



Metodika stavby účelových robotů

Bakalářská práce

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Václav Hořák

Vedoucí práce:

Ing. Michal Starý, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce:

Ing. Marie Stará, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky





Zadání bakalářské práce

Metodika stavby účelových robotů

Jméno a příjmení: **Václav Hořák**
Osobní číslo: S19000038
Studijní program: B0715A270008 Strojírenství
Zadávací katedra: Katedra sklářských strojů a robotiky
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

Trendem v soudobé konstrukci účelových robotů a manipulátorů je stavebnicová konstrukce založená na širokém užívání zejména rotačních a translačních pohybových jednotek integrujících v jednom modulu uložení, transformační blok i pohon. Tímto způsobem je zajištěna efektivní a rychlá konstrukce, montáž i ožívování manipulátoru v aplikačním nasazení.

Úkolem práce bude na základě podrobné rešerše aplikovat metodický postup strukturálního a mechanického řešení na stavbu manipulátoru pro zadaný pracovní prostor a zadané technické parametry manipulační úlohy a objektu manipulace.

Úkolem Vaší BP bude:

1. Provést rešerši zaměřenou na metodiku a způsoby stavby účelových modulárních manipulátorů.
2. Zpracovat studii konstrukčních variant základních typů kinematických řetězců modulárních manipulátorů s přihlédnutím k minimalizaci typů použitých modulů.
3. Pro vybraný typ cylindrické struktury manipulátoru aplikovat metodiku stavebnicové konstrukce a vyhodnotit varianty řešení.
4. Provést technickoekonomické zhodnocení.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

výkresová dokumentace
30 – 40 stran textu
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Konstrukce robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7. Učebnice vysokých škol. Technická univerzita v Liberci.
2. MOSTÝN, V. *Mechatronika*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 68 s. ISBN 80-7078-734-1.
3. NOVOTNÝ, F. *Přednosti a rizika modulární konstrukce výrobních strojů a manipulátorů*, Sborník přednášek X. Konference sklářské stroje 1999. Liberec. s. 91 – 100. ISBN 80-02-01311-5.
4. PALKO, A., J. SMRČEK, J. SKAŘUPA, P. TULEJA. *Robotika – Technické prostriedky pre automatizáciu výrobných procesov*. Prešov: Vydavateľstvo Michala Vaška, 2010. 384 s. ISBN 978-80-7165-807-8.
5. J. SKAŘUPA a V. MOSTÝN. *Metody a prostriedky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1.vyd. Košice: Edícia vedeckej a odbornej literatúry – strojnica fakulta TU v Košiciach, Viena Košice. 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.
6. TALÁCKO, J. a R. MATIČKA. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. Vydavatelství ČVUT. Praha 1995. 499 s. ISBN 0-471-32593-7.

Vedoucí práce:

Ing. Michal Starý, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce:

Ing. Marie Stará, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Datum zadání práce:

22. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

22. května 2023

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

doc. Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 22. listopadu 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

10. května 2022

Václav Hořák

Metodika stavby účelových robotů

Anotace

Práce je zaměřena na modulární stavbu průmyslových robotů a manipulátorů s využitím stavebnicové konstrukce. Teoretická část shrnuje základní poznatky průmyslové robotiky především v oblasti jejich klasifikace a dále popisuje základní kinematické struktury. Podstatnou část potom tvoří rešerše poukazující na současný vývoj modulární stavby. Nakonec je zde provedena studie konstrukčních variant zabývající se čtyřmi základními typy kinematických řetězců polohovacího ústrojí. Z těchto poznatků a na základě zadaných parametrů je vytvořen manipulátor s cylindrickou strukturou, jehož postup návrhu je popsán v praktické části práce. Poslední bod je tvořen technickoekonomickým zhodnocením vzniklého manipulátoru.

Klíčová slova

průmyslové roboty, manipulátory, modulární stavba, stavebnicová konstrukce, cylindrická struktura, elektrické pohony robotů, posuvná jednotka, rotační jednotka

Construction methodology of special purpose robots

Annotation

The thesis is focused on a modular construction of industrial robots and manipulators using a modular design. The theoretical part summarizes the basic knowledge of industrial robotics, especially in the field of their classification and further describes the basic kinematic structures. A substantial part then consists of research pointing to the current development of modular construction. Finally, there is a study of design variants dealing with four basic types of kinematic chains of the positioning device. Based on this knowledge and on the specified parameters, is created a manipulator with a cylindrical structure, whose design process is described in the practical part of the work. The last point is formed by the technical and economic evaluation of the resulting manipulator.

Key words

industrial robots, manipulators, modular design, modular construction, cylindrical structure, electric robot drives, sliding unit, rotary unit

Poděkování

Je mou milou povinností poděkovat vedoucímu práce Ing. Michalovi Starému, Ph.D. za skvělé odborné vedení, za cenné rady a připomínky, a především za jeho věnovaný čas, kterým mi umožnil prohloubit své dosavadní znalosti v oblasti robotiky.

Chtěl bych také poděkovat své rodině, a především mým úžasným rodičům, kteří mě podporují po celou dobu mého studia. Velmi si jejich přístupu vážím. V neposlední řadě děkuji svým kamarádům, spolužákům, a zvláště své drahé přítelkyni, která mi je velkou oporou.

Obsah

Úvod.....	11
1 Klasifikace a základy mechaniky manipulačních zařízení	13
1.1 Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů	13
1.1.1 Jednouúčelové manipulátory	14
1.1.2 Univerzální manipulátory	15
1.2 Rozdělení podle konstrukčního provedení	16
1.2.1 Stavebnicová konstrukce	16
1.2.2 Nestavebnicová konstrukce	17
1.3 Kinematické struktury PR a M	17
1.4 Tvary pracovních prostorů základních typů PR a M	21
2 Rešerše metodiky stavby účelových modulárních manipulátorů	22
2.1 FESTO	22
2.2 BOSCH Rexroth	24
2.3 ROLLON	26
2.4 BERGER POSITEC	28
2.5 SMC	30
2.6 Experimentální vývoj modulárních robotů	31
2.6.1 Roboty SMORES-EP	31
2.6.2 Roboty M-Blocks.....	32
2.7 Snadno dostupné modulární roboty.....	32
2.7.1 Roboty společnosti Makeblock.....	33
2.7.2 Lego roboty.....	33
2.8 Energetický systém	34
3 Konstrukční řešení	36
3.1 Studie konstrukčních variant	36

3.1.1	Kartézský robot.....	36
3.1.2	Cylindrický robot.....	37
3.1.3	Sférický robot.....	37
3.1.4	Angulární robot.....	38
3.1.5	SCARA robot	39
3.1.6	Delta robot.....	39
3.2	Aplikace metodiky stavebnicové konstrukce.....	40
3.2.1	Zadání	40
3.2.2	Konstrukční varianty	41
3.2.3	Dimenzování modulů.....	41
3.2.4	Propojovací příruby	44
3.2.5	Podstavec manipulátoru.....	46
3.2.6	Energetické řetězy	47
4	Technickoekonomické zhodnocení	50
4.1	Technické parametry	50
4.2	Ekonomické zhodnocení	52
4.2.1	Díly od společnosti FESTO	52
4.2.2	Energetické řetězy	53
4.2.3	Vyráběné a spojovací součásti.....	53
4.2.4	Celkové náklady manipulátoru.....	54
	Závěr	55
	Seznam použité literatury	56
	Seznam obrázků.....	58
	Seznam tabulek	59
	Seznam příloh	59

Seznam vybraných zkratk a symbolů

a	[m·s ⁻²]	Zrychlení
d_j	[1]	Počet dvojic příslušné třídy
i	[1]	Počet stupňů volnosti
j	[1]	Označení třídy kinematické dvojice
m	[kg]	Hmotnost
n	[s ⁻¹]	Otáčky
n_{ε}	[1]	Počet členů mechanismu včetně rámu
v	[m·s ⁻¹]	Převodní rychlost
x	[mm]	Posunutí v ose x
y	[mm]	Posunutí v ose y
α	[°]	Úhel natočení
<i>CAD</i>		Computer Aided Design
<i>M</i>		Manipulátor
<i>PR</i>		Průmyslový robot
<i>R</i>		Rotace
<i>T</i>		Translace

Úvod

Průmyslové roboty (PR) a manipulátory (M) jsou poměrně složitá mechanická zařízení se značně rozmanitou strukturou v závislosti na charakteru manipulačních úkonů. Své uplatnění nacházejí v průmyslovém odvětví od roku 1961, kdy byl nasazen první průmyslový robot od firmy Unimation ve společnosti General Motors. Jejich primární funkcí bylo ulehčení práce lidem, zejména při manipulaci s těžkými nebo objemnými předměty. S postupně zlepšujícími se technologiemi napříč všemi obory ale našly své uplatnění i v jednodušších aplikacích, zejména díky své rychlosti a efektivnosti. Dnes se proto můžeme v průmyslu běžně setkat s roboty pro montáž, technologické operace, dále pro mezioperační manipulace a v dalších speciálních uplatněních. V současné době jsou stále více využívány kolaborativní roboty spolupracující s člověkem. Tento trend není však jediný. Kromě toho se vyvíjejí roboty, které spolu dokáží navzájem komunikovat a předávat si nově získané informace. Dále roste poptávka po robotech schopných diagnostikovat na sebe samém závadu a hned poté ji opravit. V dohledné době by si v průmyslu měly najít uplatnění i roboty v logistice, kde nám tyto stroje zajistí vyšší produktivitu a zároveň sníží množství chyb. V neposlední řadě se vývoj zaměřuje i na odvětví lékařství, zemědělství, vojenství a v dalších oborech (1).

Pro splnění stále náročnějších požadavků zákazníka je nutné vylepšovat dynamické parametry pohonů PR, kvůli docílení optimálního poměru nosnosti a tuhosti k jeho celkové hmotnosti. Tento poměr je zcela zásadní pro stavbu robotů kooperujících s člověkem. Stavebnicová konstrukce, kterou si podrobně v této práci rozebereme, nebyla ještě donedávna tolik využívaná právě kvůli těmto požadavkům. Se stále zdokonalujícími technologiemi nyní však už lze sestavit PR dostatečně tuhé a poměrně lehké z jednotlivých modulů. Stavebnicová konstrukce je založena na širokém užívání zejména rotačních a translačních pohybových jednotek integrujících v jednom modulu uložení, transformační blok i pohon. Tímto způsobem je zajištěna efektivní a rychlá konstrukce, montáž i ožívání manipulátoru v aplikačním nasazení. Výhodou této konstrukce je, že si zákazník může navolit moduly, které mu přesně vyhovují k jeho účelům, a nemusí tak pořizovat zbytečně nákladný robot s předimenzovanými prvky (2).

Stavebnicová konstrukce je navíc podporována stále větším množstvím výrobců a dodavatelů, kteří nabízejí široké spektrum modulů, senzorů a dalších doprovodných dílů nezbytných k vzájemnému propojování. Součástí jejich nabídky navíc tvoří nejen samotné moduly a další součásti v katalozích, ale většina výrobců využívá systém vlastních online výpočetních softwarů, popřípadě i návrhových konfiguratorů, které usnadňují volbu správné součásti.

Předložená práce je v teoretické části zaměřena nejprve na obecnou část PR a M, dále se zabývá způsoby stavby účelových modulárních manipulátorů, a v poslední této části jsou představeny konstrukční varianty k jednotlivým typům základních kinematických řetězců. Praktická část podrobněji rozebírá cylindrickou strukturu manipulátoru, na kterou aplikuje metodiku stavebnicové konstrukce. V dalším kroku jsou vyhodnoceny varianty řešení na základě strukturálních schémat a konstrukčních možností. Dále je popsán postup při výběru jednotlivých modulů a jejich sestavení za pomoci doprovodných dílů. Manipulátor je následně ještě doplněn o systém energetických řetězců, k bezpečnému zajištění přívodu energie. Výstupem je technická dokumentace přiložená v této práci. V závěru praktické části jsou uvedeny technické parametry sestaveného manipulátoru spolu s ekonomickým zhodnocením.

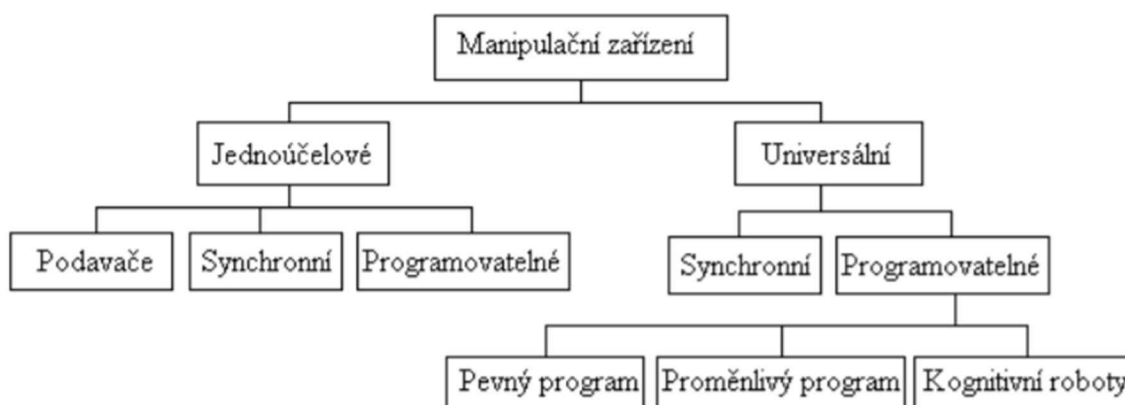
1 Klasifikace a základy mechaniky manipulačních zařízení

Tato část práce se nejprve věnuje obecnému přehledu ohledně typů robotů, kinematice manipulačních zařízení a pohonům PR. Dále jsou rozebrány pohybové jednotky a moduly ve stavbě PR.

1.1 Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty a manipulátory (PR a M) patří společně do skupiny manipulačních mechanismů. Rozdíl mezi robotem a manipulátorem spočívá v tom, jak moc se manipulační stroj blíží svou činností k člověku. „Podle definice je robot automaticky nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní cílově orientované interakce s přirozeným prostředím podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty a popřípadě pohybování se v tomto prostředí“ (3 str. 10). Zjednodušeně lze uvažovat zařízení jako robota v případě, kdy je jeho ústrojí složitější než manipulátor a je řízený počítačovou technikou (4), (5).

Tato zařízení lze dále dělit podle univerzálnosti, funkce a podle způsobu programovatelnosti tak, jak je naznačeno na *obr. 1*.



Obr. 1 Klasifikace manipulačních mechanismů (4)

1.1.1 Jednoúčelové manipulátory

Do této skupiny spadají nejjednodušší podávací zařízení, dále synchronní manipulátory přímo ovládané člověkem, a nakonec programovatelné manipulátory (obr. 2). Jednoúčelovostí chápeme omezený počet stupňů volnosti, omezený rozsah pohybů a prostorové uspořádání vyhovující dané aplikaci. V dnešní době se hojně využívají univerzální programovatelné roboty i v takových aplikacích, kde není plně využito jejich potenciál a kde by takové nákladné zařízení mohl plnohodnotně zastoupit jednodušší jednoúčelový manipulátor (3).



Obr. 2 Programovatelný jednoúčelový manipulátor (9)

Podavače

Jsou ze všech zařízení ty nejjednodušší. Většinou jsou poháněny strojem, který obsluhují, takže s ním tvoří jeden celek. Jsou tedy zcela závislé na chodu stroje, od něhož pomocí mechanismů transformují svůj pohyb v pravidelných cyklech (3).

Synchronní jednoúčelové manipulátory

Také nazývané jako teleoperátory, slouží jako zesilovače sil, momentů a pohybových možností člověka, který toto zařízení ovládá. Jsou přesně specifikovány na jeden určitý druh práce (3), (4).

Programovatelné jednoúčelové manipulátory

Představují nejsložitější variantu jednoúčelových robotických zařízení. Činnost takové jednotky řídí programové ústrojí, avšak stále se nejedná o univerzální manipulátor. Rozdílem je že jsou tyto roboty stále součástí stroje, který obsluhují, na rozdíl od univerzálních manipulátorů, které mají vlastní pohon a pracují jako samostatná jednotka (3).

1.1.2 Univerzální manipulátory

Univerzální manipulátory se značí možností většího rozsahu pohybů. Jejich univerzálnost spočívá především v nasazení do různorodých aplikací. Hlavními volícími parametry jsou tak jejich kinematické, dynamické, hmotnostní parametry a také přesnost polohování. Pro požadovanou práci s předměty je robot vybaven jednoúčelovou akční hlaví v závislosti na druhu operace. Tyto jednotky jsou zcela nezávislé na okolních strojích, které můžou například obsluhovat (3).



Obr. 3 Programovatelný univerzální manipulátor (10)

Synchronní univerzální manipulátory

Jsou zařízení, které přenášejí na dálku příkazy člověka, který celý proces řídí. Společně proto tvoří regulační smyčku. Hlavní funkcí manipulátoru je zesílení silových a pohybových veličin pracovníka. Rozdíl oproti jednoúčelovým synchronním manipulátorům spočívá v nezávislosti na obsluhovaném stroji (3).

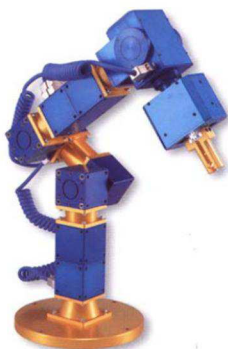
Programovatelné univerzální manipulátory

V současné době se vyskytují nejčastěji. Společným charakterem pro tyto jednotky je řízení programovým ústrojím, které je opět zcela nezávislé na okolních strojích. Podle typu programu se ještě rozdělují na manipulátory s pevným programem, jenž se v průběhu procesu nemění. Takové zařízení označujeme jako jednoduché průmyslové roboty. Dále na manipulátory s proměnlivými programy, které se mohou v závislosti na okolních podmínkách měnit i v průběhu procesu. Těmto manipulátorům říkáme průmyslové roboty. A poslední speciální skupinu tvoří kognitivní roboty, vybavené špičkovou technologií umožňující vnímání a racionálního myšlení (3), (4).

1.2 Rozdělení podle konstrukčního provedení

1.2.1 Stavebnicová konstrukce

Stavebnicové nebo též modulární provedení se skládá z jednotlivých funkčních jednotek, které jsou vhodně pospojovány tak, aby tvořili jeden tuhý celek (*obr. 4*). Mohou tak vznikat funkčně náročné stroje. Výhodou takové konstrukce je, že si zákazník může navolit každý modul zvlášť tak, aby mu výstupní parametry odpovídaly jeho požadavkům. Další užitečnou vlastností je, že při poruše některého z modulů lze relativně snadno tento vadný segment vyměnit (3), (5).



Obr. 4 Stavebnicová konstrukce angulární struktury robota (5)

1.2.2 Nestavebnicová konstrukce

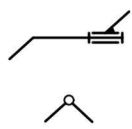
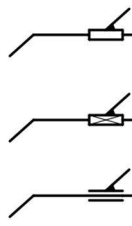
Tento typ je oproti tomu předcházejícímu méně praktický. Manipulátor je vyroben a smontován tak, že působí jako jeden kompaktní celek a často není na první pohled vidět v jaké části ústrojí se nachází konkrétní modul. To však poskytuje celkově lepší tuhost, nosnost a tím pádem i přesnější polohovatelnost.



Obr. 5 Nestavebnicová konstrukce kolaborativního robota (11)

1.3 Kinematické struktury PR a M

PR a M jsou mechanismy tvořené soustavou pohyblivě spojených částí a pevným rámem. Jednotlivé pohyblivé členy nazýváme kinematickými dvojicemi. Spojením více kinematických dvojic vzniká kinematický řetězec, který jednoznačně definuje kinematiku PR nebo M. Prostorových typů kinematických dvojic je dohromady 9, přičemž nejvíce používanými jsou posuvná a rotační dvojice (obr. 6) (2), (3).

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

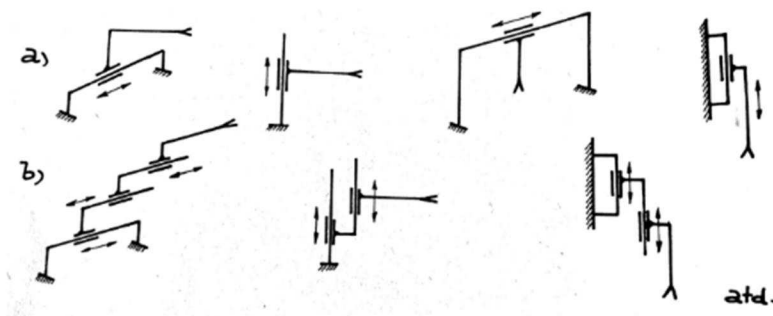
Obr. 6 Základní typy kinematických dvojic (5)

Kombinací pořadí a počtu posuvných a rotačních kinematických dvojic vznikají odlišné struktury PR a M. Tato kombinace není náhodná, ale váže se na řadu podmínek vyplývajících z požadované funkce a provedení robotu. Rozhodujícími faktory jsou většinou:

- a) dráha těžiště manipulovaného objektu
- b) přesnost polohování
- c) natočení objektu
- d) pohony realizující pohyb v jednotlivých kinematických dvojicích
- e) konstrukční uspořádání
- f) vazba PR a M na jiné pomocné mechanismy

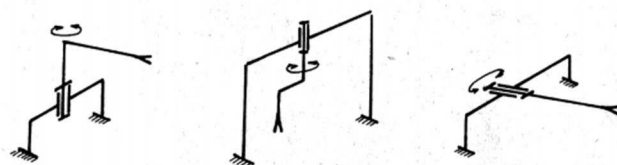
Dále bude rozebrán bod a), který bývá nadřazován zbývajícím bodům b) – f).

Těžiště manipulovaného objektu se může pohybovat po přímce. Pro splnění takového požadavku stačí použít jednu nebo více posuvných dvojic, jejichž členy leží v jedné společné rovině (obr. 7).



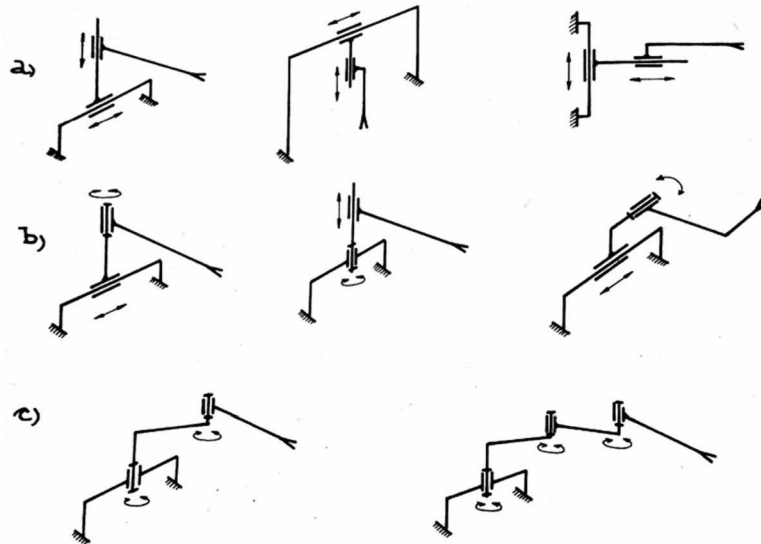
Obr. 7 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po přímce (3)

V případě že se má těžiště pohybovat po kružnici, bude kinematický řetězec tvořen pouze jednou rotační dvojicí (obr. 8).



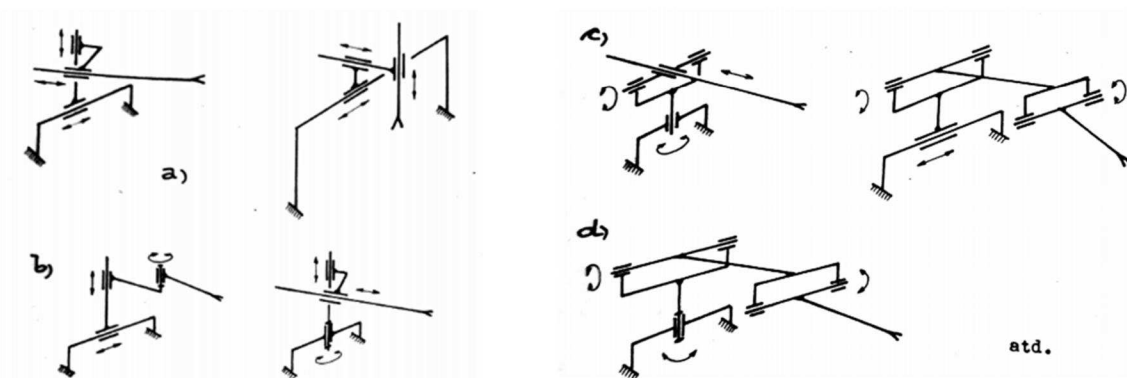
Obr. 8 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po kružnici (3)

Další variantou je pohyb těžiště objektu po křivce ležící v rovině. Takový kinematický řetězec může obsahovat buď dvě posuvné dvojice, jednu posuvnou a jednu rotační dvojici, anebo dvě a více rotačních kinematických dvojic, které mají rovnoběžnou osu rotace (obr. 9).



Obr. 9 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po křivce v rovině (3)

Poslední možností je posuv těžiště manipulovaného objektu po obecné křivce, kdy je kinematický řetězec tvořen kombinací tří dvojic. První kombinace vznikne spojením tří posuvných dvojic (TTT), druhá kombinace obsahuje dvě posuvné a jednu rotační dvojici (TTR), další kombinací je jeden posuv a dvě rotační dvojice (TRR) a poslední kombinací jsou tři rotační kinematické dvojice (RRR). Pořadí dvojic se u každé varianty může mezi sebou ještě dále kombinovat (obr. 10). V kapitole 3.1 je provedena studie konstrukčních variant těchto základních typů kinematických řetězců.



Obr. 10 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po obecné křivce (3)

Pro určení pohyblivosti celkového kinematického řetězce slouží počet stupňů volnosti. Ten vyjadřuje počet nezávislých posuvů a rotací, které členy vykonávají a je dán vzorcem

$$i = 6(n_c - 1) - \sum_{j=1}^5 j \cdot d_j \quad (1.1)$$

kde i = počet stupňů volnosti [1]

n_c = počet členů mechanismu včetně rámu [1]

j = označení třídy kinematické dvojice [1]

d_j = počet dvojic příslušné třídy [1].

Vztah (1.1) platí v běžných případech, kdy jsou všechny vazebné rovnice nezávislé.

Pro popsání prostoru teoreticky postačuje 6° volnosti, avšak v praxi se můžeme setkat i s vyšším počtem stupňů volnosti například při manipulaci v obtížně přístupných prostorech (3).

1.4 Tvary pracovních prostorů základních typů PR a M

Za základní typy PR a M se pokládají kinematické řetězce umožňující pohyb těžiště manipulovaného objektu po obecné křivce (*viz kap. 1.3*).

První typ složený pouze z posuvných dvojic (TTT), bude mít pracovní prostor tvaru kvádru. U dalšího typu obsahujícího jednu rotační a dvě posuvné dvojice (RTT) bude pracovní prostor válec nebo jeho segment. PR a M se dvěma rotačními a jednou posuvnou dvojicí (RRT) umožňují manipulaci v prostoru kulového segmentu. Pro typ složený pouze ze třech rotačních dvojic (RRR) je pracovním prostorem část anuloidu navazujícího na kulové segmenty. Jednotlivé typy jsou ukázány na *obr. 11 (2), (3)*.

Typ	Konstrukce	Kinematika	Pracovní prostor
TTT			
RTT			
RRT			
RRR			

Obr. 11 Tvary pracovních prostorů základních typů PR a M (12)

2 Rešerše metodiky stavby účelových modulárních manipulátorů

V současné době se vyvíjí nespočetné množství PR a M založených na modulární stavbě v různých firmách po celém světě. Přesto je konstrukce jednotlivých modulů u většiny robotů totožná, nebo velmi podobná. Hlavní rozdíl tedy spočívá ve výsledné kvalitě jednotlivých modulů, kterou charakterizuje přesnost polohování, tuhost, užitečné zatížení, zrychlení a další parametry. Důležitou roli na tyto vlastnosti manipulátoru má i systém propojování jednotlivých modulů mezi sebou.

Níže je uvedeno pár světových lídrů v modulární robotizaci nynější doby, a od každého je vybráno a stručně rozebráno pár typů modulů s jednotlivými částmi. Další část se zabývá experimentálním vývojem modulární koncepce, a zmíněny jsou i velmi jednoduché systémy pro stavbu robota. V poslední části je zmíněn systém přívodu energie do pohonných a dalších akčních jednotek manipulátoru.

2.1 FESTO

Nadnárodní německá společnost FESTO (<https://www.festo.com/cz/cs/>) se zabývá automatizací výroby od roku 1925. Jejich hlavní sortiment tvoří pneumatické a elektrické pohony, ventily, chapadla, manipulační systémy a další moduly, s jejichž pomocí lze sestavit účelový manipulátor.

Moduly

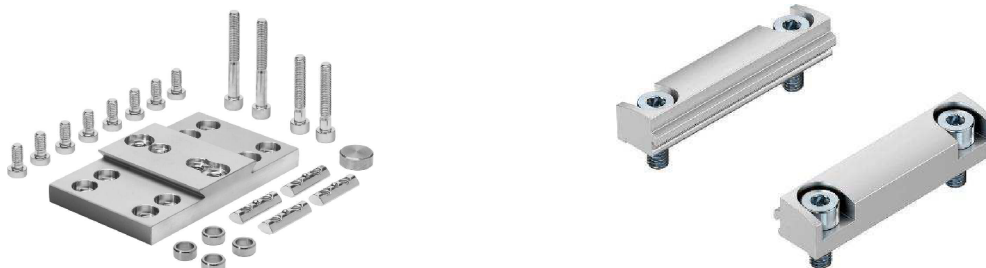
Společnost poskytuje moduly umožňující posuv nebo rotaci. Tyto systémy tvoří základ a odvíjí se od nich celkové vlastnosti manipulátoru. Každý modul je tvořen motorem a transformační jednotkou, která přenáší pohyb od motoru ke koncovému členu. Podle specifických požadavků mohou být moduly doplněny převodovkou, adaptační sadou nebo senzorikou.



Obr. 12 Posuvný modul FESTO (13)

Spojovací členy

Pro stavbu vlastního manipulátoru lze využít nabídku jednotlivých upevňovacích sad, díky kterým lze upevnit moduly k rámu. FESTO poskytuje vše od profilového rámu, přes adaptační desky a seřizovací jednotky až po příruby.

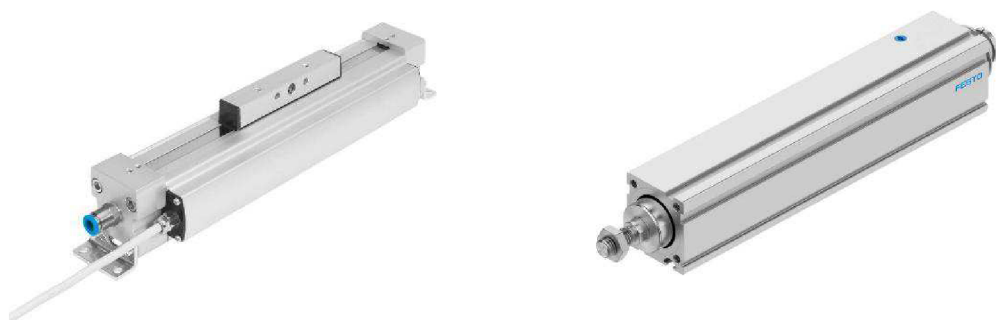


Obr. 13 Spojovací členy FESTO (13)

Pohony

Kromě pneumatických pohonů, které jsou využívány pro mechanické pohyby jako je zvedání, úchop a upínání, firma nabízí i servopneumatické pohony a elektrické pohony. Servopneumatické hnací jednotky se používají hlavně v takzvané „měkké“ polohovací technice, díky stlačitelnému vzduchu. Typické oblasti použití elektrických pohonů lze nalézt v celé automatizační technice, zejména v případech, kdy je vyžadováno přesné polohování.

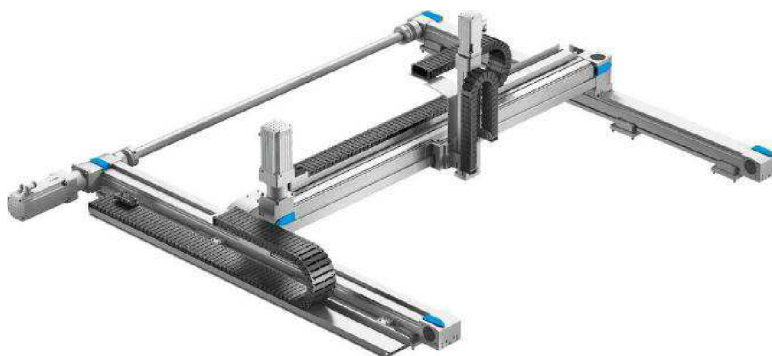
K pohonům lze připojit servomotory nebo krokové motory rovněž dodávané touto společností.



Obr. 14 Pohony FESTO (13)

Kartézské roboty

FESTO nabízí předem navržené systémy manipulátorů, sestavené z modulů, které si zákazník navolí dle svých požadavků na robot. Kinematický řetězec takového systému většinou tvoří kombinace translačních pohybových jednotek. Jedná se tedy o kartézskou strukturu. Nabídku tvoří jednoosé roboty, ploché portálové roboty nebo i prostorové portálové roboty.



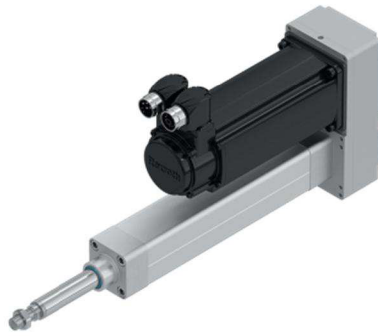
Obr. 15 Prostorový portál FESTO (13)

2.2 BOSCH Rexroth

Oproti předchozí společnosti se Rexroth (<https://www.boschrexroth.com/cs/cz/>) zaměřuje pouze na oblast lineární techniky. Jak už bylo v úvodu této kapitoly uvedeno, konstrukce modulů a pohonů je velmi podobná. Kromě modulárních systémů nabízí tato společnost ještě produkty ze skupiny průmyslové a mobilní hydrauliky, montážní techniku, převodovou techniku a další.

Moduly

Kromě základních lineárních modulů jsou nabízeny moduly přesné, kompaktní, podávací, dále lineární saně, omega moduly a další. Moduly jsou zpravidla vybaveny vlastní pohonnou jednotkou, případně i ovládacím prvkem. Společnost samostatně nenabízí spojovací prvky pro připevnění modulu k rámu.



Obr. 16 Posuvný modul BOSCH Rexroth (14)

Pohony

Společnost nabízí různé druhy lineárních posuvných pohonů v závislosti na dané aplikaci. Asynchronní a synchronní motory tvoří hlavní nabídku pro pohánění těchto prvků. Převod pohybu je zajištěn systémem elektromechanických válců, využívajících mechanismus kuličkového šroubu pro převod rotačního pohybu z motoru na posuvný pohyb pístnice.



Obr. 17 Lineární pohony BOSCH Rexroth (14)

Víceosé systémy

Z připraveného standardu tzv. subsystémů lze podobně jako u předchozího výrobce navolit své technické požadavky, na základě kterých se automaticky vygeneruje optimální typ kartézského manipulátoru.



Obr. 18 Lineární portál BOSCH Rexroth (14)

Vedení

Společnost klade velký důraz na přesné vedení, které zajišťuje především tuhost konstrukce a odolnost vůči okolním vlivům a prostředí. Rexroth navíc určité typy vedení osazuje prvky pro odměřování vzdálenosti. Zastupiteli této kategorie jsou: kuličková kolejnicová vedení, válečková vedení, kuličková vedení, lineární pouzdra a hřídele nebo i vačková válečková vedení. Do této kategorie spadají i brzdové a upínací jednotky.



Obr. 19 Vedení BOSCH Rexroth (14)

2.3 ROLLON

Zabývá se opět pouze lineární technikou v oblasti modulárních manipulátorů (<https://www.rollon.com/CZ/cs/>). Společnost si klade za cíl stát se předním světovým poskytovatelem lineárních systémů v oblasti průmyslové automatizace. V nabídce tohoto výrobce nejsou zahrnuty motory. Zákazník si tedy navolí správnou konfiguraci pohonů, které sestaví a doplní motory od jiného výrobce.

Pohony a moduly (Actuator Line)

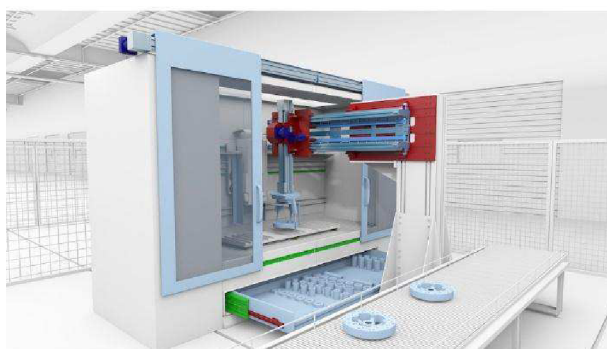
Do této kategorie spadá sekce nazvaná Actuator Line, která obsahuje lineární pohony. Ty mohou být poháněny řemenem, ozubeným kolem nebo šroubovým převodem. Zároveň jsou pohony připraveny pro integraci do jednoho prvku s motorem, se kterým potom tvoří posuvný modul.



Obr. 20 Pojezdové moduly ROLLON (15)

Systemy aktuátorů (Actuator System Line)

Tato sekce nabízí navržené subsystémy, poskládané z prvků tohoto výrobce. V porovnání s předchozími společnostmi ale nejde o systémy, které splňují požadavky účelového manipulátoru. Jde pouze o komplexní systémy pohonných prvků, ze kterých by eventuelně mohl robot vzniknout, přidáním dalších prvků.



Obr. 21 Navržený systém aktuátorů ROLLON (15)

Vedení

Lineární vedení s kuličkovými a válečkovými ložisky, s kalenými dráhami a s vysokou přesností. Jsou nabízena i vedení schopné pracovat v znečištěném prostředí. Zajímavostí je, že společnost nabízí i variantu se zakřiveným vedením.



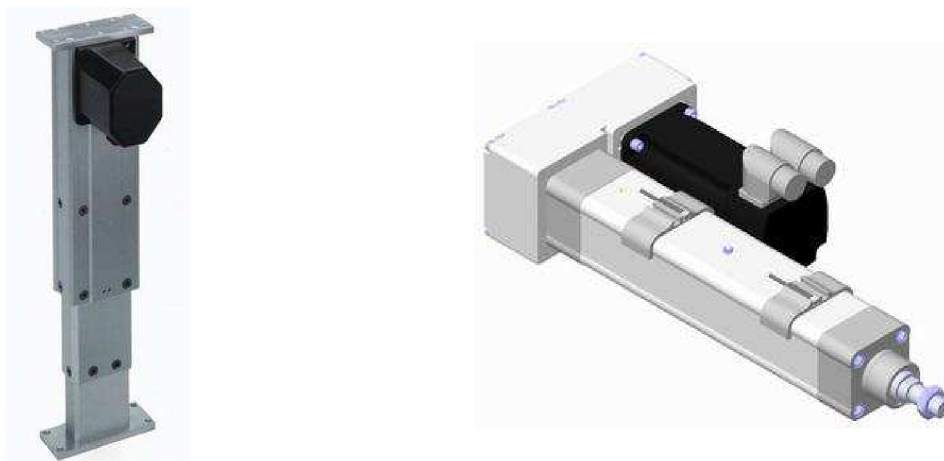
Obr. 22 Vedení ROLLON (15)

2.4 BERGER POSITEC

Česká firma (<https://www.regulacni-pohony.cz/>), jejíž tým působí na českém trhu již od roku 1995. Oborem její činnosti jsou návrhy a dodávky elektrických pohonů, výkonové a řídicí elektroniky, robotických systémů, a dalších komponent potřebných pro stavbu strojů a výrobních linek. Výrobce nabízí i řešení pro rotační pohyb.

Moduly

Lineární a rotační polohovací moduly a lineární stoly se využívají pro automatizaci výrobních strojů a linek. Vyznačují se velkou přesností polohování a značnou dynamikou pojezdu. Mohou být poháněny krokovým motorem nebo AC-servomotorem. Moduly mají kuličkové nebo kladičkové vedení a vozíky jsou polohovány ozubeným řemenem nebo kuličkovým šroubem.



Obr. 23 Moduly BERGER Positec (16)

Pohony

Nabídku tvoří bezkartáčové synchronní servomotory s permanentními magnety na rotoru a třífázovým vinutím na statoru. Tyto jednotky umožňují vysoké přetížení, a proto se hodí k dynamicky náročným úlohám. Dále jsou uvedeny krokové motory dvoufázové, třífázové nebo integrované motory s digitální řídicí jednotkou.



Obr. 24 Lineární pohony BERGER Positec (16)

Víceosé systémy

Sortiment zahrnuje i různá provedení lineárních manipulátorů, zakladačů a horizontálních nebo vertikálních (stěnových) portálů, u kterých je pevně stanovena jejich konstrukce. Jsou to sestavy dvou nebo tří osových lineárních polohovacích systémů, které mají volitelné rozměry. Vyznačují se vysokou přesností polohování a značnou dynamikou pojezdu.



Obr. 25 Lineární zakladač BERGER Positec (16)

2.5 SMC

Společnost SMC (<https://www.smc.eu/cs-cz>) je celosvětově největším dodavatelem pneumatických prvků pro průmyslovou automatizaci. Kromě pneumatických pohonů nabízí ale i elektrické pohony. Pro správný návrh pohonů, lze využít online návrhový software, který na základě zadaných parametrů a podmínek montáže vyhodnotí vhodné varianty řešení. Na rozdíl od předchozích výrobců SMC příliš nevěnuje pozornost stavbě manipulátorů, ale spíše se zaměřuje na své produkty z hlediska jednoúčelových strojů.

Moduly

Široké portfolio produktů tvoří lineární pohony a kyvné pohony v různých konfiguracích. Výrobce nabízí celé moduly s motorem, nebo samotné pohony.



Obr. 26 Moduly SMC (17)

Pohony

Lineární pohony existují v různých nastaveních jako například rozebíratelné, nerozebíratelné nebo s brzdou. Dále jsou v nabídce pohony s vedením pro vyšší zátěž, dvoupístové a další. Své zastoupení mají také kyvné pohony v různém provedení nebo bezpístnicové pohony. Zástupci elektrických pohonů jsou: s jezdcem, otočné stoly, s pístnicí a kompaktní suporty.



Obr. 27 Pohony SMC (17)

Ventily a systémy pro úpravu stlačeného vzduchu

Společnost nabízí různé provedení ventilů pro usměrnění stlačeného média. Pro úpravu stlačeného média jsou k dispozici speciální jednotky, filtry, regulátory tlaku, vysoušeče vzduchu a další příslušenství.



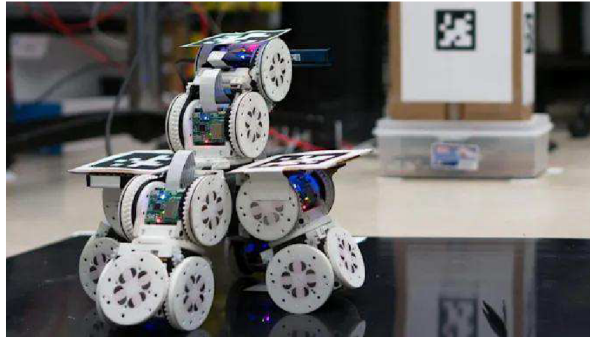
Obr. 28 Ventily a další systémy SMC (17)

2.6 Experimentální vývoj modulárních robotů

Tato kapitola poukazuje na jeden z možných vývojů modulární robotiky. Cílem tohoto výzkumu je sestavení miniaturních univerzálních robotů, které se spolu dokážou propojit v požadovaný tvar, a poté navzájem kooperovat jako jeden robotický celek. V propojeném stavu zastává každý miniaturní robot roli modulu, a jedná se tedy o modulární koncepci navíc s jednoduchým stavebnicovým uspořádáním. V budoucnu by mohly tyto roboty nalézt široké pásmo využití nejen v průmyslu.

2.6.1 Roboty SMORES-EP

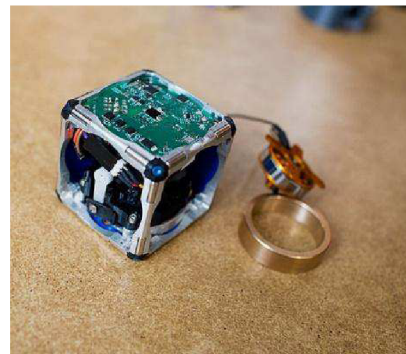
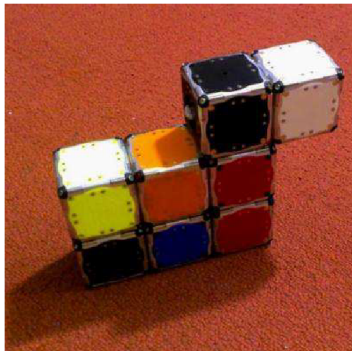
Výzkumníci z Pensylvánské univerzity pracují na vývoji modulárních robotů, kteří se dokáží sami rozpojit, a znovu pospojovat v požadovaný tvar. Každý modul dokáže buď pracovat sám, nebo kooperuje s ostatními moduly, s nimiž tvoří jeden celek. Roboty SMORES-EP jsou vybaveny čtyřmi konektory a navzájem se mohou propojit na 17 různých způsobů. Každý malý robot je vybaven kolečkem, díky nimž se může pohybovat. Zároveň kolečka slouží pro spojování a rozpojování, nebo k specifikovaným požadavkům komplexní modulární struktury. Samotná transformace z jedné struktury na jinou je realizována pomocí algoritmu, který též vyvinuly na Pensylvánské univerzitě. Některé transformace dokonce vyžadují, aby se jeden robot stal na chvíli pomocníkem při propojování jiného robota (6).



Obr. 29 Roboty SMORES-EP (6)

2.6.2 Roboty M-Blocks

Inženýři z MIT vymysleli malé roboty zvané M-Blocks. Tyto modulární roboty vypadají jako kostky. I přestože nejsou na vnějšku vybaveny pohybovým ústrojím, tak se dokáží posouvat překlápěním, rotací, a dokonce dokáží i létat vzduchem. Jejich pohyb zajišťuje malý setrvačnický motor umístěný uvnitř kostky (roboty). Ten dokáže rotovat rychlostí až 20 tisíc otáček za minutu. Na každé hraně a na každé straně kostek jsou umístěny připojovací magnety, s jejichž pomocí se jednotlivé kostky dokáží poskládat do prostorového celku. Další vývoj těchto robotů směřuje k co největší miniaturizaci do velikostí nanobotů, které by si poradili s prakticky každým tvarem (7).



Obr. 30 Propojené roboty a struktura robota M-Blocks (7)

2.7 Snadno dostupné modulární roboty

Modulární roboty s jednoduchou konstrukcí jsou v dnešní době velmi snadno dostupné. Navíc se stále zlepšujícím se grafickým rozhraním klesají požadavky pro dostatečnou kvalifikaci osob v oblasti programování robotů. Níže jsou uvedeny dva zástupci firem nabízejících tyto roboty.

2.7.1 Roboty společnosti Makeblock

Makeblock je název firmy (<https://www.makeblock.com/>), která se zaměřuje na rozvoj a vzdělávání dětí i studentů v oblasti programování a robotiky. V současné době nabízí pět základních robotů. Všechny produkty jsou navrženy jako stavebnice, kterou si uživatel složí, a naprogramuje sám dle svých požadavků. Výkonná hlavní deska se dá naprogramovat v grafickém prostředí navrženém touto společností tak, aby bylo snadné a intuitivní.



Obr. 31 Robot sestavený z prvků Makeblock (18)

2.7.2 Lego roboty

Lego MINDSTORMS (<https://www.lego.com/cs-cz/themes/mindstorms>) nabízí své modulární roboty pro mladé lidi. Ve svém sortimentu mají roboty, kteří zvládají základní úkony. Jako zdroj pohybu jim slouží malý ale dostatečně výkonný elektromotor, ovládaný z hlavní desky. Ta je naprogramována uživatelem. Běžně jsou tyto modulární roboty vybaveny ne zcela přesnými senzory pro detekci objektů, dále senzory základních barev a dotykovými senzory. Konstrukci robota lze klasifikovat jako modulární, navíc se jedná o stavebnicové uspořádání. Nevýhodou je však dosahovaná přesnost, tuhost i nosnost kvůli použitým stavebním prvkům.



Obr. 32 Lego robot (19)

2.8 Energetický systém

Pro přívod energie do robota se využívá sofistikovaný systém různých tubusů a řetězů vyvinutý na základě zkušeností, s důrazem na bezpečnost pracovního prostoru. Průmyslový robot je zpravidla rozdělen do několika částí (podle jednotlivých os), a každá tato část si vyžaduje své specifické řešení.

Níže jsou rozebrány příklady jednotlivých typů řešení přívodu energie, s ohledem na zvolenou osu průmyslového robota.

1. osa: řešení pro rotační pohyby

Firma IGUS (<https://www.igus.cz/>) vyvinula dvě možnosti vedení řetězu v rotačních aplikacích. První variantou je modifikovaný standardní řetěz položený na bok, který je navíc vložený v prstenci okolo rotační jednotky PR. Druhou variantou je speciální řetěz tzv. TwisterChain, který se dokáže ohýbat ve dvou osách (*obr. 33a*).

2.-3. osa: bezpečné boční vedení

Boční vedení zajišťuje relativně snadno a bezpečně přívod energie přes druhou a třetí osu robota, díky systému flexibilního tubusu tvořeného jednotlivými segmenty. Tyto segmenty jsou navzájem propojeny tak, aby umožňovaly vzájemné natočení. Zároveň je tento systém spojování segmentů velmi snadný a rychlý (*obr. 33b*).

3.-6. osa: bez nežádoucích průhybů

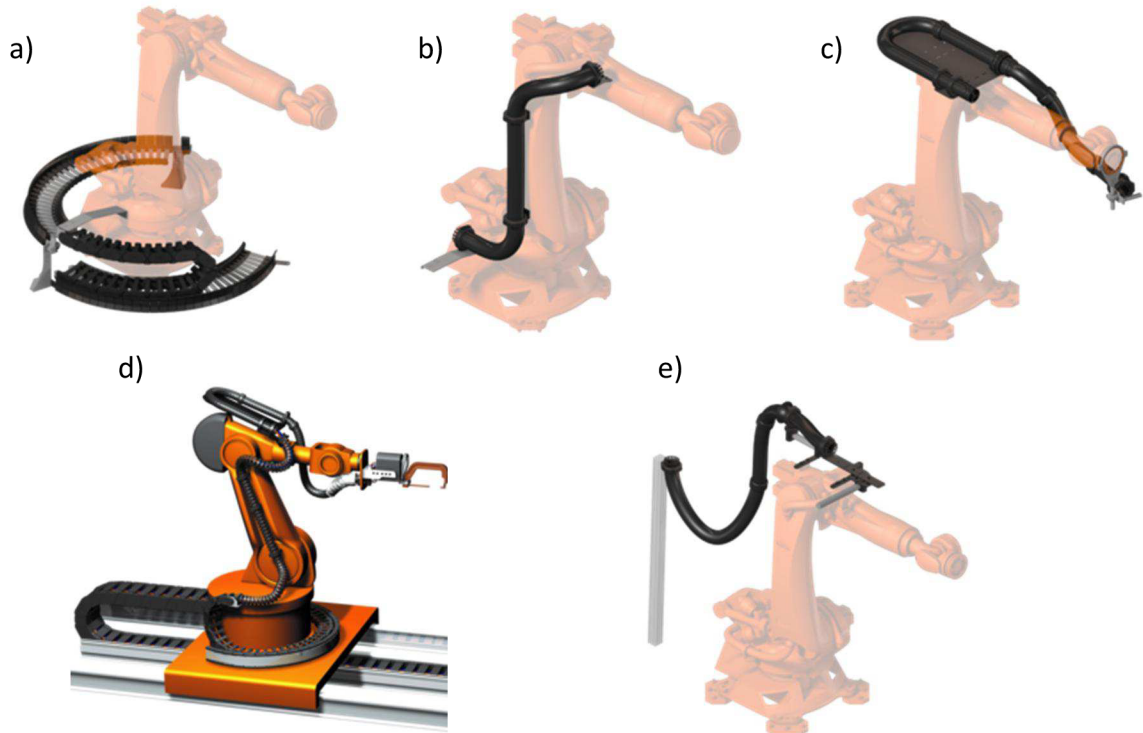
Vedení ke koncové jednotce PR je zajištěno podobným nebo zcela stejným systémem jako v přechozím případě. Díky možnosti vzájemné torze jednotlivých segmentů tubusu je umožněn bezpečný přísun kabelů i v případě axiální rotace koncové jednotky. Rotace je však omezena mezními hodnotami úhlu natočení kvůli riziku kolize s energetickým řetězem (*obr. 33c*).

7. osa: pojezd

Kartézské systémy a jiné typy zařízení, které ve své konstrukci uplatňují horizontální nebo vertikální posuv s přívodem energie ke koncové jednotce, využívají stejného typu řetězu, který je uveden u pojezdu PR na obrázku. Tento typ řetězu je vyráběn v různých velikostech

a provedeních v závislosti na daných podmínkách. Pro velmi prašné prostředí lze využít i zcela uzavřený systém řetězu, který chrání kabeláž před nečistotami (obr. 33d).

V případě že chceme omezit množství kabeláže, můžeme využít závěsný systém, který se připojí až ke třetí ose robota. Úhel rotace robota ale nesmí být příliš velký jinak by mohlo dojít ke kolizi ramene PR s vedením kabelů (obr. 33e).



Obr. 33 Energetický systém (20)

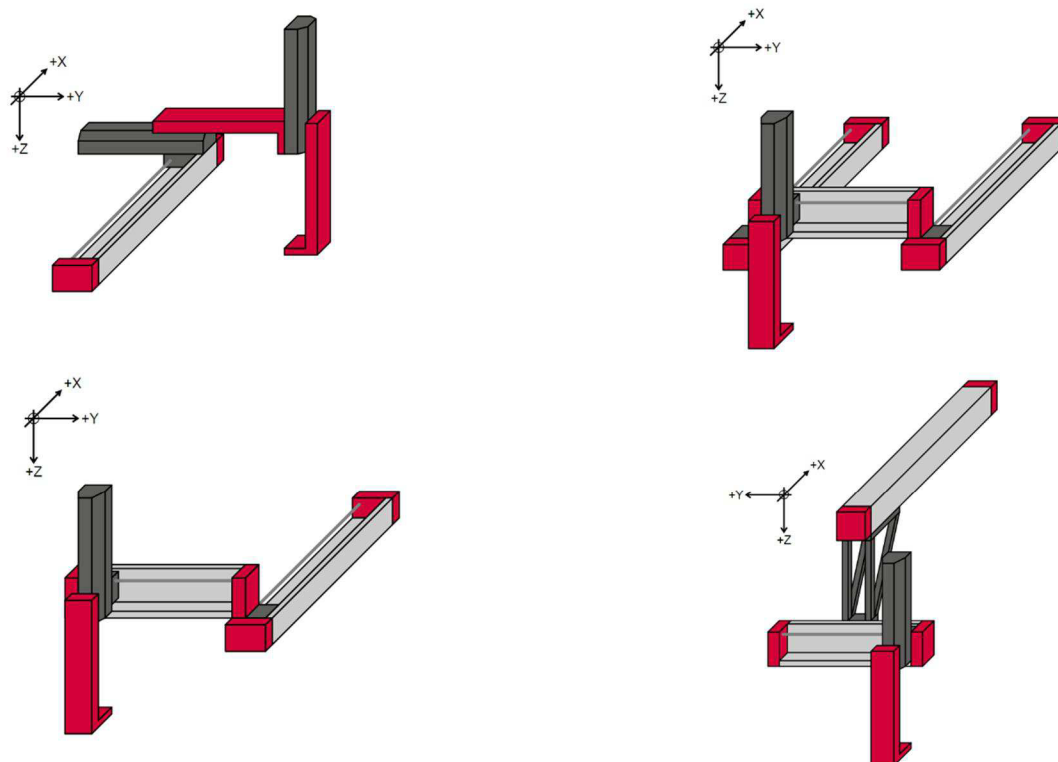
3 Konstrukční řešení

3.1 Studie konstrukčních variant

Rozlišujeme čtyři základní typy kinematických řetězců polohovacího ústrojí, které vzniknou kombinací posuvných a rotačních jednotek na třech osách (x,y,z) v prostoru. K těmto strukturám se později přiřadily další dva speciální typy, tzv. SCARA a Delta roboty. V praxi se tyto roboty běžně opatřují dalšími pohybovými jednotkami zejména kvůli zvětšení pracovního rozsahu (2), (8).

3.1.1 Kartézský robot

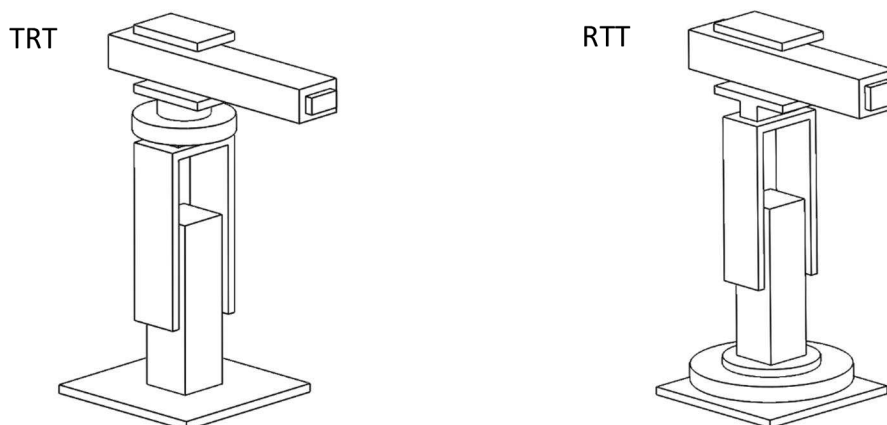
Skládá se ze tří navzájem kolmých translačních jednotek (TTT). Pracovním prostorem je kvádr. Pohybové jednotky umožňující posuv jsou většinou konstrukčně složitější, větší, a tím pádem i těžší ve srovnání s rotačními jednotkami. Výhodou těchto struktur je vysoká tuhost a přesnost polohování. Kartézské roboty mohou poskytnout velký pracovní prostor, a hodí se pro stavebnicové řešení konstrukce. Díky tomu jejich podíl na trhu roste. Na obr.34 jsou vyobrazena základní konstrukční řešení tohoto typu PR (2), (8).



Obr. 34 Konstrukční řešení kartézského robotu (21)

3.1.2 Cylindrický robot

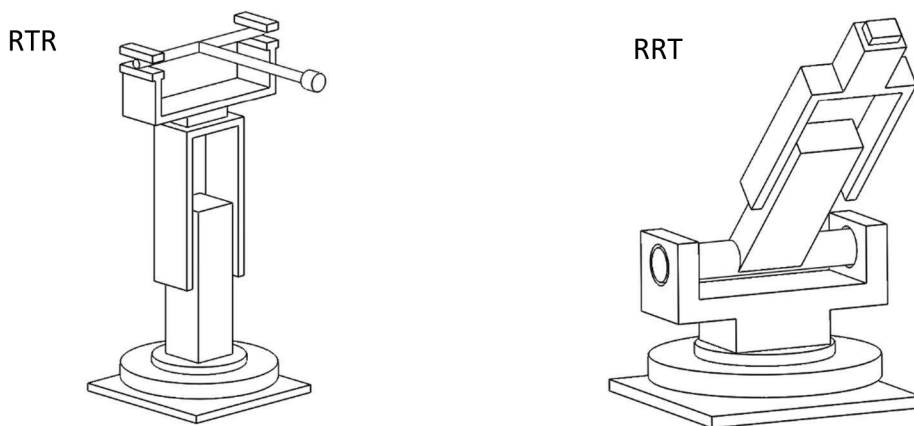
Nebo také válcový robot je tvořen kombinací dvou translačních jednotek, z nichž jedna je vertikální a druhá horizontální, s jednou rotační jednotkou (RTT). U takového typu je pracovním prostorem válcový prstenec nebo jeho část. Podmínkou pro docílení cylindrické struktury je umístění rotační jednotky do první nebo druhé pozice kinematického řetězce, jako je uvedeno na *obr. 35*. Jednotky jsou často opatřovány pneumatickými pohony. Tato koncepce se hodí pro řadu manipulátorů a jednoduchých robotů, u kterých je z hlediska konstrukce uplatňováno modulární řešení. Prstencová struktura je využívána u tzv. hnízdového uspořádání robotizovaných pracovišť. Vzhledem k tomu že se nyní upřednostňuje spíše lineární layout pracovišť, tak podíl těchto robotů na celkové produkci spíše klesá (2), (8).



Obr. 35 Konstrukční řešení cylindrického robotu

3.1.3 Sférický robot

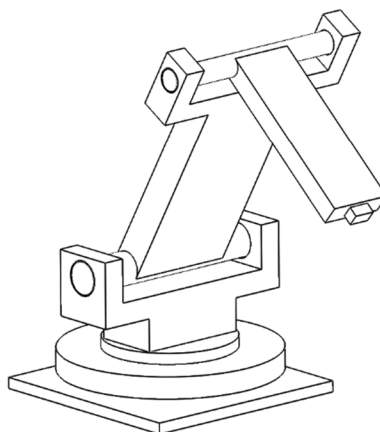
Pro dosažení objemového kulového pracovního prostoru se využívá kombinace jedné translační a dvou rotačních jednotek s navzájem kolmými osami rotace (RRT), přičemž translační jednotka je vždy kolmá k prostřední rotaci. Původně měla tato struktura hojné zastoupení v automobilovém průmyslu. Dnes je však nejen v tomto odvětví takřka zcela zastoupena výhodnějším angulárním typem PR (2), (8).



Obr. 36 Konstrukční řešení sférického robotu

3.1.4 Angulární robot

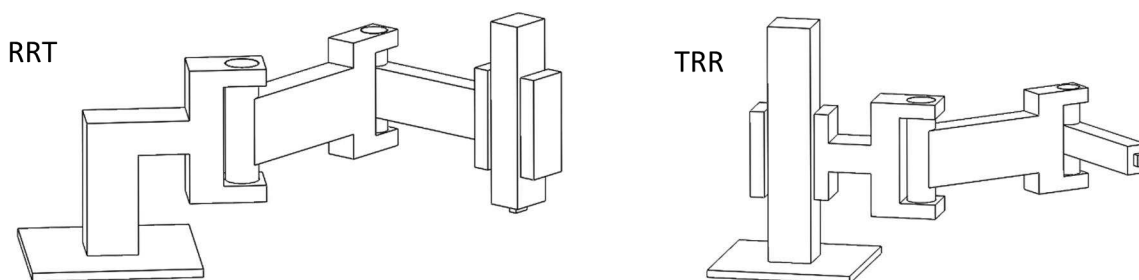
Tento typ robotu využívá pouze rotační pohybové jednotky (RRR). Zpravidla se jedná o první rotaci kolem svislé osy a zbývající dvě rotační jednotky mají osy rotace vodorovné. Tato struktura se v současnosti velmi využívá, především v automobilovém průmyslu. Pracovní prostor je velmi variabilní v závislosti na rozměrech pohybových jednotek a na rozsahu pohyblivosti. Obecně ho tvoří část anuloidu navazujícího na různé kulové segmenty. Nevýhodou této struktury je její obtížné řízení oproti předchozím typům. V dnešní době se však vyvíjejí softwary, díky kterým bude snazší robota správně naprogramovat a uvést do provozu. Naopak výhodou tohoto typu je výborná manévrovací schopnost, vysoký koeficient obslužnosti v celém manipulačním prostoru, a také schopnost pracovat poblíž osy z v pracovním prostoru. Díky těmto dovednostem je vhodný pro technologické aplikace (2), (8).



Obr. 37 Konstrukční řešení angulárního robotu

3.1.5 SCARA robot

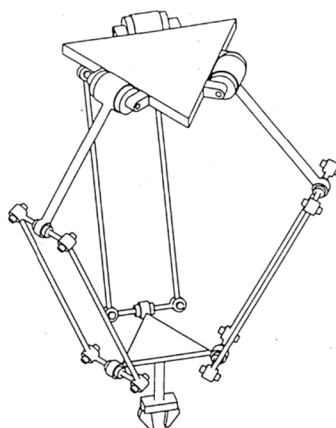
Zvláštní samostatnou skupinu tvoří roboty s označením SCARA. Tato struktura byla speciálně vyvinuta pro aplikace v automatické montáži. Skládají se sice ze stejných prvků jako sférické roboty, ale liší se v tom, že všechny pohybové osy jsou rovnoběžné, a nejčastěji svislé. Tato struktura umožňuje extrémně rychlý a přesný pohyb robota spolu s přemísťovaným objektem. SCARA roboty jsou obvykle konstrukčně orientovány pro nosnosti 5 až 10 kg. Díky rozvoji montážních aplikací jejich celkový podíl výrazně roste (2), (8).



Obr. 38 Konstrukční řešení SCARA robotu

3.1.6 Delta robot

Poslední skupinou jsou roboty typu Delta. Vynikají ve více vlastnostech, z nichž nejvíce ceněná je rychlost, přesnost, a také schopnost šetření pracovního prostoru, díky jejich konstrukčnímu uspořádání umožňující zavěšení ze stropu. Tyto roboty vznikly z paralelních struktur. Delta robot je tvořen třemi rameny, spojenými křížovými klouby na jedné základně. V každém rameni má umístěn paralelogramový mechanismus. V současné době nalézá uplatnění v oblasti automatické montáže (2), (8).



Obr. 39 Konstrukční řešení Delta robot (22)

3.2 Aplikace metodiky stavebnicové konstrukce

Na základě zadaných parametrů budou vyhodnoceny možné varianty řešení účelového manipulátoru. Dále bude rozhodnuto, jaký typ kinematické struktury bude vzhledem k zadání nejvhodnější a na základě způsobu realizovatelnosti manipulátoru se určí, která varianta se skutečně použije. Vybraný typ bude potom podroben standardizovaným výpočtům, z nichž vyplyne, jak dimenzovat jednotlivé moduly, aby byla celková struktura dostatečně pevná a tuhá pro zadané zatížení, a to zejména při manipulaci s objektem. Po zvolení vhodných modulů se následně začne vytvářet CAD model manipulátoru, na kterém se ověří, zda je konstrukce vhodně uspořádaná z hlediska její montáže a prostorového uspořádání. Dále bude tento model doplněn o nezbytné prvky, jimiž je například přívod energetického systému, propojovací příruby a tak dále. Výstupem celé této kapitoly je funkční účelový manipulátor se stavebnicovou konstrukcí, vytvořený v CAD softwaru a doložený technickou dokumentací včetně výpočtů.

3.2.1 Zadání

Navrhnete a konstrukčně vyřešíte účelový modulární manipulátor cylindrické struktury dle zadaných parametrů v *tab. 3.1*. Aplikujte metodiku stavebnicové konstrukce a vyhodnoťte varianty řešení. Nakonec proveďte technickoekonomické zhodnocení vzniklé struktury.

Dále zpracujte technickou dokumentaci, obsahující:

- a) Výpočty pro specifikaci pohonů a výběr konstrukčních modulů (viz *příloha č. 1*).
- b) Konstrukční řešení úkolu na úrovni sestavných výkresů, podsestav a výrobní výkresy vybraných dílů.

Tab. 3.1 Zadané parametry manipulátoru

Posunutí x [mm]	Posunutí y_{\min} [mm]	Úhel rotace α_{\min} [°]	Přepravní rychlost v_{\min} [m.s ⁻¹]	Zrychlení a_{\min} [m.s ⁻²]	Otáčky n_{\min} [s ⁻¹]	Hmotnost objektu m [kg]
400-600	250	270	0,2	15	2	5

3.2.2 Konstrukční varianty

Pro splnění požadavku na válcový pracovní prostor se musí manipulátor skládat ze dvou translačních jednotek a jedné rotační jednotky. Dále je nutné, aby výstupní hřídel rotační jednotky směřovala paralelně se svislou osou, jedna translační jednotka zajišťovala svislý posuv a druhá vodorovný posuv. Na základě těchto kritérií lze vyvodit dvě možné varianty pořadí kinematických dvojic.

První možné řešení počítá s tím, že první jednotkou bude translace ve svislém směru, následuje rotační jednotka a jako poslední jednotkou na vrchu by byla translace ve vodorovném směru.

Základnou pro druhé uspořádání by byla rotační jednotka, na kterou by navazoval svislý posuv. Stejně jako u první varianty by celý manipulátor zakončovala horizontální translační jednotka.

Dále budeme porovnávat tato dvě uspořádání, z nichž nakonec vybereme to nejvíce vyhovující pro hodnoty ze zadání. Je tedy patrné, že jediný rozdíl mezi oběma variantami spočívá pouze v prohození pořadí svislé translační a rotační jednotky na prvních dvou pozicích. V případě že by první pohybovou jednotkou byla rotační, znamenalo by to pro ni větší nároky na její pohon s ohledem na hmotu, kterou by musela uvést do pohybu nebo ji zabrzdit. Proto bude zvolena varianta, kdy je první jednotkou svislý posuv a až na ni naváže rotace. Finální struktura bude tedy tvořena postupně nejprve svislou translací, poté rotací, a nakonec vodorovnou translací (TRT).

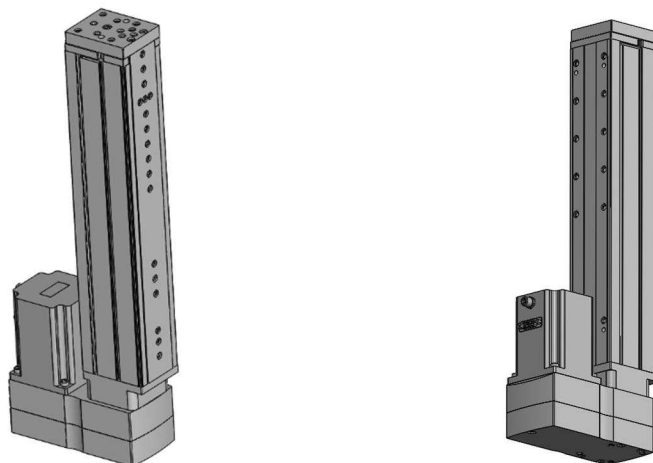
3.2.3 Dimenzování modulů

Pro všechny tři moduly byl zvolen elektrický typ pohonu z důvodu vysoké přesnosti při polohování, úplné kontroly nad průběhem pohybu a čistoty na pracovišti. K vlastnímu dimenzování kompletních modulů s motorem a převodovkou byl použit návrhář firmy FESTO pro elektricky řízené pohyby. Tento nástroj umožňuje uživateli nejprve vybrat typ modulu, a po nastavení žádaných parametrů, jimiž je například délka pojezdu nebo užitečné zatížení, vypočte nejefektivnější kombinaci pohonu, převodovky, řídicí jednotky a motoru z nichž se bude modul skládat. Obvykle nabízí více než jedno možné řešení a je tedy jen na uživateli, které si pro jeho aplikaci vybere.

Svislý posuvný modul

Pro svislé aplikace se nabízí čtyři typy pohonů: elektrické válce, elektrické saně, pohony s vřetenem nebo s ozubeným řemenem a letmé pohony. Vzhledem k našim podmínkám byl zvolen typ s elektrickými saněmi. Ten se vyznačuje vysokou nosností a výrobce ho přímo doporučuje pro použití ve svislých aplikacích.

Po zadání hodnot do návrháře byla vybrána jedna z možných kombinací pohonu a ostatních prvků vzhledem k prostorovému uspořádání budoucího manipulátoru. Klíčovým aspektem při rozhodování se stal způsob montáže motoru. Vzhledem k tomu že je tato jednotka jako první na stojanu, byl použit typ umožňující paralelní montáž motoru. To umožní snazší řešení při umísťování modulu na stojan. Pro stavbu modulu byly použity komponenty s označením: EGSL BS 75 300 10P (pohon), EAMM U 86 D60 87A 102 (paralelní montáž), EMMS ST 87 S SE G2 (krokový motor).



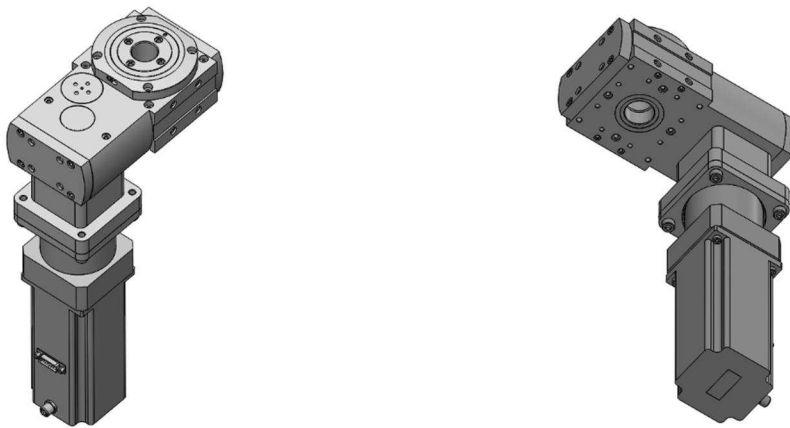
Obr. 40 Svislý posuvný modul manipulátoru

Rotační modul

Návrhář nabízí dvě základní varianty rotačních jednotek. První předpokládá kontinuální chod a druhá varianta poskytuje řízený chod rotace v obou směrech. Pro manipulaci je nezbytný řízený proces krokového charakteru. Z těchto dvou variant byl proto vybrán druhý typ umožňující přerušovaný chod. V dalším kroku je nutné zadat, zda se má jednat o rotační modul nebo prostý pohon. V našem případě jde o modul, a to kvůli snazší integraci a

adaptabilitě. Posledním krokem je zadání souslednosti pohybů, momentů setrvačnosti a krouticích momentů.

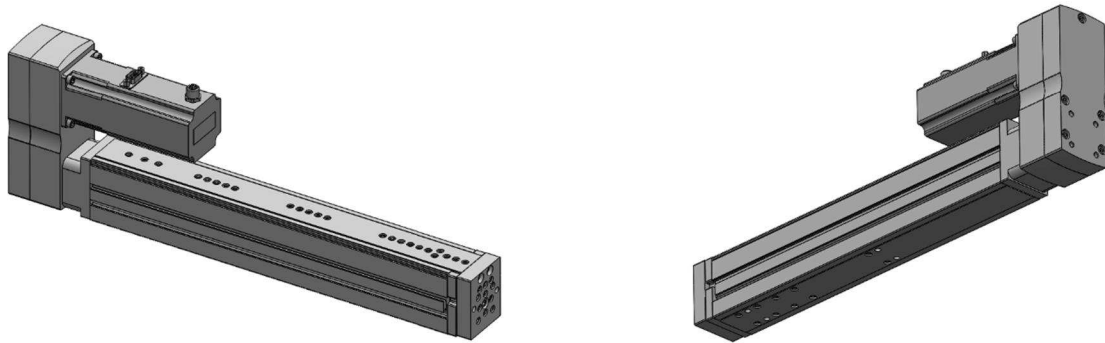
Výpočet stanovil tři možné uspořádání, z nichž jen jedno obsahovalo krokový motor a zbylé dvě obsahovala servomotor. Pro manipulátor byla vybrána kombinace s krokovým motorem, protože ze všech řešení vykazoval neoptimálnější vytížení motoru, a tím je zajištěna jeho delší životnost. Navíc je krokový motor oproti servomotorům levnější. Díly rotačního modulu: ERMB 32 (rotační pohon), EAMM A D60 80 G (axiální montáž), EMGA 80 P G5 SST 87 (převodovka), EMMS ST 87 M SEB G2 (motor).



Obr. 41 Rotační modul manipulátoru

Vodorovný posuvný modul

Poslední potřebnou jednotkou pro zajištění cylindrické struktury je modul poskytující vodorovný nebo též horizontální posuv. Postup při výběru byl zachován stejný jako tomu bylo u svislé posuvné jednotky. Nebyl změněn ani typ jednotky, kterým jsou elektrické saně. Ty dokáží stejně jako pro svislý posuv dobře pracovat i v horizontálních aplikacích. Navíc s předchozí zkušeností s již zmíněným prvním posuvným modulem se hodila jejich přizpůsobivost a možnost paralelní montáže motoru. Ta byla využita právě i pro tento modul, kdy byl motor umístěn tak, aby protínal osu rotace. Díly modulu: EGSL BS 55 250 5P (pohon), EAMM U 60 D32 57A 91 (paralelní montáž), EMMS ST 57 S SEB G2 (motor).



Obr. 42 Vodorovný posuvný modul manipulátoru

3.2.4 Propojovací příruby

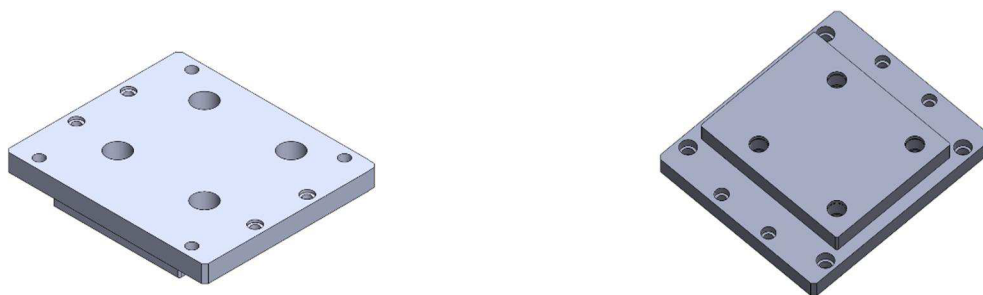
K propojení jednotlivých modulů je třeba využít příruby. Společnost FESTO sice nabízí široký výběr různých přírub, avšak pro specifické účely jako je stavba cylindrického manipulátoru, kterému se firma přímo nezabývá, nejsou vždy tyto produkty vhodné. Zvolena byla tedy cesta vlastní realizace těchto součástí. Výhodou tohoto způsobu je, že lze přesně nakonfigurovat rozměry tak, jak vyžaduje daná aplikace, a navíc se může příruha opatřit dalšími spojovacími prvky pro případné součásti, jako je například upínka za profil horizontálního modulu. Další výhodou je, že se není nutné vázat na předem definované rozměry, které navíc nemusí této specifické aplikaci vyhovovat.

Příruha ze svislého posuvu na rotaci

Tato příruha musí plnit funkci dostatečně pevného a tuhého propojovacího členu, který přenáší pohyb od svislé translační jednotky na bezprostředně navazující rotační jednotku a všechny další prvky nad ní. Samotná příruha by měla být zároveň co nejjednodušší a neměla by nijak omezovat manipulační prostor.

Při návrhu byl zohledněn i tvar obou modulů, takže se příruha vizuálně příliš neodlišuje od dílů převzatých od FESTA. Klíčovými rozměry byly pak závitové a další propojovací díry na obou modulech, které se využily pro spojení. Pro vystředění dílů bylo využito stejného systému, který taktéž využívá firma FESTO. Jedná se o jednoduchou středící dutinku, která se vkládá do předpřipraveného tolerovaného zahloubení mezi obě součásti, a tím dojde k vzájemnému vystředění. Skrz dutinku se poté protáhne šroub, který přesnou polohu

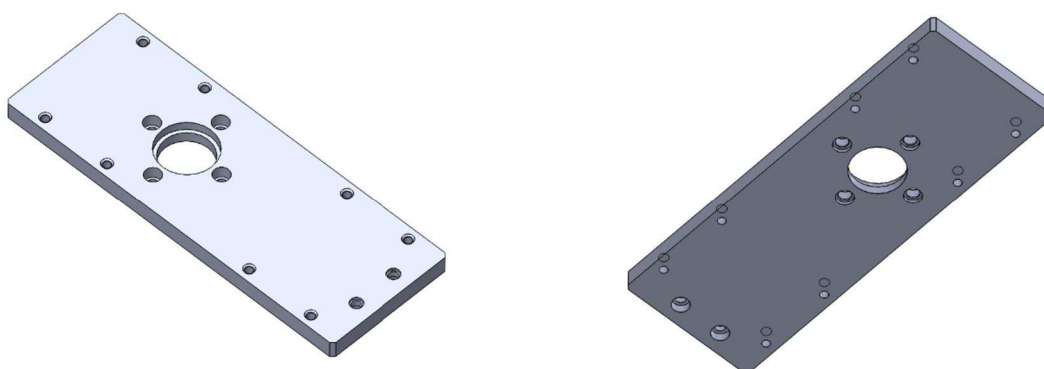
zafixuje. Výsledná příruba je opatřena dalšími dírami pro upevnění plechového dílu a je znázorněna na obrázku níže (obr. 43).



Obr. 43 Příruba ze svislého posuvu na rotaci manipulátoru

Příruba z rotace na vodorovný posuv

Základní požadavky jako je pevnost, tuhost, relativní jednoduchost, a kompaktnost zůstávají neměnné. Hlavním rozdílem oproti první přírubě spočívá v převedení nyní rotačního pohybu na vodorovný posuvný modul. To má za důsledek vytvoření kruhového krčku na desce, který přiléhá na rotující část otáčející se jednotky. Krček slouží k tomu, aby vymezil dosedací plochu příruby. Díky tomu je zabezpečen plynulý chod rotační jednotky bez tření mezi její stacionární plochou a nestacionární plochou příruby. Skrz krček jsou navíc zavedeny díry s přípravou pro šrouby a středící dutinky. Příruba je ještě v ose rotace opatřena dírou pro vložení větší středící dutinky. Ta by měla zajistit lepší tuhost, a taky snazší montáž. Finální podoba příruby je navíc opatřena dalšími přípravami pro upínky horizontální jednotky.



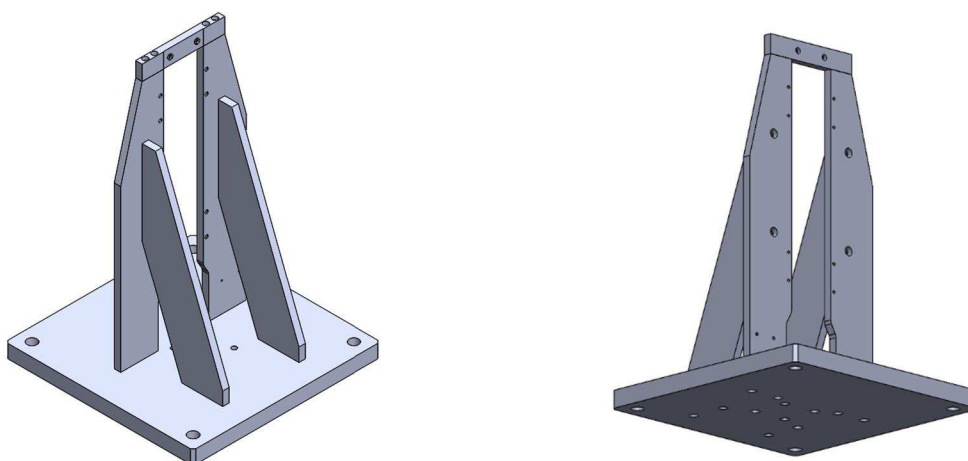
Obr. 44 Příruba z rotace na vodorovný posuv manipulátoru

3.2.5 Podstavec manipulátoru

Podstavec musí zajistit především stabilní uchycení manipulátoru. Dále by měl plnit funkci rovnoměrného rozložení sil na svou dosedací plochu a v neposlední řadě by měl tlumit vibrace a rázy systému.

Na základě těchto požadavků byl podstavec vytvořen z desky, na kterou byla symetricky uchycena hlavní dvě žebra. Žebra byla následně podepřena menšími vedlejšími žebry a propojena prostřednictvím rozpěrky. Základní desku podstavce tvoří kvádr o tloušťce 25 mm. Tato tloušťka je v porovnání s manipulátorem dostatečná, a navíc je vzhledem k délce a šířce celé desky ještě relativně snadno dostupná. Deska je dále opatřena dírami pro šrouby se zápusťnou válcovou hlavou pro upevnění hlavních a vedlejších žebek a v rozích má díry pro upevnění na případný rám nebo na podlahu.

Hlavní žebra jsou z plechu tloušťky 12 mm a jsou zespoda opatřena závitovými dírami M8 pro jejich upevnění na podstavec. Jedno z žebek je ještě navíc opatřeno dírami pro energetický řetěz. Žebra jsou dostatečně vysoká, aby zajišťovala maximální podporu systému. Pro spojení s manipulátorem jsou využity upínky, které se zavěsí za profil vertikálního pohonu, a na druhém konci se přišroubují k žebku. Vršek žebek je opět opatřen závitovými dírami pro propojovací součást, díky které se významně zvedá tuhost konstrukce. Tato součást navíc spojuje vrchní díl celého podstavce s vertikální posuvnou jednotkou manipulátoru.



Obr. 45 Podstavec manipulátoru

Vedlejší žebra jsou stejné tloušťky jako hlavní. Jejich role spočívá v zabránění hlavních žebek k naklápění. Namáhání vedlejších žebek je tedy buď na tlak, který se rozloží díky jejich dostatečné tloušťce, nebo na tah, který zachycují šrouby. Vedlejší žebra jsou spojena s deskou a hlavními žebry pomocí šroubů.

3.2.6 Energetické řetězy

Poslední částí konstrukce manipulátoru je přívod energie k akčním členům a popřípadě k senzorům. Pro zabezpečení kabelů a pro možnost konání posuvného nebo rotačního pohybu, aniž by byly kabely porušeny, se využívá energetických řetězů (*viz kap. 2.8*).

První pohonná jednotka manipulátoru vyžadující přívod kabelů je motor od svislého posuvného modulu. Vzhledem k tomu že je motor umístěn na spodu jednotky a pracovní rovina manipulátoru začíná o 485 mm výše než je vršek motoru, tak si nevyžaduje speciální energetický řetěz. Pro přívod energie postačí běžná svorka kabelů k docílení kompaktnosti vedení a k motoru by měla být kabeláž tažena po podlaze, nejkratším směrem paralelně s konektory motoru.

Druhá rotační jednotka má umístěný motor nad motorem z předchozí jednotky, ale tato jednotka koná svislý posuv způsobený prvním modulem. Pro svislý posuv nejsou na řetěz kladeny nijak vysoké nároky. Jediným požadavkem na řetěz je jeho samonosnost pod tíhou kabelů v poloze, kdy je svislá posuvná jednotka plně zasunuta, protože v tomto případě vzniká největší průvės pohyblivé větve řetězu. Pro dimenzování řetězu byl využit konfigurátor od výrobce energetických řetězů a dalších příslušenství IGUS. Pro vlastní konfiguraci řetězu je nejdříve nutné vybrat požadovaný typ, jehož hlavními parametry jsou vnitřní výška a šířka, aby se dovnitř vešla veškerá kabeláž. V dalším kroku je třeba zadat požadovanou délku celého řetězu, a rozdíl délek mezi stacionární a pohyblivou větví. Dále lze navolit jeden ze způsobů uchycení na obou koncích.

Tento řetěz bylo důležité dostatečně dimenzovat z důvodu, že skrze něj povede kabeláž i do následujících jednotek, včetně koncového efektoru. Pro tažení řetězu bylo využito jedno ze dvou hlavních žebek, a přímo na toto žebro byl přes šrouby upevněn stacionární konec větve. Pohyblivý konec řetězu je přišroubován k pomocné ohýbané součásti z plechu, která

je přimontována k motoru rotační jednotky. Oporu pro řetěz tvoří ještě jedna ohýbaná součást z plechu blízko místa ohybu řetězu při zasunutí vertikální jednotce. Energetický řetěz je znázorněn na *obr. 46*.



Obr. 46 Energetický řetěz pro svislý posuv manipulátoru

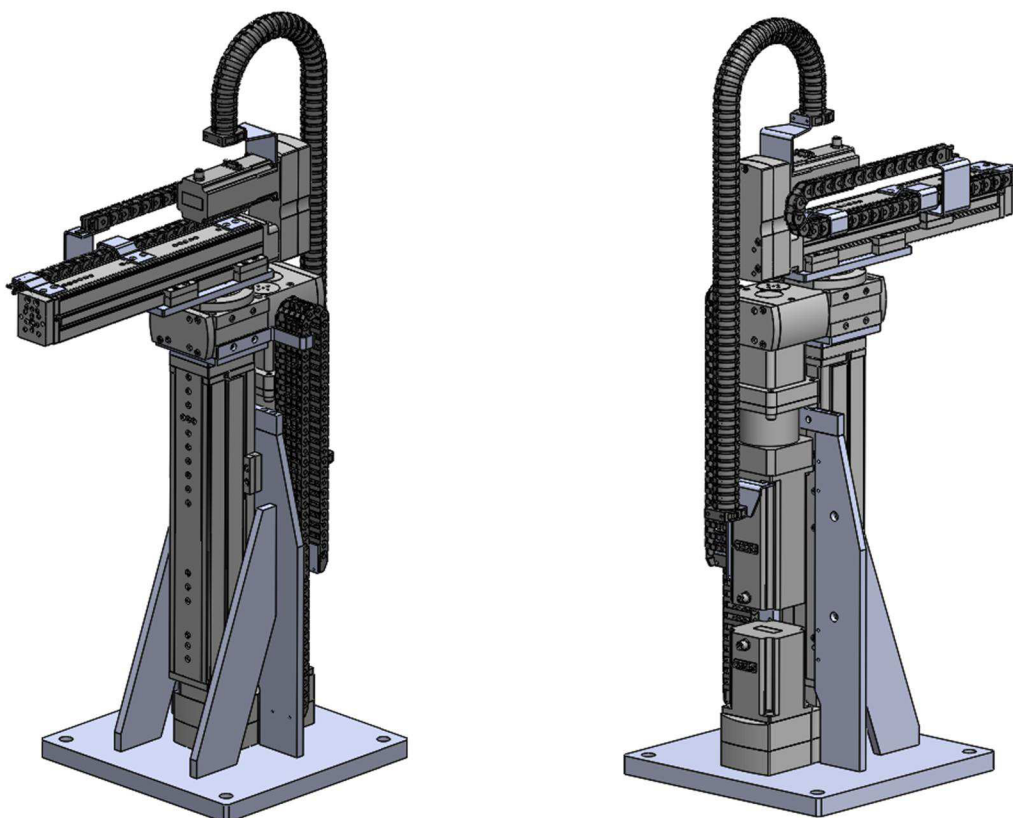
Horizontální posuvná jednotka klade na energetický přívod největší nároky v této konfiguraci manipulátoru. Důvodem je otáčení celého modulu. Aplikované řešení vychází od výrobců SCARA robotů, kteří používají flexibilní choboty pro vedení kabelů při změně pohybu na rotaci. Od výrobce IGUS byl zvolen průměr jednoho článku chobotu a požadovaný tvar byl vytvořen za pomoci CAD softwaru. Při vytváření skici v místě ohybu se nesměla přesáhnout hodnota maximálního poloměru ohybu chobotu.

Chobot je uchycen na svém začátku a konci pomocí dvou upínek kompatibilních s příslušným průměrem chobotu. Obě upínky jsou přišroubovány k ohýbaným plechům, které jsou umístěny u motoru rotační jednotky a u motoru horizontální jednotky.

Poslední řetěz, který zajišťuje přívod energie, je na vrchu u horizontální jednotky. U této aplikace postačilo zvolit menší řetěz díky malému počtu kabelů. Posuv ve vodorovném směru je náchylný k nežádoucím průvěsům řetězu. Tento problém byl vyřešen přidáním dvou podpůrných ohýbaných dílů, kdy jsou oba díly umístěny na pohyblivé části jednotky. Díky tomu oba díly drží spolu s pohyblivou větví řetězu konstantní polohu.

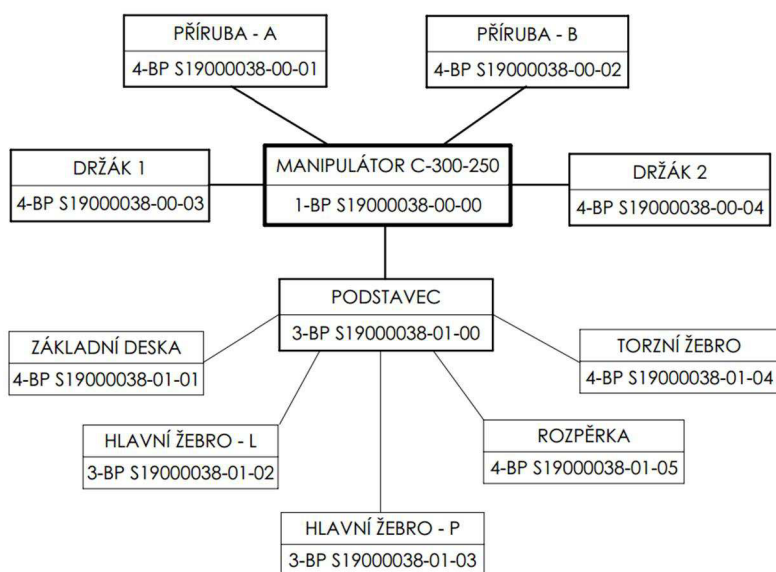
Samotný řetěz je umístěn z boku horizontální posuvné jednotky. Podobně jako u předchozích vedení, je na obou koncích uchycen k držákům z ohýbaných plechů. Oba držáky jsou připojeny k posuvné jednotce tak, aby vůči sobě nebránily při vzájemném pohybu.

Vzniklý manipulátor je znázorněn na obr. 47.



Obr. 47 Cylindrický modulární manipulátor se stavebnicovou konstrukcí

Sestava manipulátoru, podsestava podstavce a výkresy dílů jsou členěny, jak je ukázáno na schématu výkresové dokumentace (obr. 48).



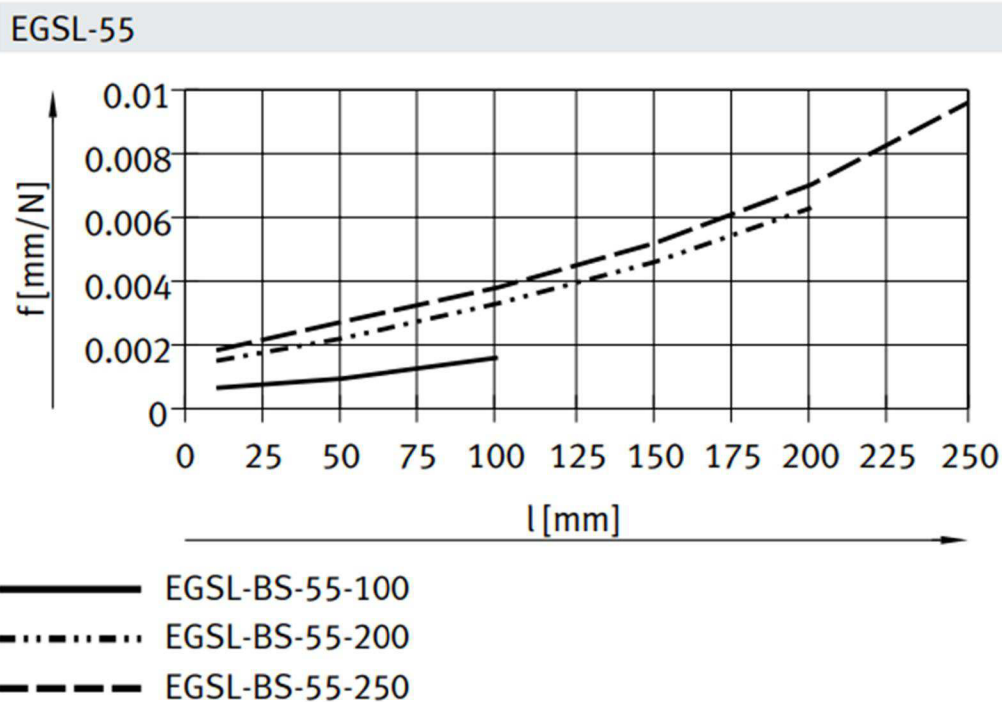
Obr. 48 Schéma výkresové dokumentace

4 Technickoekonomické zhodnocení

Tato kapitola poskytuje přehled důležitých parametrů manipulátoru, díky kterým lze tento model jednoduše analyzovat pro jaké typy úloh lze nasadit, a dále kategorizovat mezi ostatní podobné nabízené manipulátory na trhu. Součástí této záležitosti je i cenový odhad.

4.1 Technické parametry

Manipulátor svými celkovými rozměry spadá spíše do kategorie středně menších průmyslových robotů (viz *tab. 4.1*). Pracovní prostor tvoří válcový prstenec vysoký 363 mm s rozsahem od 343 do 593 mm od osy rotace. Rotační jednotka poskytuje neomezené otáčení ústrojí, avšak kvůli energetickému přívodu je rotace omezena na celkových 320°. Váha celého ústrojí činí cca 43 kg. Manipulátor je dimenzován tak, aby jeho užitečné zatížení dosahovalo 6 kg. Při vzrůstajícím vyložení zejména horizontální posuvné jednotky (EGSL-BS-55-250) však klesá přesnost polohování. Maximální zrychlení svislého posuvu dosahuje 25 m/s² a rychlost 0,65 m/s. Maximální zrychlení horizontální jednotky je také 25 m/s², max. rychlost je 0,40 m/s. Rotační jednotka poskytuje na výstupu až 180 ot/min.



Obr. 49 Graf závislosti průhybu na délce vyložení horizontální posuvné jednotky

Výpočet průhybu:

$$x = f \cdot F_z \quad (4.1)$$

x [mm]..... Průhyb

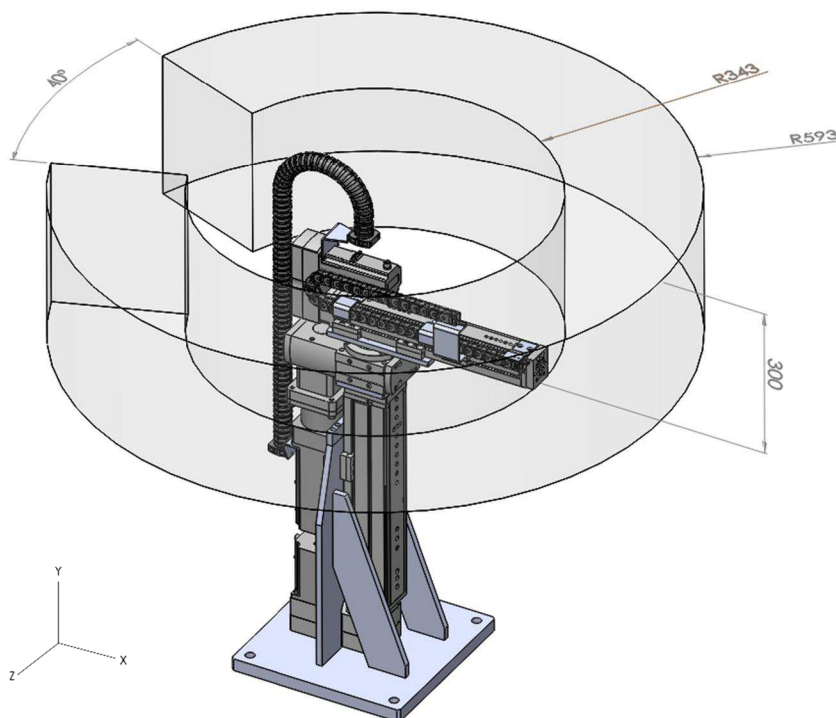
f [mm · N⁻¹]..... Dodatečný průhyb

F_z [N]..... Svislá zátěžná síla

Manipulátor se hodí do běžných uzavřených prostor s nízkými nároky na stálost okolní teploty. Není však určen pro práci v prostředí přesahující teplotu 60 °C, nebo nižší teplotu než je 0 °C. Díky své kompaktnosti šetří prostor. Tento manipulátor je určen především pro aplikace, kde není kladen příliš vysoký důraz na přesnost polohování, ale vyžaduje se relativně rychlý pohyb. Příklad takového uplatnění by mohl být při třídění dílů, kdy je třeba pracovat nejméně ve dvou pracovních rovinách s tzv. hnízdoým uspořádáním směrem od manipulátoru. Důležité technické parametry manipulátoru jsou shrnuty v *tab. 4.1*.

Tab. 4.1 Technické údaje manipulátoru

Dosah v ose x	593 mm
Dosah v ose y	1057 mm
Maximální úhel rotace	320 °
Užitečné zatížení	6 kg
Maximální zrychlení ve svislém směru	25 m·s ⁻²
Maximální zrychlení ve vodorovném směru	25 m·s ⁻²
Maximální rychlost ve svislém směru	0,65 m·s ⁻¹
Maximální rychlost ve vodorovném směru	0,40 m·s ⁻¹
Rychlost rotace	180 min ⁻¹
Celková hmotnost ústrojí	43 kg
Rozměry základny	350 x 350 mm
Výška manipulátoru (bez en. řetězů)	898 mm
Teplota prostředí	0 - 60 °C



Obr. 50 Pracovní rozsah manipulátoru

4.2 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je provedeno pro standardní tržní ceny (bez DPH) platné ke dni 9.5. 2022.

4.2.1 Díly od společnosti FESTO

Modul pro svislý posuv

Krokový elektromotor bez brzdy pro pohánění svislé posuvné jednotky stojí 12 060 Kč. Sada pro paralelní montáž tohoto motoru činí 16 890 Kč. Posuvné saně svislé jednotky mají hodnotu 67 780 Kč.

Modul pro rotaci

Krokový elektromotor s brzdou stojí 20 840 Kč. Převodovka modulu má hodnotu 15 870 Kč. Sada pro axiální montáž stojí 9 840 Kč a samotný otočný modul stojí 47 310 Kč.

Modul pro vodorovný posuv

Krokový motor opatřen brzdou činí 16 680 Kč. Motor je připojen přes axiální sadu pro montáž, která má hodnotu 13 470 Kč. Horizontální posuvná jednotka stojí 58 480 Kč.

Dále byly použity díly pro upnutí posuvných pohybových jednotek za profil a středící dutinky k dokonalému vystředění dvou navzájem připojených dílů prostřednictvím šroubového spoje. Náklady za tyto díly dosahují cca 3 000 Kč.

Celkem stojí všechny výše uvedené díly od této společnosti zhruba 283 000 Kč.

4.2.2 Energetické řetězy

Všechny energetické řetězy byly vybrány od výrobce IGUS.

První energetický řetěz zajišťuje přívod kabeláže od podstavce manipulátoru podél svislé posuvné jednotky k blízkosti motoru rotační jednotky. Výrobce udává cenu za jeden článek řetězu cca 13 Kč. Řetěz je dlouhý 0,93 m a obsahuje 62 článků. Cena za řetěz je tedy 788 Kč. Pro upnutí je řetěz opatřen dvěma upevňovacími objímkami. Jeden kus stojí 105 Kč. Celkově je za první řetěz s objímkami zhruba 1000 Kč.

Druhý řetěz chrání kabely před změnou charakteru pohybu na rotaci. Tento typ flexibilního tubusového řetězu je v dnešní době velmi využíván zejména pro angulární struktury robotů a pro SCARA roboty. Cena jednoho článku činí 43 Kč. Dohromady je použito 77 článků, což představuje 3 310 Kč. K upnutí byl opět použit systém dvou objímek, kdy jedna stojí 308 Kč. Tento tubus s příslušenstvím vyjde celkem na 3 930 Kč.

Horizontální posuvný řetěz, který je poslední v pořadí, přivádí energii od předchozího tubusu ke konci posuvné jednotky. Konstrukce řetězu je v zásadě stejná jako u prvního typu. Řetěz se skládá z 37 článků, kdy cena za jeden článek činí 17 Kč. Opět jsou použity dvě objímky k jeho upevnění. Jedna objímka stojí 130 Kč. Horizontální řetěz bude stát i s upevněním 890 Kč.

Energetický systém manipulátoru vychází celkově na 5 800 Kč.

4.2.3 Vyráběné a spojovací součásti

Vyráběné díly

Materiál všech vyráběných dílů kromě ohýbaných plechů bude dural. Plechy budou vyrobeny z nerezové oceli, která zajistí dobrou stálost a odolnost vůči okolnímu prostředí.

Cena hliníkové slitiny (dural) se v současné době pohybuje okolo 200 Kč/kg. Nerezová ocel má přibližně stejnou hodnotu. Pro žebra a jiné desky byl zvolen běžný třískový způsob obrábění technologií řezání, frézování a vrtání. Frézování dílů bylo odhadnuto na 400 Kč/h práce. Alternativou by mohlo být například laserové řezání. Ohýbané díly byly vyhotoveny právě technologií řezáním laserem s následným ohýbáním. Náklady na výrobu těchto dílů by mohly dosahovat 1100 Kč/h. Laserové řezání je ovšem oproti frézování produktivnější.

Pro dohromady cca 13 kg duralu s rozpočtením pro jednotlivé technologie vychází celková cena všech vyráběných dílů zhruba 5000 Kč.

Spojovací součásti

Spojování dílů manipulátoru je kompletně řešeno přes systém šroubů a závitových děr doplněných vnitřními dutinkami pro dokonalé vystředění součástí v místech, kde je to vyžadováno z hlediska přesnosti.

Pro sestavení manipulátoru bylo použito zhruba 60 šroubů se zápustnou hlavou a vnitřním šestihranem dle normy ISO 4762. Cena jednoho kusu pozinkovaného šroubu M5 s délkou závitu 20 mm se pohybuje okolo 1,5 Kč. Podobný šroub M6 stojí 2,0 Kč a šroub M8 3,5 Kč. Dále byly použity šrouby se zápustnou hlavou dle mezinárodní normy ISO 2009. Tyto šrouby byly použity v konfiguracích s pozinkovaným povrchem a ve velikostech M3x12 (0,5 Kč/ks) a M5x12 (0,6 Kč/ks). Sečtením všech položek od každého druhu šroubu a vynásobením s příslušnou cenou za jeden kus vychází celková suma na cca 160 Kč.

S dalšími doplňujícími součástmi lze cenu za spojovací součásti zaokrouhlit na 200 Kč.

4.2.4 Celkové náklady manipulátoru

Celkové náklady pro sestavení tohoto manipulátoru lze vyčíslit na cca 294 000 Kč. Při nasazení manipulátoru do výroby lze uvažovat s rychlou návratností, jelikož je v porovnání s člověkem levný, a navíc dokáže pracovat nepřetržitě.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo na základě podrobné rešerše aplikovat metodický postup strukturálního a mechanického řešení na stavbu manipulátoru, pro zadaný pracovní prostor a zadané technické parametry manipulační úlohy.

Teoretická část práce se nejprve věnuje obecnému přehledu typů robotů. Dále se zaměřuje na kinematiku manipulačních zařízení, a v neposlední řadě i na tvary pracovních prostorů PR. Nakonec jsou rozebrány pohybové jednotky a moduly ve stavbě PR.

Důraz byl kladen na podrobnou rešerši práce, jejíž cílem bylo především nalézt soudobá řešení ve stavbě modulárních průmyslových manipulátorů metodikou stavebnicové konstrukce. Uvedeno je několik výrobců disponujících tímto sortimentem. Z tohoto přehledu vyplývá, že konstrukce jednotlivých modulů od různých výrobců se zásadně neliší. Kromě samotné konstrukce manipulátorů se rešerše nakonec zabývá i systémy energetických řetězců.

V další kapitole jsou shrnuty možnosti konstrukčních variant základních typů kinematických řetězců modulárních manipulátorů.

Praktická část se zabývá vlastním návrhem a stavbou cylindrické konstrukce manipulátoru pro zadané parametry, s přihlédnutím k efektivnosti konstrukce a důrazem na její tuhost. Manipulátor byl koncipován tak, aby byl co nejvíce kompaktní. Dále bylo přihlíženo k minimalizaci počtu použitých součástí, což vede ke snadnější údržbě, případným opravám, a také to přispívá ke snížení výrobních nákladů. Všechny moduly byly navrženy pro pohánění elektrickou energií. Důvodem je snadno řízený provoz, který je navíc kontrolovaný v celém rozsahu pohybu jednotlivých modulů. Dalším důvodem je minimalizace počtu prvků v porovnání se zvažovanou vzduchotechnikou. Kromě samotné ucelené konstrukce byl manipulátor navíc doplněn o systém energetických řetězců, připravený pro vedení veškeré potřebné kabeláže.

Posledním bodem bylo provést technickoekonomické zhodnocení, kde jsou nejprve rozebrány důležité parametry a technické možnosti manipulátoru, a v ekonomické části je vyhodnocena cena jednotlivých částí, kdy je nakonec uvedena i celková suma.

Seznam použité literatury

1. Bílek, Petr. 8 trendů, které budou v roce 2020 hýbat robotikou. *FOCUSON.CZ*. [Online] 3. Leden 2020. [Citace: 2. Únor 2022.] <https://www.focuson.cz/8-trendu-ktere-budou-v-roce-2020-hybat-robotikou/>.
2. Novotný, František a Horák, Marcel. *KONSTRUKCE ROBOTŮ*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7.
3. Matička, Robert a Talácko, Jaroslav. *Konstrukce manipulátorů a průmyslových robotů*. Praha : České vysoké učení technické, 1986.
4. Rumíšek, Pavel. AUTOMATIZACE (Roboty a manipulátory). [Online] Srpen 2003. [Citace: 23. Únor 2022.] http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf.
5. Skařupa, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. [Online] 2007. [Citace: 23. Únor 2022.] http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf. ISBN 978-80-248-1522-0.
6. Hoferková, Kateřina. Modulární roboti se sami přeskládají z jedné větší struktury do jiné. *Svět hardware*. [Online] 25. Červenec 2019. [Citace: 1. Březen 2022.] <https://www.svethardware.cz/modularni-roboti-se-sami-preskladaji-z-jedne-vetsi-struktury-do-jine/49816>.
7. Hardesty, Larry. Surprisingly simple scheme for self-assembling robots. *MIT News*. [Online] MIT News Office, Říjen 4, 2013. [Cited: Březen 1, 2022.] <https://news.mit.edu/2013/simple-scheme-for-self-assembling-robots-1004>.
8. Novotný, František, a další. ÚVOD DO AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE VE STROJÍRENSTVÍ. [Online] 2020. [Citace: 5. Květen 2022.] <https://publi.cz/download/publication/1275?online=1>. ISBN 978-80-7494-545-8.
9. Doležel, Martin. Společnost Sepro rozšiřuje svou řadu lineárních robotů S5. *PlasticPortal*. [Online] 3. Říjen 2011. [Citace: 10. Květen 2022.] <https://www.plasticportal.cz/cs/spolecnost-sepro-rozsiruje-svou-radu-linearnich-robotu-s5/c/723/>.
10. FANUC. M-900iB/280. *FANUC*. [Online] [Citace: 10. Květen 2022.] <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-900/m-900ib-280>.
11. KUKA. LBR iiwa. *KUKA*. [Online] [Citace: 10. Květen 2022.] <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%beby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%afmyslov%C3%A9-roboty/lbr%C2%a0iiwa>.
12. Flekal, Lukáš. KONCOVÉ EFEKTORY V PRŮMYSLOVÉ ROBOTICE. [Online] 2009. [Citace: 11. Květen 2022.] <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12939/final-thesis.pdf?sequence=8>.

13. FESTO. Průmyslová automatizace. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] https://www.festo.com/cz/cs/c/vyroby/prumyslova-automatizace-id_pim2/.
14. BOSCH Rexroth. Lineární technika. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] <https://www.boschrexroth.com/cs/cz/produkty/skupiny-produktu/linearni-technika/>.
15. ROLLON. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] <https://www.rollon.com/usa/en/>.
16. BERGER Positec. Přesné polohovací systémy a elektrické regulační pohony. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] <https://www.regulacni-pohony.cz/>.
17. SMC. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] <https://www.smc.eu/cs-cz>.
18. Makeblock. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] <https://www.makeblock.com/>.
19. LEGO. Mindstorms. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] <https://www.lego.com/cs-cz/themes/mindstorms>.
20. igus. [Online] [Citace: 11. Květen 2022.] <https://www.igus.cz/>.
21. afag. Perfect Cycle. [Online] [Citace: 12. Květen 2022.] <https://www.perfectcycle.afag.com/finder/hts/?lang=en>.
22. Zsombor-Murray, P.J. Geometricko kinematická analýza Clavelova "Delta" robota. [Online] 1. Duben 2004. [Citace: 12. Květen 2022.] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.385.5761&rep=rep1&type=pdf>.

Seznam obrázků

Obr. 1 Klasifikace manipulačních mechanismů (4).....	13
Obr. 2 Programovatelný jednoúčelový manipulátor (9)	14
Obr. 3 Programovatelný univerzální manipulátor (10)	15
Obr. 4 Stavebnicová konstrukce angulární struktury robota (5).....	16
Obr. 5 Nestavebnicová konstrukce kolaborativního robota (11).....	17
Obr. 6 Základní typy kinematických dvojic (5).....	17
Obr. 7 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po přímce (3)	18
Obr. 8 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po kružnici (3).....	18
Obr. 9 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po křivce v rovině (3).....	19
Obr. 10 Způsoby kinematických řetězců pro pohyb po obecné křivce (3).....	19
Obr. 11 Tvary pracovních prostorů základních typů PR a M (12).....	21
Obr. 12 Posuvný modul FESTO (13).....	22
Obr. 13 Spojovací členy FESTO (13).....	23
Obr. 14 Pohony FESTO (13)	23
Obr. 15 Prostorový portál FESTO (13)	24
Obr. 16 Posuvný modul BOSCH Rexroth (14).....	25
Obr. 17 Lineární pohony BOSCH Rexroth (14).....	25
Obr. 18 Lineární portál BOSCH Rexroth (14)	25
Obr. 19 Vedení BOSCH Rexroth (14)	26
Obr. 20 Pojezdové moduly ROLLON (15).....	27
Obr. 21 Navržený systém aktuátorů ROLLON (15).....	27
Obr. 22 Vedení ROLLON (15).....	28
Obr. 23 Moduly BERGER Positec (16).....	28
Obr. 24 Lineární pohony BERGER Positec (16)	29
Obr. 25 Lineární zakladač BERGER Positec (16).....	29
Obr. 26 Moduly SMC (17)	30
Obr. 27 Pohony SMC (17)	30
Obr. 28 Ventily a další systémy SMC (17).....	31
Obr. 29 Roboty SMORES-EP (6)	32
Obr. 30 Propojené roboty a struktura robota M-Blocks (7).....	32

Obr. 31 Robot sestavený z prvků Makeblock (18).....	33
Obr. 32 Lego robot (19)	33
Obr. 33 Energetický systém (20).....	35
Obr. 34 Konstrukční řešení kartézského robotu (21)	36
Obr. 35 Konstrukční řešení cylindrického robotu.....	37
Obr. 36 Konstrukční řešení sférického robotu	38
Obr. 37 Konstrukční řešení angulárního robotu.....	38
Obr. 38 Konstrukční řešení SCARA robotu	39
Obr. 39 Konstrukční řešení Delta robot (22)	39
Obr. 40 Svislý posuvný modul manipulátoru	42
Obr. 41 Rotační modul manipulátoru.....	43
Obr. 42 Vodorovný posuvný modul manipulátoru	44
Obr. 43 Příruba ze svislého posuvu na rotaci manipulátoru	45
Obr. 44 Příruba z rotace na vodorovný posuv manipulátoru.....	45
Obr. 45 Podstavec manipulátoru.....	46
Obr. 46 Energetický řetěz pro svislý posuv manipulátoru	48
Obr. 47 Cylindrický modulární manipulátor se stavebnicovou konstrukcí	49
Obr. 48 Schéma výkresové dokumentace	49
Obr. 49 Graf závislosti průhybu na délce vyložení horizontální posuvné jednotky	50
Obr. 50 Pracovní rozsah manipulátoru.....	52

Seznam tabulek

Tab. 3.1 Zadané parametry manipulátoru	40
Tab. 4.1 Technické údaje manipulátoru	51

Seznam příloh

Příloha č. 1 Výpočty a návrh modulů