rizika, bezpečnostní opatření
Nevyžadovány bezpečnostní zábrany - snížení počátečních nákladů	Bezpečnostní opatření při detekci člověka - velmi nízké rychlosti, zastavování
Snadnější nasazení	Omezený dosah, užitečné zatížení a rychlost
Návratnost obvykle do roka	Lidská pomoc a dohled
Jednodušší programování	Přísná a nepřilíš jasná legislativa

5.1 Výhody

Efektivita

Kolaborativní roboty nejvíce ze všeho zvyšují efektivitu práce člověka s robotem. Při práci s průmyslovými roboty obsluha většinou předá části do dopravníku či otočného stolu a poté musí opustit pracovní prostor, aby robot provedl svoji práci. U spolupracujících robotů prostor opustit nemusí a obsluha může předat část přímo robotu, což snižuje čas, náklady, ale i prostor. Kolaborativní roboty nejsou ale navrženy tak, aby nahrazovaly lidi, spíše aby vykonávaly úkoly, které jsou pro člověka považovány za škodlivé, opakující či nemožné. Umí vykonávat těžké zvedací práce, pracovat se škodlivými látkami nebo s extrémně horkými komponenty. Mohou také provádět složité úkoly, které vyžadují hodně obratnosti a způsobují u lidí opakovaně stresové zranění. Technologie spolupráce tedy zvýší produktivitu, bezpečnost a sníží náklady. [39]

Flexibilita

Kolaborativní roboty jsou flexibilní, snadno se instalují a přemísťují. Jejich menší velikost usnadňuje jejich sestavení, rozebrání a přemístění, aniž by se změnilo rozvržení celé výroby. Pokud jde o programování, tak speciálně ruční vedení umožňuje programování robotů i pro neškolené pracovníky. Díky rychlému přeprogramování a přesunu jsou kolaborativní roboty zvláště vhodné pro malé a střední podniky, které mají mnoho různých druhů vyráběných produktů v menším objemu. Bez nutnosti oplocení se tyto roboti mohou pohybovat po výrobních halách na kolech, aby mohli plnit různé úkoly. [40]

Bezpečnost

Hlavní výhodou kolaborativních robotů je jejich bezpečnost, která jim umožňuje pracovat spolu s lidskými pracovníky. Kolaborativní roboty jsou lehké a dodržují standardní bezpečnostní pokyny ISO/TS 15066. Tyto pokyny pomáhají malým a středním výrobcům zajistit, aby lidé mohli pracovat bezpečně s rozmístěnými roboty. Nemusí totiž být za bezpečnostními

zábrany, což zmenšuje požadovaný prostor, ale také dává příležitost ke spolupráci. Díky tomu však mají ramena omezenou sílu a rychlost. Každý kloub je vybaven senzorem síly, který v případě kolize robot zastaví. Kromě toho mohou být přidány externí senzory, jako jsou například laserové senzory, které zpomalí nebo zastaví robot již před samotnou kolizí. [40]

Rentabilita

Spolupracující roboty mohou být levnější než průmyslový robot, i když nejde jen o náklady za robot, ale o investici jako celek. Pokud se totiž vezmou všechny vedlejší faktory, rozdíl v nákladech se ještě zvětší. U průmyslového robotu se totiž musí připočítat cena i za bezpečnostní zábrany. Zaměstnanci navíc nemusí absolvovat školení a není ani třeba, aby si společnost udržovala odborníka na robotiku. Na rozdíl od průmyslových robotů je volitelný. Návrh investic u kolaborativního robotu trvá v průměru méně než rok, zatímco o průmyslového to může být až 18 měsíců. [39]

5.2 Nevýhody

Užitečné zatížení

Flexibilita a bezpečnost přichází s cenou. Kolaborativní roboty mají obvykle malé užitečné zatížení od 3 do 10 kg. Největší má AURA, 170 kg, naopak některé průmyslové roboty mají užitečné zatížení až 2 tuny. To je dáno tím, že předepsané bezpečnostní normy musí kolaborativní robot splňovat včetně efektoru a břemene. Platí totiž čím větší váha, tím větší setrvačnost, tím větší síla nárazu. Jedna věc je jistá. Kolaborativní roboty nejsou určeny pro náročné aplikace. [39]

Rychlost

Bezpečnost, jako hlavní cíl u kolaborativních robotů, nemůže být v kombinaci s vysokou rychlostí, platí totiž stejná logika, protože setrvačnost je závislá také na rychlosti. Typická rychlost pro kolaborativní robot je kolem 1000 mm za sekundu, což je až pětkrát menší oproti průmyslovým robotům. Jakmile nastane interakce mezi operátorem a robotem, rychlost robotu se sníží, aby byla zajištěna bezpečnost lidského pracovníka. Pro vysokorychlostní operace se spíše využívají průmyslové roboty. [40]

Účinnost

S nevyškoleným personálem může klesat účinnost. Programování vedení rukou je snadné a rychlé, ale promítá se do něj lidský pohyb, který nemusí být v některých případech optimálním řešením. Pokud úkol vyžaduje například velmi přesné a jemné pohyby, lidští pracovníci nemusí být schopni kolaborativního robota správně navést. Průmyslové roboty se řídí pomocí programování, čímž je zaručena rychlejší, plynulejší a optimalizovanější cesta. V některých případech si robot může zvolit nejvhodnější cestu sám, podle daného natočení. U kolaborativních robotů je samozřejmě také možnost programování, ale je pak nutné mít vyškolený personál. [40]

Bezpečnostní Schválení

Schválení může být obtížné nejen proto, že existuje velké množství bezpečnostních předpisů, ale také proto, že přemístění, změna úkolu či nástroje kolaborativního robota může vyžadovat novou bezpečnostní certifikaci. Tu však musí provést specializovaný pracovník. Například při nainstalování efektoru se špičatými hranami se původní funkce považuje za změněnou. Proto je nutné získat obnovené bezpečnostní schválení, které stojí čas a peníze. [39]

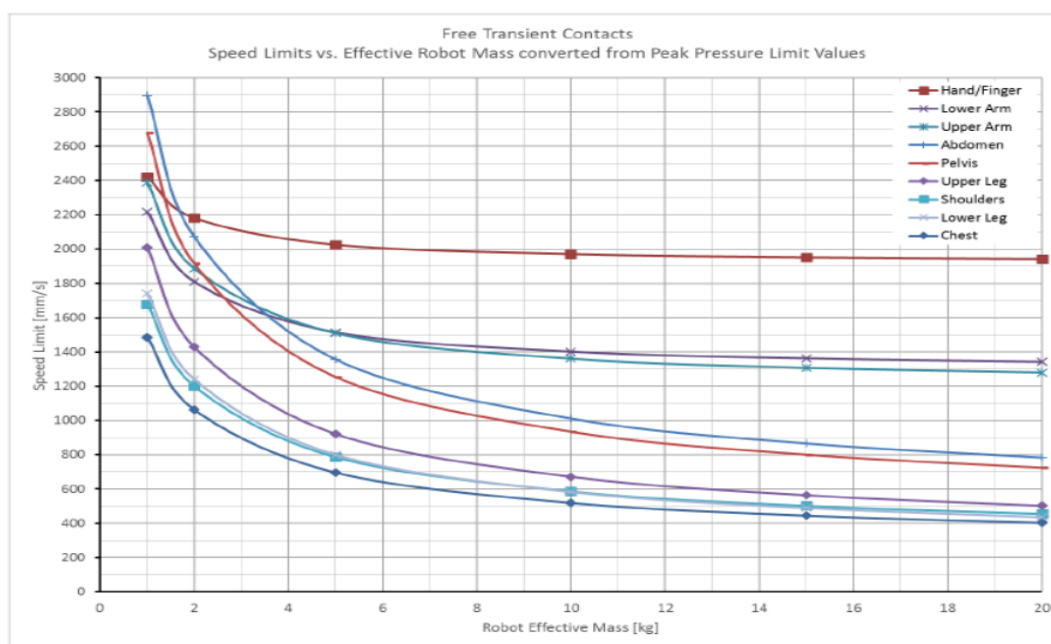
6 BEZPEČNOST KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ

Bezpečnost je u kolaborativních robotů velmi důležité téma kvůli spolupráci s člověkem. Je nutné brát vždy ohled na bezpečnost lidského pracovníka. U průmyslových robotů byly zavedeny dvě základní normy věnující se bezpečnosti – ISO 10218-1 a ISO 10218-2. Kolaborativní roboty však byly stále novou technologií a nejsou podrobně řešeny. Byly zmíněny pouze různé režimy spolupráce robotu s člověkem. Kromě popisu však neexistují žádné podrobnosti o různých požadavcích nezbytných k dosažení této spolupráce. Bylo nutné zavést technické specifikace přímo pro kolaborativní roboty. Vyšla tedy 30stránková norma s označením ISO/TS 15066. [41]

6.1 ISO/TS 15066

Na této normě spolupracovali členi z 24 zúčastněných zemí. Jedná se o dokument, který poskytuje doplňující a podpůrné informace k bezpečnostní normě ISO 10218-1 a ISO 10218-2, která byla zveřejněna v roce 2011, a je dobrým prvním krokem k zajištění bezpečnosti lidských pracovníků ve spolupráci člověka s robotem. Zahrnuje také výzkumnou studii věnující se „prahu bolesti“ či „úrovni zranění“ proti rychlosti robotu, tlaku a dopadu na konkrétní části těla. Zjednodušeně určuje, jaká síla či tlak a rychlost nárazu ramene robotu způsobí ještě snesitelnou bolest na různých částech těla za různých podmínek – například při nárazu ve volném prostoru (přechodný kontakt) nebo při sevření (kvazi-statický kontakt). Kolaborativní robot by měl být konstruován tak, aby tyto limitní hodnoty nepřekročil.

Jedním ze způsobů, jak toho docílit je navržení robotů se zaoblenými tvary a měkkým krytem, což sníží sílu nárazu díky větší kontaktní ploše a eliminuje nebezpečná místa. Dalším způsobem je snížení rychlosti pohybu ramene či hmotnosti ramene, čímž dojde ke snížení setrvačnosti. Pro bezpečnost strojního zařízení je však nutné, aby požadavky ISO/ TS 15066 splňovala celá sestava, v níž robot pracuje. Při jakémkoli porušení technické specifikace musí robot, jakkoli kolaborativní, za bezpečnostní zábrany. [41] [42]



Obrázek 27 Graf závislosti maximální přípustné rychlosti robotického ramene na hmotnosti robotu pro různé části těla [49]

6.2 Režimy spolupráce

Existují 4 základní typy spolupráce robotu s člověkem – safety-rated monitored stop (SRMS), hand guiding, speed and separation monitoring (SSM) a power and force limiting (PFL). První dva typy jsou typické pro průmyslové roboty. K nejlepší kolaboraci dojde při posledním typu, kdy člověk může přímo spolupracovat s robotem během operací.

Tabulka 11 Režimy spolupráce [42] [43]

Režim spolupráce	Specifikace	Prostor spolupráce	Zajištění bezpečnosti
Safety-rated monitored stop	Žádné	Žádný	Monitorovaná oblast
Hand guiding	Zaznamenávání síly na rameno	Žádný	Monitorovaná oblast
Speed and separation monitoring	Detekční čidla	Definován z hlediska bezpečnosti	Vymezení prostoru spolupráce detekčním čidlem
Power and force limiting	Omezování síly a rychlosti	Celý prostor kolem robotu	Konstrukce robotu

6.2.1 Safety-rated monitored stop (SRMS)

V překladu bezpečnostní monitorované zastavení. Tento způsob zabezpečení se používá většinou v případě, kdy robot pracuje převážně samostatně. Při vstupu obsluhy do monitorované oblasti se robot automaticky zastaví. Robot však není vypnut, pouze čeká na vyklizení pracovního prostoru. Samotné zastavení robotu musí být dostatečně s předstihem před samotným kontaktem s člověkem. Po zastavení může obsluha provést potřebné operace. Po opuštění bezpečnostní zóny se robot automaticky vrátí k přerušené činnosti. Tento způsob je neúčinnější, když robot pracuje většinou odděleně a jen výjimečně potřebuje obsluhu. [42] [43]

6.2.2 Hand guiding

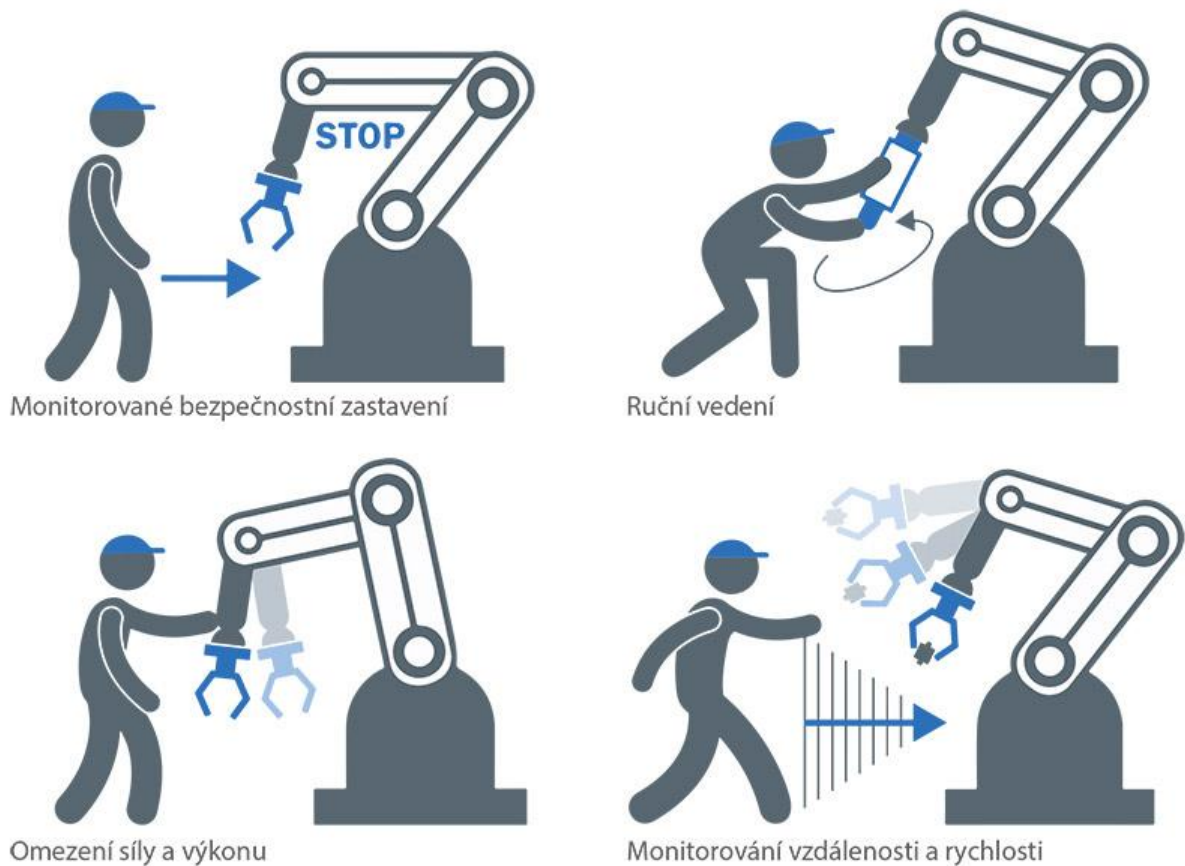
V překladu ruční navádění. Nejedná se přímo o provozní kolaboraci. Podobně jako při bezpečnostním monitorovaném zastavení se robot automaticky zastaví při vstupu obsluhy do monitorované oblasti. Jediným rozdílem je možnost s robotem hýbat a jednoduše ho naučit potřebnou trajektorii. Tento typ spolupráce se využívá u běžných průmyslových robotů. Tyto roboty však musí být vybaveny přídatným zařízením, které je schopno zaznamenat síly, které pracovník vyvíjí na robotické rameno. [42] [43]

6.2.3 Speed and separation monitoring (SSM)

V překladu sledování rychlosti a vzdálenosti. Tento režim spolupráce již nevyžaduje bezpečnostní zábrany k oddělení pracovního prostoru robotu, a proto se využívá i u kolaborativních robotů. Pracovní prostor je vytyčen pomocí detekčních čidel a má většinou dvě zóny. V případě vstupu obsluhy do vnější zóny (žluté) se robot zpomalí na bezpečnostní rychlost $250 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, v této zóně však nemůže dojít ke kontaktu robotického ramene a jakékoli části těla obsluhy. Teprve vnitřní zóna (červená) je v dosahu ramene robotu. Při překročení hranice vnitřní zóny se robot zcela zastaví. Vnější zóna slouží tedy k dostatečnému zpomalení robotu, aby při překročení vnitřní zóny robot včas zastavil. [42] [43]

6.2.4 Power and force limiting (PFL)

V překladu omezení síly a výkonu. V tomto režimu spolupráce zajišťuje podmínky spolupráce samotný robot. Režim tedy vyžaduje zcela kolaborativní roboty a řídí se technickou specifikací ISO/TS 15066. Tyto roboty jsou konstruovány tak, aby nepřekročily limitní hodnoty definované v této technické specifikaci. Jsou proto navrženy tak, aby rozptýlily síly v případě nárazu na široký povrch, což je jeden z důvodů, proč jsou hrany robotu zakulaceny a pokryty měkkým materiálem. Tento typ spolupráce umožňuje práci robotu ve sdíleném pracovním prostoru s obsluhou. [42] [43]



Obrázek 28 Režimy spolupráce [50]

7 PROGRAMOVÁNÍ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ

Existují různé metody programování průmyslových robotů. Nejčastější metoda je v dnešní době tzv. online programování, kdy je robot programován přímo na pracovišti pomocí ručního ovládacího panelu (pendant, teach-pendant). Další používaná metoda je tzv. off-line programování. Robot není v tomto případě nutné mít fyzicky k dispozici. Toto programování probíhá přes softwarový systém. Poslední a stále více používanou metodou je tzv. interaktivní programování. Metoda je založena na interakci člověka s robotem. Toto programování je nejpoužívanější právě u kolaborativních robotů. [44]



Obrázek 29 Ruční ovládací panel [47]

7.1 Online programování

Díky jeho jednoduchosti je online programování stále nejpoblárnější. Princip je velmi jednoduchý, obsluha/programátor pomocí uživatelských rozhraní navádí robot nebo ho programuje přímo na pracovišti, kde je robot fyzicky přítomen. Robot je postupně v ručním režimu naváděn do jednotlivých bodů a pozici těchto bodů si ukládá. Dále je nutné specifikovat pohyb mezi těmito body určením rychlosti a trajektorie.

Operátor má v ručním režimu k dispozici dva typy pohybů – osově specifický pohyb nebo pohyb v kartézských souřadných systémech. Při osově specifickém pohybu je možné pohybovat individuálně s každou jednotlivou osou robotu v kladném či záporném směru. Díky velkému počtu os (nejčastěji 6) se tento typ pohybu při ručním navádění příliš nepoužívá. Používanější možnost je pohyb v kartézských souřadných systémech, kdy se pohyb uskutečňuje ve třech hlavních osách zvoleného souřadnicového systému.

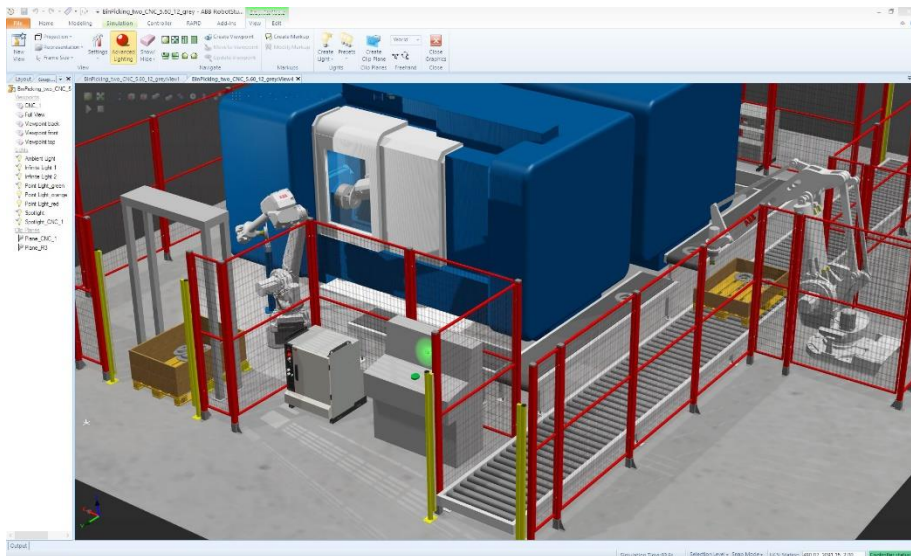
Existují tři hlavní typy pohybů mezi uloženými body. Jedná se o obecný, lineární a kruhový pohyb. U obecného pohybu si robot zvolí nejrychlejší možný způsob přesunu. Při lineárním pohybu se robot pohybuje po přímce a u kruhového se pohybuje po kruhové dráze. Pouze v případě kruhového pohybu je nutné zadat i tzv. pomocný bod, který vymezuje samotnou kruhovou dráhu. [44]

7.2 Off-line programování

Off-line programování spočívá v práci se softwarovými systémy, které umožní vytvořit 3D návrh robotizovaného pracoviště ve virtuálním prostředí. Používá se pro snížení prostojů a zvýšení účinnosti. Pomocí simulací se dá předejít nebezpečným střetnutím či poškození robotu. V dnešní době je možné přenést celé pracoviště do virtuálního prostředí, a tím otestovat mnoho různých přístupů ke stejnému problému. Díky tomu je možné dosáhnout zvýšení produktivity.

Programátor tedy vytvoří celý pracovní cyklus ve virtuálním prostředí a poté ho pouze nahraje do řídicího systému robotu. Ovšem vygenerované off-line programy je alespoň částečně nutné modifikovat přímo na pracovišti dle skutečných požadavků, protože virtuální model nemusí detailně odpovídat reálné situaci.

Nutné pořízení programovacího softwaru v mnoha případech odpadá, protože mnoho firem, které prodávají průmyslové roboty, mají vlastní programovací software systémy, které prodávají spolu s robotem. Mezi nejznámější patří RobotStudio od ABB, Kuka.Sim od KUKA či RoboGuide od Fanuc. [44]



Obrázek 30 RobotStudio [48]

7.3 Interaktivní programování

Interaktivní programování je nejjednodušší způsob programování robotu. Patří k němu tzv. vedení rukou, kdy je robot fyzicky veden operátorem po pracovním prostoru. Přesun na požadované místo je zaznamenán a uložen do řídicího systému. Velká výhoda je právě intuitivnost, ale nevýhodou je velká nepřesnost vyžadující další senzory. Tato metoda je nejpoužívanější právě u kolaborativních robotů, protože v nich už jsou zabudované všechny potřebné senzory.

8 VLASTNÍ ZHODNOCENÍ

Trendem dnešní doby je automatizace. Stále více podniků je součástí průmyslu 4.0, kdy využívají současný trend digitalizace a s ní související automatizaci výroby. V těchto podnicích pracují většinou lidé a stroje v těsné blízkosti. K této spolupráci jsou přímo navrženy kolaborativní roboty. Proto počet prodaných kolaborativních robotů exponenciálně roste a v nejbližších letech bude nadále růst. Využití těchto robotů se bude stále rozšiřovat. Domnívám se, že za několik let nebude větší společnosti bez kolaborativního robotu. Nejenom že se kolaborativní roboty budou nadále vyvíjet, ale i jejich rozmanitost se bude postupně zvětšovat. Nadále se budou nacházet další a další různorodá využití kolaborativních robotů. Bezpečnost bude i nadále jedním z nejdůležitějších kritérií, ale s vývojem nových senzorů a pohonů se budou moct roboty pohybovat větší rychlostí a mít větší užitečné zatížení.

V daleké budoucnosti však už kolaborativní roboty nebudou hrát zásadní role v automatizaci průmyslu, protože budou celé výrobní haly robotizované a budou schopny autonomně pracovat bez nutnosti zásahu člověka. Kolaborativní roboty se však přesunou do méně průmyslových odvětví. Dle mého názoru nahradí spoustu lidských činností od uklízení, vaření až po péči o nemocné. Nepůjde však už přímo o robotizovaná ramena, ale o roboty napodobující vzhled člověka. Tyto roboty však budou muset mít také bezpečnostní opatření a s tím spojené senzory.

Kolaborativní roboty budou tedy i nadále nedílnou součástí průmyslu. Investice do těchto robotů je dle mého názoru správná cesta k automatizaci. Převážně pro menší a střední podniky, které více využijí flexibilitu kolaborativních robotů.

9 ZÁVĚR

Bakalářská práce je ve formě rešerše a zabírá se tématem kolaborativní roboty. Toto téma je v dnešní době velice aktuální díky stále větší automatizaci. Kolaborativní roboty nachází stále větší uplatnění v praxi, převážně díky své flexibilitě. Zavedení robotů přináší řadu výhod, ale je nutné posoudit i řadu negativ.

V první části bakalářské práce byla popsána stručná historie průmyslových robotů a uvedeny rozdíly mezi kolaborativním a průmyslovým robotem. Poté byly představeny společnosti a jejich nejznámější kolaborativní roboty na současném trhu společně se svými základními parametry. Tato kapitola může sloužit k přehlednému porovnání daných robotů. Podstatná část bakalářské práce byla vyhrazena pro uvedení příkladů úspěšných aplikací. Různorodost uvedených příkladů dokazuje univerzálnost kolaborativních robotů. V další části byly popsány hlavní výhody a nevýhody kolaborativních robotů. Jelikož je bezpečnost jedním z nejdůležitějších kritérií při kolaboraci s člověkem, byla jí věnována patřičná pozornost. V kapitole bezpečnosti byla uvedena norma ISO/TS 15066 a také popsány 4 základní režimy spolupráce. V neposlední řadě byly zmíněny způsoby programování kolaborativních robotů. Na závěr bylo provedeno vlastní zhodnocení dané problematiky.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ISO 8373. *Roboty a robotická zařízení - Slovník*. 1. vyd. 2013, 48 s.
- [2] DORF, Richard. *Robotics and automated manufacturing*. 1st ed. Reston, Va.: Reston Pub. Co., 1983. ISBN 0835966860.
- [3] ROBOTIQ, . *Collaborative Robot Buyer's Guide* [online]. 1st ed. 2019 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/hubfs/COBOT%20EBOOK%20FINAL.pdf>
- [4] Industrial Robot History. *RobotWorx* [online]. 2020 [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/industrial-robot-history>
- [5] *Executive Summary World Robotics 2019 Industrial Robots* [online]. 2019, [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://1url.cz/4zQkT>
- [6] Cobots and Industrial Robots: Choose the Right Robot for the Job. *Tech Briefs* [online]. © 2009-2020 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/md/features/articles/28809>
- [7] Naše historie. *Universal Robots* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/o-universal-robots/na%C5%A1e-historie/>
- [8] Universal Robots. *DreamlandRobots* [online]. Kosmonosy, 2019 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://dreamland-robots.cz/universal-robots/>
- [9] Robot Arms. *MYBOTSHOP* [online]. 2019 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.mybotshop.de/Robot-arms>
- [10] *ABB Group* [online]. 2020 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://new.abb.com/>
- [11] *Rethink Robotics* [online]. Frankfurt, 2019 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.rethinkrobotics.com/>
- [12] Kolaborativní roboty. *Omron* [online]. 2020 [cit. 2020-02-5]. Dostupné z: https://industrial.omron.cz/cs/products/collaborative-robots#specifications_ordering_info
- [13] *Collaborative Robots* [online]. Kyoto: OMRON Corporation, © 2018-2019 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v8/i837_collaborative_robots_datasheet_en.pdf
- [14] Historie společnosti KUKA. *KUKA* [online]. 2020 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/o-spole%C4%8Dnosti-kuka/historie>
- [15] *KUKA LBR iiwa brochure* [online]. 2017 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://1url.cz/QzQag>

- [16] History. *Comau* [online]. 2020 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://www.comau.com/en/about-comau/history>
- [17] *AURA* [online]. 7th ed. 2018 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: https://www.comau.com/Download/our-competences/robotics/Automation_Products/Folder_Aura%20Doppie.pdf
- [18] FANUC Robot History. *RobotWorx* [online]. 2020 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/fanuc-robot-history>
- [19] Robot range overview. *FANUC* [online]. 2020 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-range-page>
- [20] History: Kawasaki Heavy Industries. *Kawasaki* [online]. 2018 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://global.kawasaki.com/en/corp/history/index.html>
- [21] Dual-Arm SCARA Robot. *Kawasaki* [online]. 2018 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://global.kawasaki.com/en/>
- [22] *Collaborative Robotics* [online]. Knoxville, ©2012-2020 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://aubo-robotics.com/>
- [23] *Miso Robotics* [online]. 2018 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://misorobotics.com/>
- [24] DORSEY, David. In the Know: CaliBurger opens at University Village with robots flipping, frying. *USA TODAY* [online]. USA, 2018 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://1url.cz/RzFiE>
- [25] The importance of collaborative robotics in the fight against COVID-19. *Robotnik* [online]. Valencia, 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.robotnik.eu/collaborative-robotics-in-the-fight-against-covid-19/#>
- [26] HCR pomáhají v boji proti koronaviru COVID-19. *HCR Czech* [online]. 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.hcr-czech.cz/hcr-pomahaji-v-boji-proti-koronaviru-covid-19/>
- [27] TAO, MAI. Collaborative robots: A helping hand in healthcare. *Roboticsandautomationnews* [online]. London, 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://roboticsandautomationnews.com/2020/05/11/collaborative-robots-a-helping-hand-in-healthcare/32189/>
- [28] Pipetovací roboty pro testování vzorků na Covid-19. *SCIENCE mag* [online]. Nitemedia s.r.o., 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/pipetovaci-roboty-pro-testovani-vzorku-na-covid-19/>
- [29] ZIEGLOVÁ, Iveta. Robot z VUT ušetří práci laborantům. Pomáhat by mohl se vzorky COVID-19 ve FN Brno. *VUT FSI* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.fme.vutbr.cz/covid/aktuality/67845>
- [30] SCIENCE, . Robot YuMi testuje bezpečnost bankomatů. *SCIENCE mag* [online]. 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/robot-yumi-testuje-bezpecnost-bankomatu/>

- [31] EDWARDS, DAVID. Ford installs team of collaborative robots on Fiesta assembly line. *Roboticsandautomationnews* [online]. 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://roboticsandautomationnews.com/2019/09/26/ford-installs-team-of-collaborative-robots-on-fiesta-assembly-line/25938/>
- [32] Škoda Auto, MATADOR Group and KUKA: ending the separation of humans and robots in factories. *International Federation of Robotics* [online]. Frankfurt, 2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://ifr.org/news/skoda-auto-matador-group-and-kuka-ending-the-separation-of-humans-and-rob>
- [33] BEIJING BAI LEAR AUTOMOTIVE SYSTEM CO., LTD. *Universal Robots* [online]. 2020 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/beijing-bai-lear-automotive-system/>
- [34] Collaborative robots in the greenhouse. *International Federation of Robotics* [online]. Frankfurt, 2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://ifr.org/news/collaborative-robots-in-the-greenhouse>
- [35] STIHL opens up new avenues with FANUC's Collaborative Robot. *International Federation of Robotics* [online]. Frankfurt, 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://ifr.org/news/stihl-opens-up-new-avenues-with-fanucs-collaborative-robot>
- [36] Historie společnosti. *STIHL* [online]. 2020 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.stihl.cz/historie-spolocnosti.aspx>
- [37] CROWE, Stewe. CNC machine shop increases efficiency with Sawyer cobot. *The robot report* [online]. 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/machine-shop-increases-efficiency-sawyer/>
- [38] MANN+HUMMEL IBÉRICA. *Universal Robots* [online]. Odense, 2020 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/case-stories/mannplushummel-iberica/>
- [39] SOFFAR, Hebba. Collaborative robot arm (cobot robots) applications, uses, advantages and disadvantages. *Online Science* [online]. 2014 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.online-sciences.com/robotics/collaborative-robot-arm-cobot-robots-applications-uses-advantages-and-disadvantages/>
- [40] LOUKAS, Athanasios. The Pros and Cons of Collaborative Robots - Flexibility vs. Efficiency. *HowtoRobot* [online]. 2020 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/pros-and-cons-collaborative-robots-flexibility-vs-efficiency>
- [41] DAVID, Pradeep. New Safety Certifications To Standardise Collaborative Robots. *Auto Tech Review*. 2016, 5(4), 14-15. DOI: 10.1365/s40112-016-1115-x. ISSN 2250-3390. Dostupné z: <https://doi.org/10.1365/s40112-016-1115-x>
- [42] HAVLE, Otto. *Kolaborativní robotika: Dočasná móda, nebo trvalý trend?* [online]. © 2007-2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: [http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=6755&cHash=544e46c0f9&type=98](http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=6755&cHash=544e46c0f9&type=98)

- [43] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. What Does Collaborative Robot Mean ?. *Robotiq* [online]. 2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean>
- [44] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [45] Unimate. In: *ROBOTS* [online]. 2020 [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://robots.ieee.org/robots/unimate/Photos/SD/unimate-photo1-full.jpg>
- [46] Stanford Arm - 1969. In: *The Stanford University InfoLab* [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: http://infolab.stanford.edu/pub/voy/museum/pictures/display/robots/IMG_2403ArmOverall.JPG
- [47] Fanuc teach pendant. In: *Gorilla Spares* [online]. © 2019-2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.gorillaspares.com/wp-content/uploads/FANUC-A05B-2301-iPendant-teach-pendant-bumper-protector-FRONT-hires.jpg>
- [48] RobotStudio. In: *ABB Group* [online]. 2020 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: http://www07.abb.com/images/default-source/robotics/robotstudio-5-60_3.jpg?sfvrsn=1
- [49] NELSON SHEA, Roberta. *Collaborative Robot Technical Specification ISO/TS 15066 Update* [online]. University of Minnesota, 2016 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://dept.me.umn.edu/courses/me5286/robotlab/Resources/12-TR15066Overview-SafetyforCollaborativeApplications-RobertaNelsonShea.pdf>
- [50] PLATBROOD, Fanny a Otto GORNEMANN. Režimy provozní spolupráce podle norem ČSN EN ISO 10218-2 a ISO/TS 15066. In: *Elektroprůmysl* [online]. Praha: SICK spol. s r.o. Dostupné z: https://www.elektroprumysl.cz/images/stories/Kategorie/Automatizace/Sick/bezpecnost_roboticke_systemy_2019-6.jpg
- [51] HARRIS, Peter. Collaborative robot sales. In: *DDW* [online]. 2019 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.ddw-online.com/library/sid32/9-image3.jpg>
- [52] Foto Robotnik. In: *EL MUNDO* [online]. 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://phantom-el mundo.unidadeditorial.es/2d725317302ed226f133eada8466335a/resize/700/f/webp/assets/multimedia/imagenes/2020/05/23/15902295943234.jpg>
- [53] Robot Pipeťák. In: *Český institut informatiky robotiky a kybernetiky* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.ciirc.cvut.cz/wp-content/uploads/2020/04/Foto-SEJKOT_CIIIRC-CTU_DSC5597.jpg

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Robot Unimate [45]	17
Obrázek 2 Rameno Stanford [46]	18
Obrázek 3 Počet celosvětově prodaných průmyslových robotů [5].....	18
Obrázek 4 Roboty Universal Robots [9].....	22
Obrázek 5 Roboty ABB [10].....	23
Obrázek 6 Sawyer [11].....	24
Obrázek 7 Roboty Omron [13]	25
Obrázek 8 LBR iiwa 7 R800 [15]	26
Obrázek 9 Aura [17].....	27
Obrázek 10 Roboty FANUC [19]	28
Obrázek 11 Roboty Kawasaki [21]	30
Obrázek 12 Roboty AUBO Robotics [22]	31
Obrázek 13 Počet prodaných kolaborativních robotů [51]	33
Obrázek 14 Flippy [23]	34
Obrázek 15 Roboty HRC [26].....	34
Obrázek 16 Robotník pro dálkovou kontrolu stavu pacienta [52]	35
Obrázek 17 Pipetovací robot „Pipeták“ [53]	35
Obrázek 18 Robotické pracoviště openTube [29].....	36
Obrázek 19 Testování bankomatů robotem YuMI [30].....	37
Obrázek 20 Roboty UR10 v závodě Ford [31]	38
Obrázek 21 Robot KUKA LBR iiwa v závodě Škoda Auto [32]	39
Obrázek 22 Roboty UR10 v BAI Lear [33]	40
Obrázek 23 Kolaborativní robot v Rosborg Food Holding [34]	41
Obrázek 24 Robot FANUC CR-35iA ve společnosti STIHL [35]	42
Obrázek 25 Robot Sawyer v závodě Flitzpatrick Manufacturing [37]	43
Obrázek 26 Robot UR10 v MANN+HUMMEL IBÉRICA [38].....	44
Obrázek 27 Graf závislosti maximální přípustné rychlosti robotického ramena na hmotnosti robotu pro různé části těla [49]	47
Obrázek 28 Režimy spolupráce [50].....	49
Obrázek 29 Ruční ovládací panel [47].....	51
Obrázek 30 RobotStudio [48]	52

11.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Roboty Universal Robots [8; 9]	22
Tabulka 2 Roboty ABB [10]	23
Tabulka 3 Roboty Rethink Robotics [11]	24
Tabulka 4 Roboty Omron [13].....	25
Tabulka 5 Roboty KUKA [15].....	26
Tabulka 6 Roboty Comau [17].....	27
Tabulka 7 Roboty FANUC [19].....	29

Tabulka 8 Roboty Kawasaki [21]	30
Tabulka 9 Roboty AUBO Robotics [22]	31
Tabulka 10 Hlavní výhody a nevýhody kolaborativních robotů [6].....	45
Tabulka 11 Režimy spolupráce [42] [43]	48