

Inovace robotu BCN3D MOVEO

Tomáš Havlan

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Cílem této práce je funkční model robotu BCN3D MOVEO s inovovanou konstrukcí, rozšířený o 6. osu a řízený pomocí standardních PLC používaných v průmyslové automatizaci. Součástí práce je ucelený přehled průmyslových robotů s nosností do 5kg se zaměřením na jejich konstrukci, pohony a nástroje pro jejich řízení. Dále jsou v práci popsány jednotlivé úpravy robotu BCN3D MOVEO včetně konstrukce 6. osy a optimalizace pohonů jednotlivých os.

Klíčová slova: průmyslový robot, PLC, 3D tisk, open-source

1. Úvod

Průmyslové roboty, dále jen PR, jsou v posledních několika letech jedno z nejvíce rozvíjejících se odvětví v průmyslu. Pojem průmyslový robot je často chápán rozdílně, a proto byla stanovena Mezinárodní organizací pro standardizaci definice průmyslového robota v normě ISO 8373 ve znění: „Průmyslový robot je automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích“. [1]

První informace o zavedení PR do výroby jsou z roku 1961, kdy byl zprovozněn první prototypový PR firmy Unimation na výrobní lince General Motors v New Jersey (obr. 1). Robot s názvem Unimate 1900 nahradil pracovníky obsluhující stroje pro lití pod tlakem, kdy vyjímal žhavé a těžké odlitky z forem. Vážil přes 1,8t a jeho maximální nosné zatížení bylo 227kg. Byl zkonstruován se sférickou kinematickou strukturou a byl osazen hydraulickými pohony, které vyhověly požadavkům na výkon a také na řízení.



Obr. 1. Robot Unimate 1900 [2]

V současné době počet prodaných PR po celém světě každým rokem roste přibližně o 13% a podle statistik a průběžných výsledků mezinárodní federace robotiky IFR (International Federation of Robotics) by za rok 2020 mělo být prodáno 521 000 kusů PR, což by byl dvojnásobek počtu PR prodaných v roce 2015. Největší podíl

z celkového počtu PR ve světě je v automobilovém průmyslu, ale velký nárůst v posledních dvou letech byl zaznamenán také v oblasti výroby elektroniky.

Z důvodu tak velkého nasazení robotů je nutné s robotickými systémy studenty seznámit již v době studia. Proto je v rámci této práce vyvíjen výukový inovovaný robot BCN3D MOVEO, který je modifikován do podoby běžného průmyslového robota – 6 os, řízení pomocí standardních průmyslových systémů atd.

2. Průmyslové roboty

2.1. Rozdělení PR podle kinematické struktury

Průmyslové roboty lze rozdělit podle kinematické struktury na roboty se sériovou, hybridní nebo paralelní kinematikou.

Sériová kinematika je charakteristická pro mechanismy s otevřenou kinematickou smyčkou. Výsledný pohyb je dán pohybem všech předešlých a do série řazených kinematických dvojic.

Paralelní kinematika je charakteristická pro mechanismy s uzavřenou kinematickou smyčkou. Jednotlivé pohony jsou řazeny paralelně a výsledný pohyb vzniká spojením pohybů jednotlivých pohonů.

Roboty s hybridní kinematikou jsou pak kombinací sériové a paralelní kinematiky.

Porovnání sériové a paralelní kinematiky viz. tab. 1.

Vlastnosti	Paralelní kinematika	Sériová kinematika
Tuhost	Vysoká (jen tah/tlak, vzpěr)	Nízká (ohyb, krut)
Hmotnost pohybujících se součástí	Nízká (pohybují se jen ramena a platforma)	Vysoká (první člen je namáhán vždy členy následujícími)
Řízení	Složitě (mechanismus musí být regulován jako celek)	Jednoduché (každá osa se řídí jednotlivě)
Kalibrace	Komplikovaná	Jednoduchá

Tab. 1. Porovnání sériové a paralelní kinematiky [3]

2.2. Přehled malých průmyslových robotů

V současné době se na trhu vyskytuje velké množství firem nabízejících průmyslové roboty od malých, s nosností několika kilogramů, až po roboty velké, jejichž nosnosti se pohybují v řádech tun. Také dosah nabízených PR má velký rozptyl od několika desítek centimetrů po několik metrů.

V této kapitole se zaměříme na malé roboty se sériovou kinematikou, jejichž parametry jsou podobné parametrům robotu BCN3D MOVEO. Dosah těchto robotů se pohybuje okolo 500mm a nosnost je max. 5kg.

2.2.1. FANUC - LR Mate 200iD/4S

Robot LR Mate 200iD/4S (obr. 2) od japonské firmy FANUC je nejmenší z PR, které firma nabízí. S robotem ABB – IRB120 patří mezi nejpřesnější roboty v této velikosti. Parametry robotu jsou shrnuty v tab. 2.



Obr. 2. FANUC - LR Mate 200iD/4S [4]

FANUC - LR Mate 200iD/4S		
Max. nosnost	4	kg
Dosah	550	mm
Stupně volnosti	6	°
Opakovatelnost	±0,01	mm
Váha	20	kg

Tab. 2. Parametry robotu FANUC - LR Mate 200iD/4S [4]

2.2.2. ABB – IRB120

Robot IRB120 (obr. 3) od švédsko-švýcarské firmy ABB je nejmenší z PR, které firma nabízí. Díky oboustranně uloženým kloubům a robustní konstrukci patří s robotem LR Mate 200iD/4S mezi nejpřesnější roboty této velikosti. Parametry robotu jsou shrnuty v tab. 3.



Obr. 3. ABB – IRB120 [5]

ABB – IRB120		
Max. nosnost	4	kg
Dosah	580	mm
Stupně volnosti	6	°
Opakovatelnost	±0,01	mm
Váha	25	kg

Tab. 3. Parametry robotu ABB – IRB120 [5]

2.2.3. KUKA – KR3 AGILUS

Robot KR3 AGILUS (obr. 4) od německé firmy KUKA je nejmenší z PR, které firma KUKA nabízí. Konstrukce je shodná s roboty z předchozích kapitol, proto i parametry jsou podobné viz. tab. 4.



Obr. 4. KUKA – KR3 AGILUS [6]

KUKA – KR3 AGILUS		
Max. nosnost	3	kg
Dosah	541	mm
Stupně volnosti	6	°
Opakovatelnost	±0,02	mm
Váha	26	kg

Tab. 4. Parametry robotu KUKA – KR3 AGILUS [6]

2.2.4. UNIVERSAL ROBOTS – UR3

Lehký robot UR3 (obr. 5) od dánské firmy Universal Robots se řadí do skupiny kolaborativních robotů, což umožňuje práci robota v bezprostřední blízkosti člověka. Letmo uložené klouby a konstrukce umožňují pohyb všech kloubů v rozsahu 360° a nekonečné otáčení na koncovém kloubu. Konstrukce a váha robota je důvodem nejhorší opakovatelnosti z vybraných robotů. Parametry robota jsou shrnuty v tab. 5.



Obr. 5. UNIVERSAL ROBOTS – UR3 [7]

UNIVERSAL ROBOTS – UR3		
Max. nosnost	3	kg
Dosah	500	mm
Stupně volnosti	6	°
Opakovatelnost	±0,1	mm
Váha	11	kg

Tab. 5. Parametry robota UNIVERSAL ROBOTS – UR3 [7]

2.2.5. STÄUBLI – TX40

Robot TX40 (obr. 6) od mezinárodní firmy STÄUBLI je nejmenší z PR, které firma nabízí. Přestože má robot letmo uložené klouby, robustnost konstrukce umožňuje dosahovat podobných parametrů (tab. 6) jako roboty s oboustranně uloženými klouby.



Obr. 6. STÄUBLI – TX40 [8]

STÄUBLI – TX40		
Max. nosnost	2,3	kg
Dosah	515	mm
Stupně volnosti	6	°
Opakovatelnost	±0,02	mm
Váha	27	kg

Tab. 6. Parametry robota STÄUBLI – TX40 [8]

2.2.6. HIWIN – RA605

Robot RA605 (obr. 7) od tchajwanské firmy Hiwin, zabývající se převážně lineární technikou, je parametry na hraně malých a středních robotů, nicméně byl do výběru zahrnut. Parametry robota jsou shrnuty v tab. 7.



Obr. 7. HIWIN – RA605 [9]

HIWIN – RA605		
Max. nosnost	5	kg
Dosah	710	mm
Stupně volnosti	6	°
Opakovatelnost	±0,02	mm
Váha	40	kg

Tab. 7. Parametry robota HIWIN – RA605 [9]

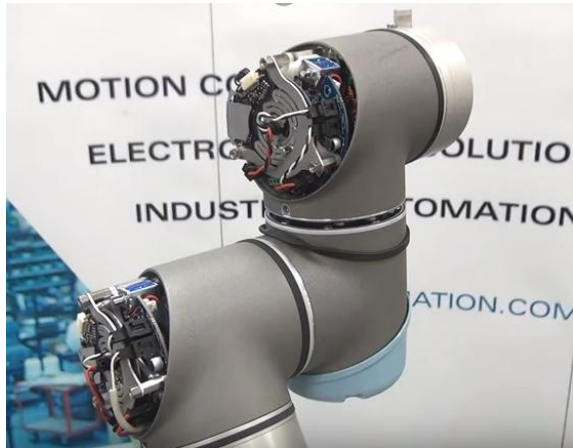
2.3. Pohony malých robotů

Na pohony průmyslových robotů jsou kladeny velké požadavky a to především na parametry:

- plynulý rozběh a brzdění
- vysoká přesnost
- polohová tuhost
- minimální hmotnost

Z těchto důvodů je většina průmyslových robotů poháněna elektrickými servomotory, které tyto požadavky z velké části splňují. Často jsou mezi servomotory a poháněnými členy vloženy převody v podobě ozubení či ozubených řemenů.

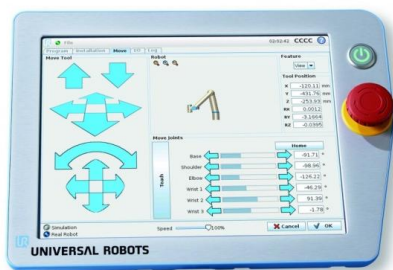
U některých konstrukcích PR je možné také vidět kompaktní pohonné jednotky, které jsou umístovány přímo do jednotlivých kloubů a které obsahují elektromotor s převodovkou, brzdu a odměřování. Podobně řešený kloub (obr. 8) lze vidět na robotech firmy Universal Robots.



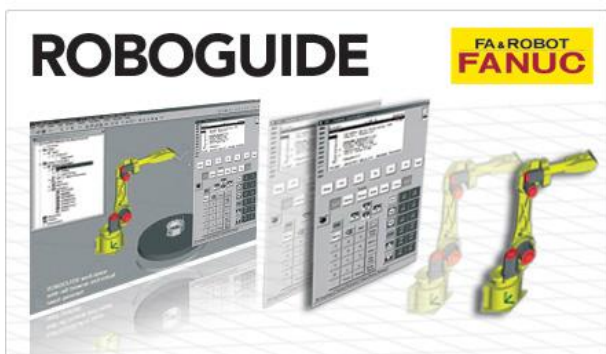
Obr. 8. Pohonná jednotka firmy Universal Robots [10]

2.4. Řídicí systémy průmyslových robotů

Většina výrobců PR nabízí ke svým robotům vlastní řídicí systémy, které bývají přizpůsobeny jednoduché obsluze a programování robotů. Součástí většiny robotů je ovládací panel (např. ovládací panel firmy Universal Robots na obr. 9) pro snadnou obsluhu a programování robota přímo na stanovišti, na kterém je robot nainstalován. Na obr. 10. lze vidět příklad programu na programování a simulování pohybu robotů od firmy Fanuc s názvem ROBOGUIDE.



Obr. 9. Ovládací panel od firmy Universal Robots [7]



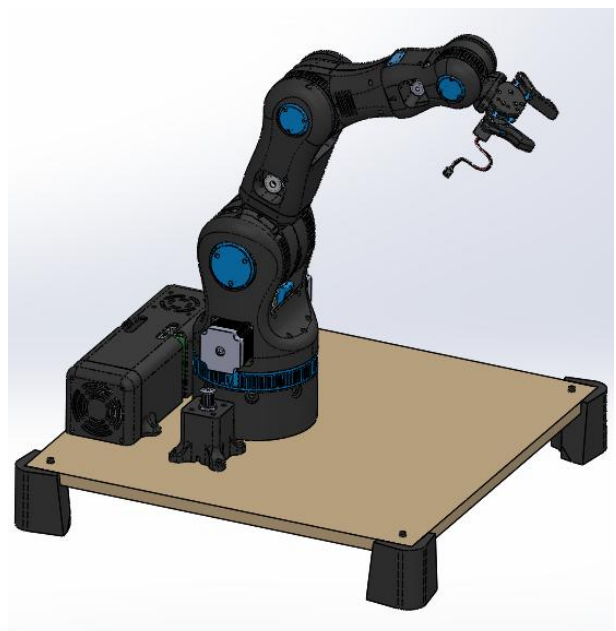
Obr. 10. Program ROBOGUIDE [4]

3. Robot BCN3D MOVEO

Projekt robotického ramene BCN3D MOVEO byl vytvořen inženýry španělské společnosti BCN3D Technologies ve spolupráci se vzdělávacím institutem katalánské vlády s předem jasným cílem, a to přinášet digitální výrobní technologii všem. Představa byla vytvořit robotické rameno, které by bylo k dispozici nejen studentům španělských univerzit k výuce robotiky, mechanického designu, automatizace a průmyslového programování a které by zároveň mělo nízké výrobní náklady.

Výsledkem byl detailně zpracovaný projekt 5-osého robotického ramene s označením BCN3D MOVEO, jehož veškeré nosné díly jsou konstruovány tak, aby byly jednoduše vytisknuté na 3D tiskárně. To umožňuje vyrobit jednoduše a levně potřebné a tvarově komplikované díly. Kromě tištěných dílů jsou dále ke stavbě mechanické části potřeba jen běžně dostupné komponenty v podobě šroubů a kuličkových ložisek. Pohony jednotlivých os jsou vyřešeny krokovými motory různých velikostí, které jsou některé doplněny o převod ozubným řemenem. Řízení robota je na platformě Arduino Mega 2560 s upraveným firmwaru Marlin, používaným běžně k ovládní 3D tiskáren.

Celý projekt je veden jako open-source, což znamená, že veškeré data potřebná ke stavbě robota BCN3D MOVEO jsou veřejně dostupná a tím si může kdokoliv robota postavit, modifikovat jeho technické řešení a následně toto opět sdílet dále mezi ostatní. Na obr. 11. lze vidět CAD model sestavy robota BCN3D MOVEO v programu SolidWorks, ve kterém je model vytvořen a zveřejněn.

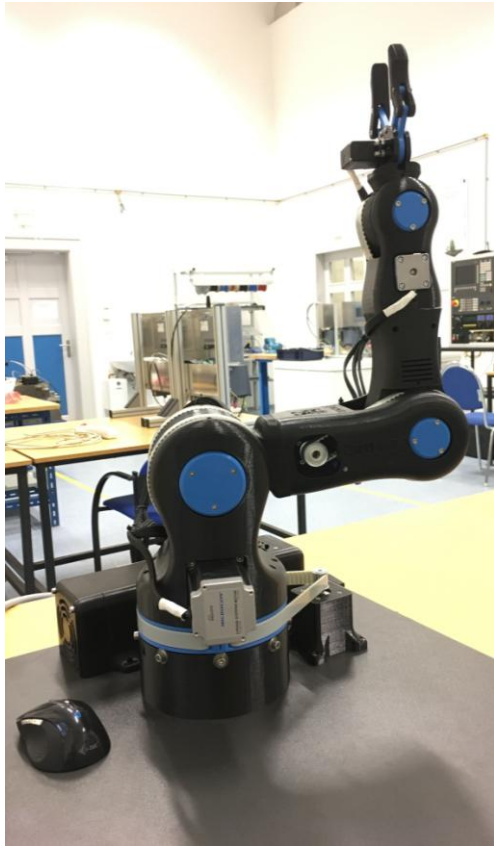


Obr. 11. Robot BCN3D MOVEO v programu SolidWorks

4. Stavba a testování robota BCN3D MOVEO

V rámci této práce byl na základě dostupných podkladů postaven robot BCN3D MOVEO. Jednotlivé tiště-

né díly byly vyrobeny z materiálu PLA a následně byl robot sestaven a zprovozněn podle zveřejněného návodu viz. obr. 12.



Obr. 12. Sestavený robot BCN3D MOVEO

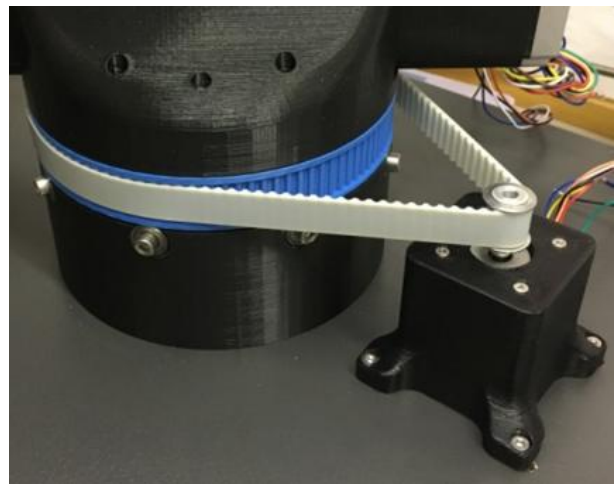
Následovalo testování konstrukce a řízení robotu, při kterém se začaly projevovat některé konstrukční problémy. To bylo motivací se dále robotem zabývat a navrhnout řešení, jak problémy odstranit. Jednotlivé řešené problémy jsou popsány v následující kapitole. Dále byla řešena problematika optimalizace návrhu pohonů a změna způsobu řízení robotu.

5. Návrh mechanických úprav robotu BCN3D MOVEO

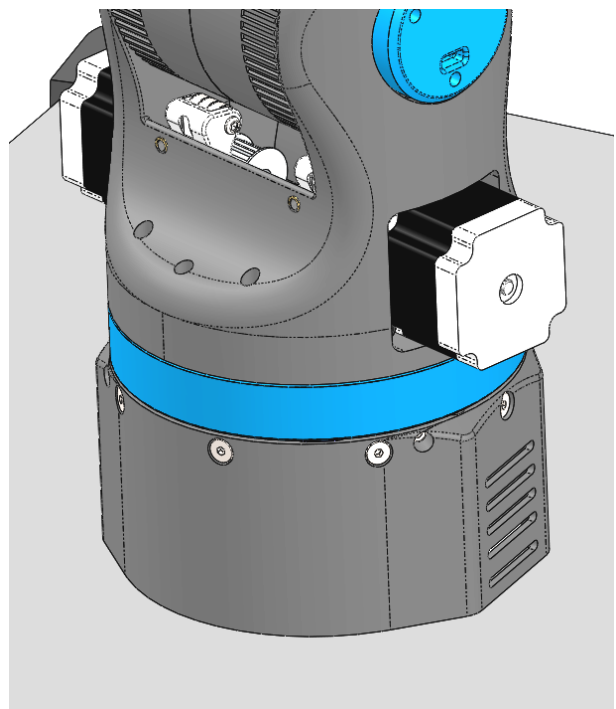
5.1. Návrh 1. osy

Při testování robotu bylo zjištěno, že konstrukce 1. osy nevyhovuje požadavkům polohování robotu a také to, že pohon osy je velmi poddimenzován. Návrhu pohonu je věnována 6. kapitola. Z těchto důvodů byl vytvořen konstrukční návrh nové 1. osy robotu BCN3D MOVEO (obr. 13-16). Pro přenos krouticího momentu byl ponechán ozubený řemenový převod s tím rozdílem, že vše bylo implementováno do základu robotu, tudíž i vizuálně je jeho konstrukce v oblasti základny kompaktnější. Dále byl jeden krokový motor s krouticím momentem 0,5 Nm nahrazen dvěma krokovými motory, kdy každý z nich disponuje krouticím momentem 1,26 Nm. To i při snížení převodu řemene na polovinu postačuje k vyvození přibližně trojnásobného zrychlení 1. osy oproti původní

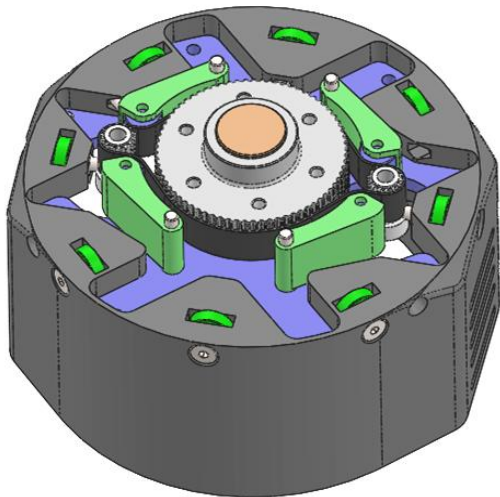
verzi (obr. 13). Krokové motory jsou uchyceny k duralovému výpalku (fialový díl na obr. 15), který zachycuje napínací síly řemene a pomocí kterého se také celý robot kotví k podstavci. Další výhodou je snížení rizika deformace tištěného plastového dílu při zvýšené teplotě motorů, ke kterému došlo u původní verze robotu BCN3D MOVEO. Velká řemenice je ze slitiny hliníku na rozdíl od původní tištěné. Řemen typu HDT3M je napínán pomocí čtyř napínacích kladek (zelené díly na obr. 15). Také uložení 1. osy bylo oproti původní verzi změněno z jednořadých radiálních kuličkových ložisek rozměru 8x22x7mm na uložení pomocí kosoúhlých jednořadých kuličkových ložisek s rozměrem 12x32x10mm. Poslední změnou bylo přemístění ložisek umístěných po obvodu základu robotu zachytávající axiální zatížení 1. osy do základu robotu, přičemž tyto ložiska jsou zde jen záložní, protože axiální sílu by měla zachytávat ložiska kosoúhlá.



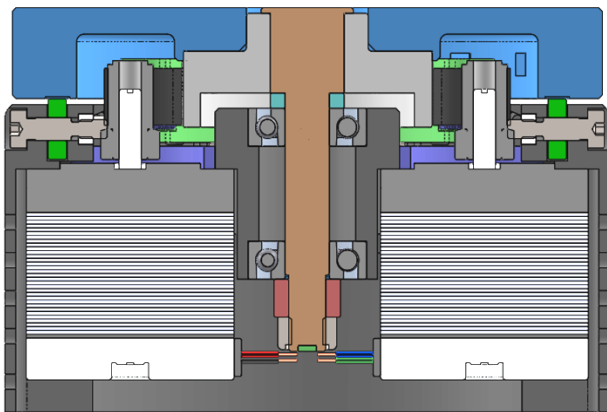
Obr. 13. Původní verze 1. osy robotu BCN3D MOVEO



Obr. 14. Nová verze 1. osy robotu BCN3D MOVEO



Obr. 15. Nová verze 1. osy robotu BCN3D MOVEO

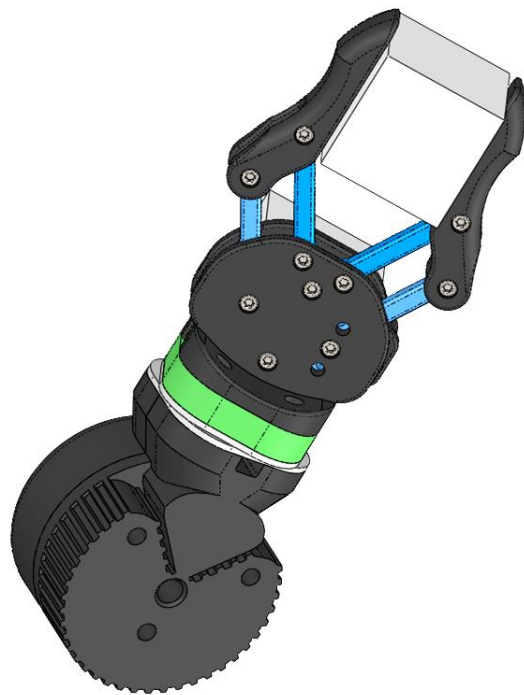


Obr. 16. Řez novou verzí 1. osy robotu BCN3D MOVEO

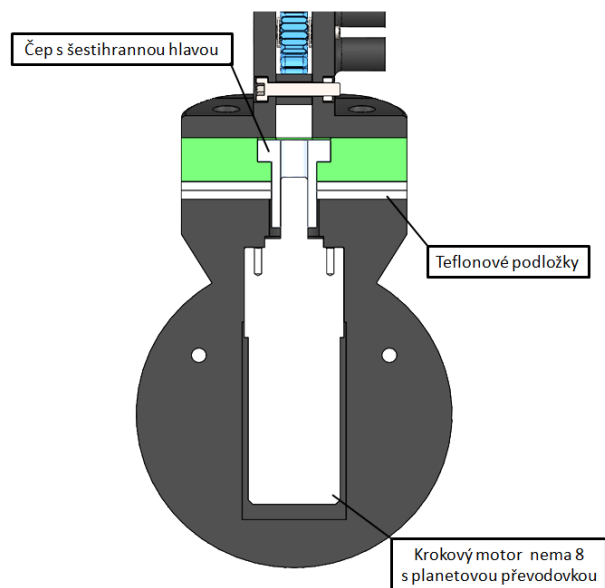
5.2. Návrh 6. osy a úprava 4. osy

Původní verze robotu BCN3D MOVEO má 5. os. Abychom se konstrukčně přiblížili v praxi používaným průmyslovým robotům a zároveň zvýšili možnosti robotu, byla navržena 6. osa (obr. 17), která umožňuje otáčení efektoru podél jeho osy. Otáčení je vyřešeno krokovým motorem typu nema 8 s planetovou převodovkou s převodem 5:1, kdy výstupní krouticí moment je 0,2 Nm. Planetová převodovka je tu z pohledu úhlového zrychlení (tab. 8) nadbytečná, důvodem jejího využití je letmé uložení efektoru, kdy uložení hřídele převodovky je oproti samotné hřídeli v motoru podstatně robustnější. Krouticí moment je přenášen přes čep s šestihlannou hlavou viz. obr. 18. Krokový motor je uložen uvnitř konstrukce robotu, což přináší kompaktnost provedení. Pro plynulejší chod a snížení tření jsou na stykových plochách po sobě pohybujících se dílů umístěny teflonové podložky.

Podobně je také upravena 4. osa, kde kromě doplnění o teflonové podložky je vyměněn krokový motor velikosti nema 17 za krokový motor nema 14 s planetovou převodovkou s převodem 5:1, což při podobném zástavbovém prostoru umožňuje až trojnásobné úhlové zrychlení oproti původní verzi viz. tab. 8.



Obr. 17. 6. osa robotu BCN3D MOVEO



Obr. 18. Řez 6. osou robotu BCN3D MOVEO

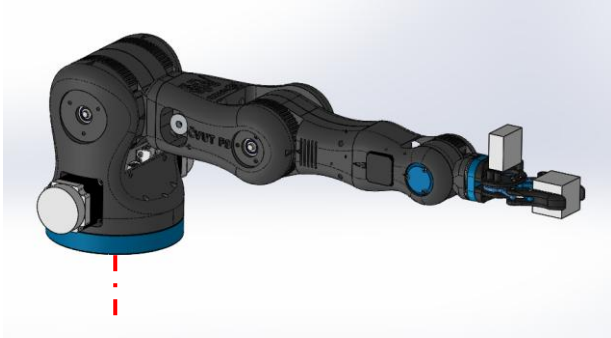
6. Optimalizace pohonů

Dále při testování bylo zjištěno, že některé z os nedisponují dostatečným zrychlením a tudíž dynamika robotu nebyla uspokojivá. Z tohoto důvodu byl proveden výpočet úhlových zrychlení jednotlivých os robotu v kritických kinematických konfiguracích.

Výpočet byl proveden na základě známé hodnoty krouticího momentu motoru (případně motorů) a řemenového převodu na dané ose a momentu setrvačnosti,

kteřý byl získán z CAD modelu robotu po přidělení hmotností jednotlivým modelům sestavy. Moment setrvačnosti byl získán pro každou osu vždy v poloze robotu, ve které byla hodnota momentu setrvačnosti pro danou osu největší. Na obr. 19 je možné vidět polohu robotu, při které byl získán moment setrvačnosti pro výpočet úhlového zrychlení první osy.

$$M_K = I_O \cdot \varepsilon \quad (1)$$



Obr. 19. Poloha robotu při výpočtu úhlového zrychlení 1. osy

Na základě zjištěných hodnot úhlových zrychlení byly kromě 5. osy navrženy a osazeny nové pohony a hodnoty zrychlení přepočteny. Rozdíl v úhlových zrychleních lze vidět v tab. 8, kde červený sloupec znázorňuje hodnoty úhlového zrychlení původní verze, zelený sloupec pak hodnoty nové po optimalizaci.

Zrychlení jednotlivých os				
	nové		původní	
1.osa	34,6	rad.s ⁻²	13,3	rad.s ⁻²
2.osa	66,3	rad.s ⁻²	31,4	rad.s ⁻²
3.osa	112,3	rad.s ⁻²	66,1	rad.s ⁻²
4.osa	100,1	rad.s ⁻²	33,3	rad.s ⁻²
5.osa	92,7	rad.s ⁻²	92,7	rad.s ⁻²
6.osa	860	rad.s ⁻²	-	rad.s ⁻²

Tab. 8. Zrychlení jednotlivých os

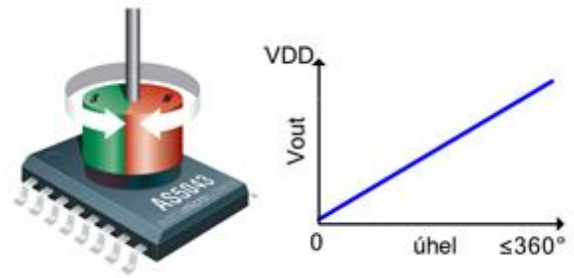
6.1. Elektromagnetické brzdy

Dalším problémem, který se projevil při testování, byla absence brzd na krokových motorech. Po vypnutí napájení motorů došlo k silovému uvolnění pohonů s následkem nežádoucího pohybu vlivem gravitační síly a hrozilo nebezpečí poškození robotu. Z tohoto důvodu je 2. a 3. osa vybavena elektromagnetickou brzdou s dostatečným brzdícím momentem, která při výpadku napájení nebo ukončení pohybu zamezí nechtěnému natočení kloubu.

6.2. Odměřování

Poslední komplikací při testování se ukázalo ruční referování robotu, kdy před zapnutím robotu bylo potřeba napolohovat robot do referenční polohy, od které po zapnutí robot odečítal svou polohu. Tento problém je

vyřešen vybavením robotu magnetickým bezkontaktním odměřováním na každé ose (obr. 20), které po zapnutí robotu bude ihned informovat o aktuální poloze robotu.

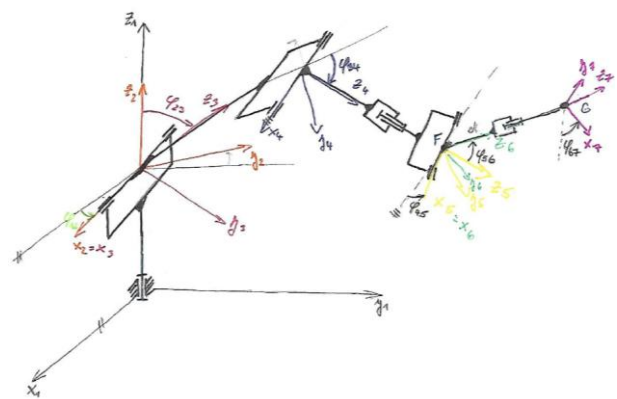


Obr. 20. AS5043 - bezkontaktní 10 bitový magnetický senzor / kodér s analogovým a digitálním výstupem absolutní polohy [11]

7. Návrh řízení

Nové řízení robotu BCN3D MOVEO bylo hlavní motivací pro inovaci původní verze robotu, která byla založena na stejném principu řízení jako většina hobby 3D tiskáren a také uživatelské prostředí bylo téměř stejné. Z tohoto důvodu bylo velmi komplikované robota jakkoliv řídit.

Nová verze robotu bude řízena pomocí standardního PLC používaného v průmyslové automatizaci, konkrétně PLC od firmy Beckhoff. Další změnou bude způsob řízení, kdy robot bude řízen inverzní kinematikou. To umožňuje řídit pohyb efektoru v kartézských souřadnicích jako v případě standardních průmyslových robotů. Kromě ručního řízení robotu bude také možnost řízení trajektorie efektoru NC programem. Schéma použité pro výpočet inverzní kinematiky, tedy na základě zadaných souřadnic a natočení efektoru bude dopočteno natočení jednotlivých pohonů, lze vidět na obr. 21.



Obr. 21. Kinematické schéma pro výpočet inverzní kinematiky

Závěr

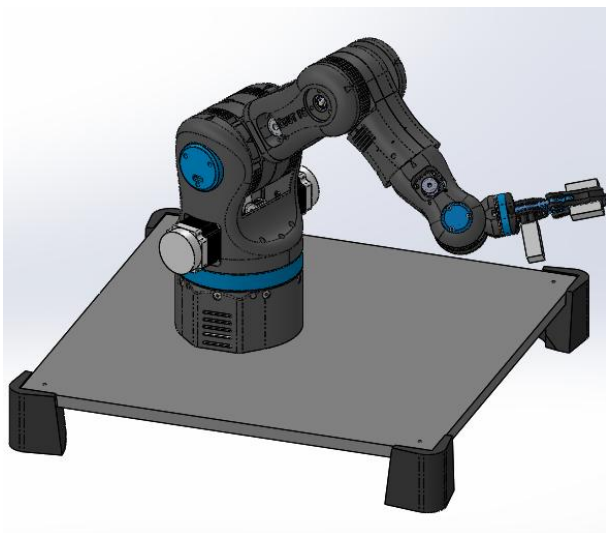
Výsledkem práce je inovovaný CAD model robotu BCN3D MOVEO (obr. 22), který je v současné době na základě výše popsaných úprav vyráběn. Kromě CAD modelu je také připraven návrh řízení robotu. Model

robotu je modifikován do podoby běžného 6-osého průmyslového robotu řízeného pomocí standardního průmyslového PLC, konkrétně PLC od firmy Beckhoff. Robot po dokončení bude sloužit jako výukový model pro studenty pro praktickou výuku.

V rámci této práce byla navržena kompletně nová 1. osa robotu. Dále byla navržena 6. osa, kterou původní robot nebyl vybaven. Následovala optimalizace pohonů jednotlivých os pro zvýšení úhlového zrychlení, jejímž výsledkem byla výměna pohonů všech os kromě 5. osy a návrh provedení s tím souvisejících drobných konstrukčních úprav. Součástí optimalizace bylo také doplnění pohonu 2. a 3. osy o elektromagnetickou brzdu a dále o návrh odměřování pro všechny osy. Navrženo bylo také nové řízení robotu shodné s řízením, které je standardní u průmyslových robotů.

V rámci práce byl zpracován přehled v praxi používaných průmyslových robotů s podobnými parametry jako je robot BCN3D MOVEO se zaměřením na konstrukci, pohony a řízení.

Celá práce vzniká v rámci mé diplomové práce na Ústavu výrobních strojů a zařízení.



Obr. 22. Finální verze robotu BCN3D MOVEO

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce Ing. Jiřímu Švédovi, Ph.D. a Ing. Janu Koubkovi, Ph.D. za věcné připomínky při řešení této práce. Práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS16/219/OHK2/3T/12 - Inovace, výzkum a experimentální vývoj v oblasti automatizace a robotizace výrobních strojů a technologií – Andrlík, V. (2016-2018).

Literatura

[1] ČSN ISO 8373. *Roboty a robotická zařízení - Slovník*. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2012.

- [2] *Unimate - The First Industrial Robot* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>
- [3] HAVLAN, Tomáš. *3D prototyping mechanismů*. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní. Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky. Obor mechaniky a mechatroniky.
- [4] *FANUC | The Factory Automation Company - Fanuc* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs>
- [5] *ABB Robotika* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs>
- [6] *Průmyslové roboty | KUKA* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-sluzby/roboticke-systemy/prumyslove-roboty>
- [7] *Collaborative Industrial Robotic robot Arms / Cobots from UR* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com>
- [8] *Stäubli robotics* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/robotics/>
- [9] *HIWIN Corporation* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.hiwin.com/articulated-robots.html>
- [10] *Cross Company | CrossCo: Universal Robots Model UR3 Joint Replacement Tutorial | CrossCo* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.crossco.com/blog/universal-robots-model-ur3-joint-replacement-tutorial>
- [11] *Spezial Electronic - elektronické součástky: 10 bitový magnetický senzor / enkodér s analogovým a digitálním výstupem | Spezial Electronic* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/news/10-bitovy-magneticky-rotacni-enkoder-s-analogovym-a-digitalnim-vystupem-absolutni-polohy.html>