

Manipulátor se třemi stupni volnosti

Martin Laga

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Laga**
Osobní číslo: **T12750**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce manipulátoru se třemi stupni volnosti**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Navrhněte konstrukci laboratorního manipulátoru se třemi stupni volnosti umožňující modelové překládání materiálu do hmoty 1 kg mezi dvěma místy v kladném poloprostoru.
3. Vypracujte výrobní dokumentaci
4. Zhodnoťte navržené řešení

Rozsah bakalářské práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Maloch, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **30. ledna 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2015**

Ve Zlíně dne 9. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: LAGA MARTIN

Obor: TECH. ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 28.5.2015



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídíne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh a konstrukce laboratorního manipulátoru se třemi stupni volnosti umožňující modelové překládání materiálu do hmotnosti 1 kg mezi dvěma místy v kladném prostoru. Teoretická část je zaměřena na rozdělení manipulátorů a jejich částí, řízení manipulátorů a jejich kinematiku a dynamiku. V praktické části je návrh a konstrukce jednoduchého výukového manipulátoru se třemi stupni volnosti, včetně určení hodnot kinematických vlastností konstrukce.

Klíčová slova: manipulátor, přípravek manipulátoru

ABSTRACT

The objective of this bachelor thesis is suggestion of the construction of laboratory manipulator with tree degrees of freedom, witch allows the model transporting of material with a weight of one kilogram between two places in positive direction. Theoretical part focuses on distribution of manipulators and their parts, controlling of the manipulators and their kinematics and dynamics. In the practical part is design and construction of a simple educational manipulator with three degrees of freedom, including the determination of the values of kinematic properties of the structure.

Keywords: manipulator, preparation of manipulator

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Jaroslavu Malochovi za ochotu, cenné rady a připomínky, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

*„Non schoale sed vitae discimus.
- Neučíme se pro školu, ale pro život.“*

Seneca

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY	13
1.1 DEFINICE	13
1.2 SOUČÁSTI A MECHANISMY ROBOTŮ	13
1.2.1 Článek.....	13
1.2.2 Kloub	13
1.2.3 Manipulátor	13
1.2.4 Zápěstí	14
1.2.5 Koncový efektor	14
1.2.6 Akční člen.....	14
1.2.7 Senzor	14
1.2.8 Řídicí jednotka	14
1.3 KLASIFIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ	15
1.3.1 Jednoúčelové	15
1.3.2 Universální	15
1.3.3 Podavače.....	15
1.3.4 Synchronní.....	16
1.3.5 Programovatelné.....	16
1.3.5.1 S pevným programem	16
1.3.5.2 S proměnlivým programem.....	16
1.3.5.3 Kongitivní roboty	16
1.4 POHYB MANIPULÁTORŮ A ROBOTŮ	17
1.4.1 Obecný rovinný pohyb tělesa	17
1.5 PRACOVNÍ PROSTOR ROBOTŮ.....	18
1.6 AKTUACE	19
1.7 ŘÍZENÍ ROBOTŮ	19
1.7.1 Metody programování robotů.....	21
1.7.1.1 Ruční programování	21
1.7.1.2 Metoda teach-in	21
1.7.1.3 Metoda play-back	21
1.7.1.4 Textové programování	21
1.8 POUŽITÍ ROBOTŮ.....	22
2 KINEMATIKA A DYNAMIKA ROBOTŮ	24
2.1 ÚVOD	24
2.2 TYPY KINEMATICKÝCH STRUKTUR	25
2.2.1 Sériová kinematická struktura	25
2.2.2 Paralelní kinematická struktura	25
2.3 TYPY KINEMATICKÝCH KONSTRUKCÍ.....	26
2.3.1 Kartézská kinematická konstrukce	26
2.3.2 Cylindrická kinematická konstrukce	27
2.3.3 Sférická kinematická konstrukce.....	27
2.3.4 Angulární kinematická konstrukce.....	28

2.4	SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM	28
2.4.1	Matice rotace R	30
2.4.2	Eulerovy úhly	30
2.4.3	Pravidlo úhlů os	30
2.4.4	Kvaterniony	31
2.5	VEKTOROVÉ FUNKCE	31
2.6	KINEMATIKA ROTACE	31
2.6.1	Rotace okolo os globální soustavy souřadnic	31
2.6.2	Rotace okolo lokálních kartézských souřadnic	32
2.6.3	Eulerovy úhly	33
2.6.4	Obecná transformace	37
3	STAVEBNICOVÉ SYSTÉMY	39
3.1	ÚVOD	39
3.2	VÝHODY A NEVÝHODY STAVEBNICOVÉHO SYSTÉMU	39
3.3	VÝROBCI STAVEBNICOVÝCH SYSTÉMŮ	39
3.3.1	Haberkorn, stavebnicový systém ITEM	39
3.3.2	Alutec	40
4	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
5	VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	43
6	NÁVRH MANIPULÁTORU	44
6.1	KONSTRUKCE MANIPULÁTORU	44
6.2	NÁVRH VARIANT A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	45
6.2.1	Varianta A	45
6.2.2	Varianta B.....	46
6.2.3	Varianta C.....	47
6.2.4	Výběr optimální varianty.....	48
7	KONSTRUKCE MANIPULÁTORU	49
7.1	PRVKY MANIPULÁTORU	49
7.1.1	Základna	50
7.1.2	Kryt manipulátoru	50
7.1.2.1	Sloupek	51
7.1.2.2	Horní krycí plech.....	52
7.1.2.3	Mikrospínač bezpečnostního dorazu	53
7.1.2.4	Ochranné plexisklo.....	53
7.1.3	Sloup.....	54
7.1.3.1	Vnitřní sloup.....	56
7.1.3.2	Dorazový kroužek	56
7.1.3.3	Doraz	57
7.1.3.4	Pojistný kroužek	57
7.1.3.5	Distanční kroužky.....	58
7.1.3.6	Kryt kabelu	58
7.1.3.7	Trn sloupu.....	59
7.1.3.8	Horní sloup	59
7.1.3.9	Mezikruží.....	60
7.1.3.10	Radiální ložiska	60

7.1.3.11	Ozubené kolo.....	60
7.1.3.12	Spodní sloup.....	61
7.1.3.13	Základna ramene.....	61
7.1.4	Jeřabová kočka.....	62
7.1.4.1	Ukotvení řemenu.....	63
7.1.4.2	Kryt kočky.....	63
7.1.4.3	Pojezdové kladky.....	64
7.1.4.4	Lanová kladka.....	64
7.1.4.5	Čep lanové kladky.....	65
7.1.4.6	Uchycení lanové kladky.....	65
7.1.5	Rameno manipulátoru.....	66
7.1.5.1	Řemenová kladka velká.....	66
7.1.5.2	Řemenová kladka malá.....	67
7.1.5.3	Držák napínacího systému.....	67
7.1.5.4	Základna ramene.....	68
7.1.5.5	Kostra ramene.....	68
7.1.5.6	Řemen.....	69
7.1.5.7	Pojezdová kolejnice a vedení kolejnice.....	70
7.1.5.8	Koncové kladky.....	70
8	TECHNICKÉ PARAMETRY NAVRŽENÉHO MANIPULÁTORU	71
8.1	ZÁKLADNÍ ROZMĚRY MANIPULÁTORU.....	71
8.2	HMOTNOSTI SESTAV.....	71
8.3	SOUŘADNICE TĚŽIŠŤ.....	71
8.4	MOMENTY SETRVAČNOSTI SESTAV.....	71
8.4.1	Moment setrvačnosti sestavy sloupu a ramene.....	72
8.4.2	Moment setrvačnosti kočky v poloze nejbliže k ose manipulátoru.....	73
8.4.3	Moment setrvačnosti kočky v poloze nejdále od osy manipulátoru.....	74
9	ZÁVER.....	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	78
	SEZNAM TABULEK.....	81
	SEZNAM PŘÍLOH.....	82
	SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE.....	82
	SEZNAM MODELOVÉ DOKUMENTACE.....	83

ÚVOD

Rostoucí tlak na zvyšování produktivity a kvality výroby je jedním z důvodů rostoucího zájmu o využívání automatických výrobních zařízení. Automatizace přetváří strukturu celé výrobní základny nejen strojírenství mění výrobní technologii, působí na vývoj vlastního výrobního procesu. V rámci automatizace celé řady úkonů i celých procesů v různých odvětvích se čím dál tím více prosazují manipulátory a roboty. Zvyšování produktivity práce nelze zajistit bez modernizace, rekonstrukce a automatizace výrobního zařízení. Je třeba nahradit pracovníka automatem všude tam, kde se jedná o monotónní práci nebo práci ve škodlivém prostředí. Automatizace nahrazuje pracovníka i tam, kde zvýšená automatizace výroby přinese i zvýšenou kvalitu výroby. Při všech automatizačních, ale i mechanizačních projektech je nezanedbatelná ekonomika, a to jak u výrobce automatizačních či mechanizačních prostředků, tak zvláště u jejich uživatelů.[1]

Automatizaci technologických procesů je nutno chápat komplexně. Nelze ji zúžit pouze na vlastní stroj. Patří sem i automatizovaná doprava, manipulace s materiálem, kontrola a měření, výměna nástrojů apod. Automatizaci technologického procesu lze řešit za pomoci univerzálních či jednoúčelových zařízení nebo jejich prvků, případně jejich vhodnou kombinací. Při řešení každého konkrétního případu je třeba se zabývat optimalizací řešení, a to po stránce nejen technické, ale i ekonomické. Samozřejmě je třeba každé navržené řešení posoudit i z dalších hledisek, jako např. rychlost dodávky určitého systému, přesnost výroby, prostorové možnosti, energetická náročnost a pod.[1]



Robotizace průmyslových procesů nachází uplatnění nejen v hromadných výroбах, jak se původně předpokládalo, ale i ve výroбах malosériových a kusových. Robotizace je významným činitelem kultivace lidské práce. Osvobozuje člověka od fyzicky namáhavé a monotónní práce, umožňuje mu vymanit se ze zdravotně škodlivých a rizikových pracovišť. Navíc umožnila růst produktivity práce a otvírá nové možnosti pro přerozdělování pracovního fondu společnosti ve prospěch intelektuálního uplatnění lidí v tvůrčí práci a vytváření podmínek pro kvalitativně vyšší způsob života. Ve všech průmyslových odvětvích se vyskytují monotónní práce, činnost spojená s vynakládáním značné fyzické námahy, práce v nezdravém prostředí i práce kladoucí značné nároky na svědomitost, pečlivost a bdělost pracovníka. Tam všude lze použít manipulační zařízení s různým stupněm automatizace. Investice do těchto zařízení se pak vyplatí nejen snížením provozních nákladů, zvýšením bezpečnosti a produktivity práce, ale i tím, že se v nich získá univerzální prostředek, použitelný bez velkých vydání jinde a jinak.[1]

I TEORETICKÁ ČÁST

1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

1.1 Definice

Definice podle Robotics Institute of America (RIA):

„Robot je programovatelný víceúčelový manipulátor navržený k tomu, aby pohyboval materiálem, součástkami, nástroji, nebo specializovanými zařízeními pomocí proměnných pohybů naprogramovaných pro plnění různých druhů úkolů.“

Obecně vzato, jsou tedy roboty množiny mnohostranných zařízení s určitou mechanickou strukturou, automatickým řídicím systémem, senzorickým systémem, pohonem a zdrojem energie.

1.2 Součásti a mechanismy robotů

Robotický manipulátor vzniká kinematickým spojením článků spojených pomocí kloubů. Takto spojený systém můžeme nazvat kinematickým řetězcem.

1.2.1 Článek

Jednotlivá tuhá tělesa robota tvoří články, nebo též ramena. Jde o prvek, který se může pohybovat vzhledem k ostatním článkům robota. Pokud však jsou dva, či více článků spojeny tak, že se nemohou vzájemně pohybovat, považujeme je z kinematického hlediska za jeden článek.[2]

1.2.2 Kloub

Jestliže jsou dva články spojeny tak, že se mohou vzájemně pohybovat a tento pohyb lze vyjádřit za pomoci jedné souřadnice, nazýváme toto spojení jako kloubové. Takovéto spojení může být buď rotační, nebo translační.[2]

1.2.3 Manipulátor

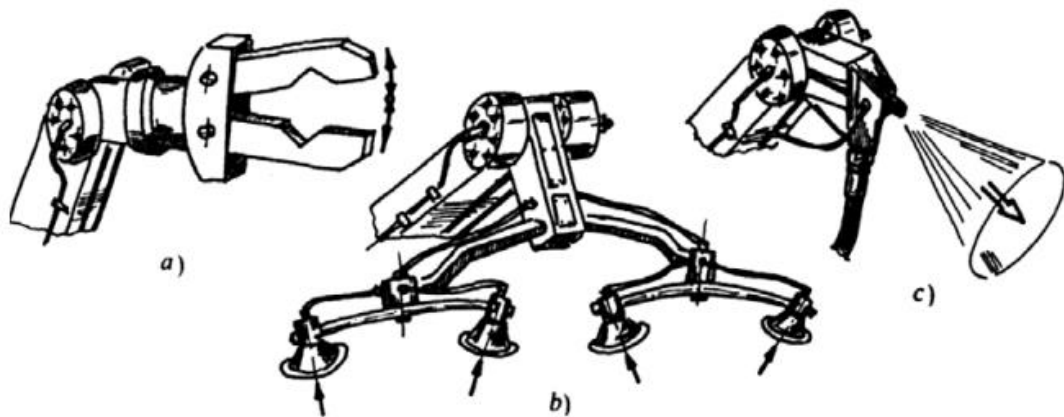
Spojením několika článků a kloubů vzniká těleso manipulátoru. Manipulátor se dále stává robotem, pokud připojíme i zápěstí a úchopnou hlavici a pokud zavedeme řídicí systém.[2]

1.2.4 Zápěstí

Klouby manipulátoru mezi předloktím a koncovým efektem nazýváme zápěstí. Nejčastěji je zápěstí navrhováno jako sférické, tedy jako tři rotační klouby s osami protínajícími se v jednom bodě nazývaném též jako bod zápěstí.[2]

1.2.5 Koncový efektor

Koncový efektor je posledním článkem kinematického řetězce a slouží k provádění požadované činnosti robota. Předchozí části řetězce slouží hlavně k polohování efektoru a ten pak vykoná potřebnou činnost.[2]



Obr. 1: Příklady koncových efektorů [2]

1.2.6 Akční člen

Akční člen pracuje jako pohon celého řetězce a poskytuje výkon potřebný pro požadovanou činnost robota. Člen může být elektrický, pneumatický či hydraulický, podmínkou je však dobrá říditelnost.[2]

1.2.7 Senzor

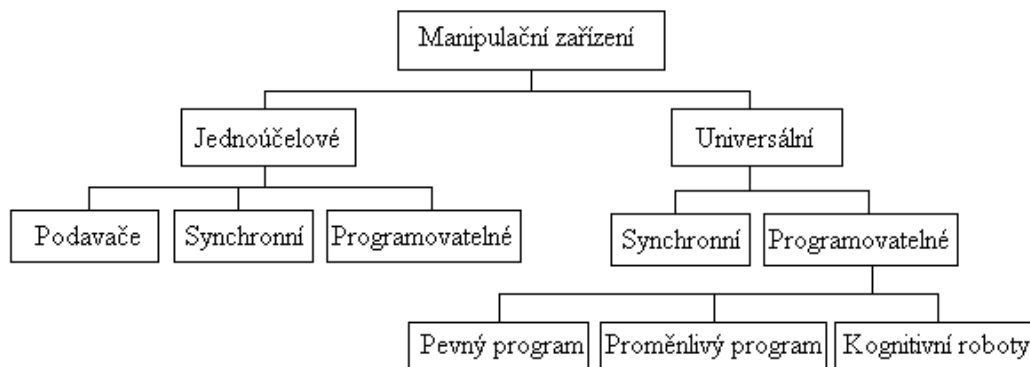
Senzor nebo též snímač slouží k detekci a sběru informací o vnitřních i vnějších stavech. Tyto informace pak dále odesílá do řídicí jednotky.[2]

1.2.8 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka sbírá a zpracovává informace přijaté ze snímačů. Na základě těchto informací pak plánuje geometrický pohyb robotické struktury. Slouží také ke komunikaci mezi robotem a jeho okolím. Jednotka se skládá z procesoru a softwaru.[2]

1.3 Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty a manipulátory patří k mechanismům užívaným k manipulaci s různými břemeny. Dle jejich funkce, aplikačních možností, provedení, míry autonomnosti, úrovně řízení atd. je můžeme rozdělit do několika skupin (obr. 1).



Obr. 2: Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů [1]

1.3.1 Jednoučelové

Vyznačují se především omezenými pohybovými možnostmi a úrovní řízení vyhovující dané aplikaci.

1.3.2 Universální

Jsou víceúčelové a mají možnost přizpůsobit se různým technologiím. Volba mezi jednouúčelovým a universálním robotem vychází z celkového hodnocení technologie, pracoviště atd. a musí se respektovat jak technická tak i ekonomická hlediska.

1.3.3 Podavače

Patří k nejjednodušším jednouúčelovým manipulátorům. Obvykle tvoří jeden celek s ovládaným strojem, který podavač řídí. Podavače mají v automatizaci technologických procesů velký význam.

1.3.4 Synchronní

Známé též jako teleoperátory. Používají se například k zesílení pohybů člověka, nebo k přenosu pohybu člověka na dálku (lékařské účely, pyrotechnické práce, vědecké účely)

1.3.5 Programovatelné

Tyto roboty a manipulátory jsou řízeny programovým ústrojím, provedením, pohonem a funkcí jsou na obsluhovaném stroji nezávislé. Můžeme je dále rozdělit na roboty s pevným nebo proměnlivým programem a na kongitivní roboty.

1.3.5.1 *S pevným programem*

Program se v průběhu mechanismu nemění a programové ústrojí je jednoduchého provedení.

1.3.5.2 *S proměnlivým programem*

Roboty s proměnlivým programem mají možnost přepínání či volby programu podle situace, ve které se mechanismus nachází. V současné době představují špičku konstrukčního provedení.

1.3.5.3 *Kongitivní roboty*

Nazýváme tak takové roboty, které mají možnost vnímat a na základě zjištěných informací racionálně myslet.

Dle Japonské **Asociace průmyslových robotů** můžeme také roboty rozlišit následujícím způsobem na šest tříd:

- 1. Ručně ovládaná zařízení:** Zařízení s více stupni volnosti ovládaná operátorem
- 2. Roboty s pevnou sekvencí:** Zařízení pracuje podle předem připraveného a fixního programu
- 3. Roboty s proměnnou sekvencí:** Zařízení pracuje podle předem připraveného, ale dále programovatelného programu.
- 4. Play-back roboty:** Lidský operátor ručně provede daný úkol a přitom vede robota, který si zaznamenává informace, aby mohl pohyb zopakovat.

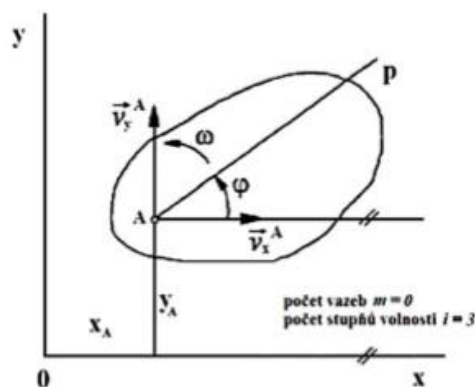
5. **Číslicově řízené roboty:** Robot pracuje pomocí programu napsaném ve speciálním jazyce s příkazy pro jednotlivé pohyby.
6. **Inteligentní roboty:** Robot je schopný vnímat podněty z okolí a reagovat na změny prostředí, ve kterém pracuje.

1.4 Pohyb manipulátorů a robotů

Základním pohybem používaným u robotů a manipulátorů je pohyb přímočarý posuvný (P) a pohyb rotační (R). Pomocí kombinací těchto pohybů dosáhneme toho, že konec ramene robotu či manipulátoru vykonává pohyb po požadované přímce nebo křivce. Každý z těchto dílčích pohybů přidává soustavě jeden stupeň volnosti a je tedy určen právě jednou souřadnicí. Celkový počet volnosti celé soustavy je pak roven nejmenšímu počtu nezávislých souřadnic, pomocí kterých je možné jednoznačně určit polohu systému.

1.4.1 Obecný rovinný pohyb tělesa

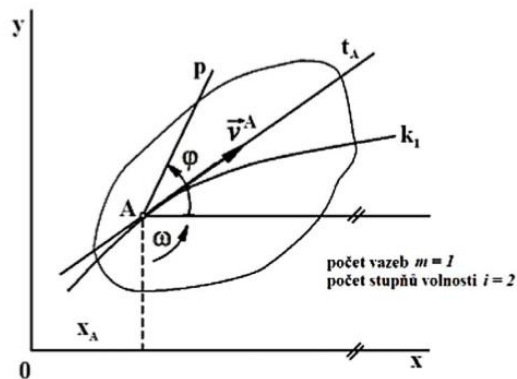
Poloha volného tělesa v rovině je určena za pomoci tří nezávislých souřadnic, které nám určují tři stupně volnosti daného tělesa. Těleso můžeme v rovině posouvat v osách x a y anebo jej pootočit o úhel φ , který svírá libovolná přímka tělesa s rovnoběžkou s kladným směrem osy x souřadnicové soustavy.[2]



Obr. 3: Volné těleso v rovině [2]

Jestliže připojíme těleso 2 bodem A ke křivce k_1 pevného tělesa 1, může se těleso 1 v rovině posouvat bodem A ve směru tečny t_A ke křivce k_1 a také se nezávisle otáčet kolem tohoto bodu. K určení polohy takto vázaného tělesa nám poté stačí pouze dvě nezávislé souřadnice.

Vazba nám tedy odebrala jeden stupeň volnosti. Tuto vazbu můžeme nazvat obecnou kinematickou dvojicí.[2]



Obr. 4: Obecná kinematická dvojice[2]

Název	Pohyblivost	Souřadnice	Třída	Schéma
ROTAČNÍ	$n = 1^\circ$	φ	5	
POSUVNÁ	$n = 1^\circ$	s	5	
VÁLCOVÁ	$n = 2^\circ$	s, φ	4	
SFÉRICKÁ	$n = 3^\circ$	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	3	

Obr. 5: Přehled prostorových kinematických dvojic[2]

1.5 Pracovní prostor robotů

Pracovním prostorem nazýváme množinu bodů, kterých můžeme dosáhnout koncovým efektem a je omezen jak samotnou geometrií manipulátoru, tak i mechanickým omezením kloubů. Pracovní prostor můžeme rozdělit na **prostor dosažitelný** a na **prostor pohotovostní**.

Dosažitelným prostorem nazýváme objem pracovního prostoru, který je dosažitelný koncovým efektem, alespoň při jedné jeho konfiguraci. Prostor pohotovostní je pak objem prostoru pracovního, dosažitelný koncovým efektem v jakékoliv jeho konfiguraci. U většiny robotů se sériovou kinematickou strukturou jsou první tři články navrženy k polohování, zatímco poslední článek (zápěstí) se používá ke změně orientace koncového efektoru.[2]

1.6 Aktuace

Článek, jenž má za úkol přeměnit výkon na požadovaný pohyb nazýváme akční člen. Tento akční člen je obvykle poháněn elektricky, pneumaticky či hydraulicky.

Elektrický akční člen patří mezi nejčastější variantu. Bývá poháněn stejnosměrným, nebo střídavým elektrickým motorem. Je rychlejší a přesnější než člen pneumatický nebo hydraulický, musí však být převodován s vysokým převodovým poměrem. Díky vysokému převodovému poměru však vzniká samosvornost, která je výhodná například při výpadku napájení.

Hydraulický člen je vhodný, pokud je požadována velká rychlost nebo velká nosnost například u zvedání těžkých břemen. Nevýhodou hydraulického členu je potřeba rozvodu kapaliny pomocí čerpadel, případně dalšího hardwaru a také riziko úniku kapaliny.

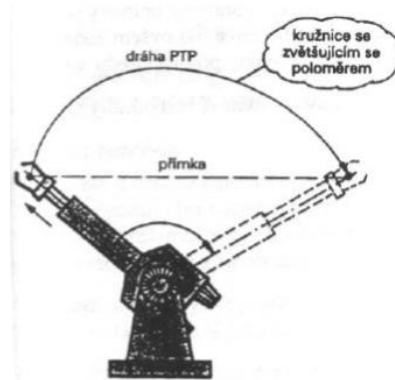
Pneumatický člen je levný a relativně jednoduchý. Díky možné stlačitelnosti média však vznikají nepřesnosti v řízení tohoto členu. Není jej tedy možné použít u zařízení s požadavkem vysoké přesnosti.[2]

1.7 Řízení robotů

Řízení a regulace pohybu je naukou o požadovaném pohybu. Za tímto účelem používáme dynamiku a kinematiku robota pro určení pohybu. Nezanedbatelnou součástí jsou problémy nalezení optimálních zobecnění sil pro optimální pohybové chování robota.

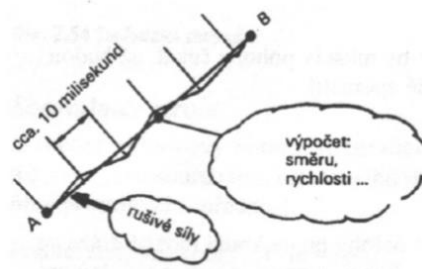
Metody řízení robotů můžeme rozdělit na roboty řízené pomocí servopohonů a bez servopohonů. Roboty se servopohonem používají číslicové řízení k určení jejich pohybového stavu a mohou být tedy plně multifunkčním programovatelným zařízením. Nejjednodušším typem robota se servopohony je tzv. typ **Point-to-point** (z bodu do bodu),

kterému zadáme řídicí body, a on pak přemístí efektor do požadovaného bodu po nejkratší možné dráze ve všech osách. Tento pohyb má nepatrné nároky na řízení, může však dojít k nepředvídatelným pohybům a tím i ke kolizím například s ramenem jiného robotu, proto se tato metoda využívá, pouze pokud je v okolí robotu dostatek volného místa.



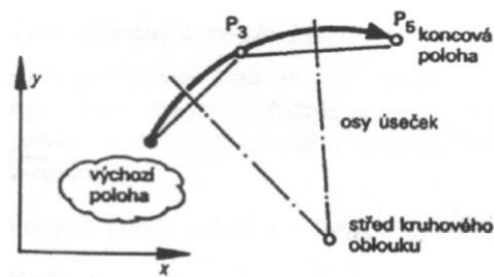
Obr. 6: Metoda Point-to-point[3]

Další používanou metodou je lineární interpolace. Jedná se o obdobné propojení řídicích bodů, avšak na rozdíl od PTP metody zde hraje roli i trajektorie efektoru při přesunu mezi body. Hodnoty poloh však nejsou uloženy v paměti, ale řídicí systém propočítává každých 5-10 milisekund nové hodnoty pro další polohu. Těto metody se používá například u lepení, či jednodušším svařování.



Obr. 7: Metoda lineární interpolace[3]

Další obdobnou metodou je kruhová interpolace. Avšak na rozdíl od interpolace lineární, zde je zapotřebí kromě počátečního a koncového řídicího bodu znát také bod, který leží na kruhovém oblouku, nebo polohu středu oblouku. Řídicí systém pak dopočítá zbylé potřebné informace a v závislosti na požadované přesnosti rozdělí oblouk na velký počet přímek.



Obr. 8: Kruhová interpolace[3]

1.7.1 Metody programování robotů

1.7.1.1 Ruční programování

Robot je řízen pomocí ručně zadávaných hodnot souřadnic a posloupností pohybů, nejčastěji zadaných pomocí příkazů na klávesnici.[3]

1.7.1.2 Metoda teach-in

Řídicí systém snímá průběh dráhy při najíždění do jednotlivých geometrických bodů a jejich souřadnice ukládá do paměti. Těto metody se užívá například pro bodové svařování, nebo pro jednodušší transportní operace.[3]

1.7.1.3 Metoda play-back

U metody play-back, neboli opakování záznamu řídicí jednotka snímá průběh dráhy a rychlosti pohybu a tyto informace automaticky ukládá v určitých intervalech do své paměti. Tato metoda se používá pro složité pohyby s požadavkem na vysokou přesnost, jako je například svařování, lakování nebo čištění odlitků.[3]

1.7.1.4 Textové programování

Popis pohybů, či sekvence příkazů se vyjadřují pomocí speciálního programovacího jazyka. Konkrétní souřadnice mohou být zadány ručně, nebo i metodou teach-in.[3]

Příklady programovacích jazyků:

- BOSCH – jazyk BAPS
- SIEMENS – jazyk SRCL
- ABB – jazyk ARLA

1.8 Použití robotů

Pokud jde o charakteristiku uspořádání, většina ramen průmyslových robotů má antropomorfní konstrukci, mají tedy rameno (první dva klouby), loket (třetí kloub) a zápěstí (poslední tři klouby). Díky těmto šesti kloubům, z nichž každý přidává soustavě jeden stupeň volnosti, má tedy soustava šest stupňů volnosti potřebných k tomu položit manipulovaný objekt do libovolné polohy a s libovolnou orientací. U komerčních sériových robotů obvykle preferujeme rotační klouby, jelikož jsou v porovnání s kloubem translačním levnější a také poskytují širší pohotovostní prostor při stejném objemu robota. U sériových robotů také klademe podmínku, že musí být výrazně těžší než manipulovaný objekt. Poměr užitečné zátěže versus váhy robota je menší než 1:10. Váha robotů je tak vysoká z důvodu požadavku na tuhost článků, neboť články ramene musí být dostatečně tuhé, aby pracovaly s požadovanou přesností. Bez ohledu na velikost však můžeme roboty rozlišit, podle jejich aplikace, na montážní a nemontážní.

V průmyslu je však rozdělujeme podle aplikace na:

- Nakladače
- Roboty Pick-and-place
- Svařovací roboty
- Montážní roboty
- Kontrolní roboty
- Roboty pro odběr vzorků (vozítko Curiosity)
- Výrobní roboty
- Biomedicinské roboty
- Mobilní dálkově řízené roboty (pyrotechnický robot)
- Teleroboty (roboty řízené na dálku operátorem)



Obr. 9: Příklad použití robotů

2 KINEMATIKA A DYNAMIKA ROBOTŮ

2.1 Úvod

Kinematika je část vědy zabývající se pohybem bez ohledu na to co jej způsobilo. Pod pojmem pohyb si můžeme představit jakékoliv přemístění zahrnující změnu polohy a orientace. V kinematice uvažujeme dva typy problémů a to buď přímý anebo inverzní. **Přímý kinematický problém** nastává tehdy, pokud jsou známá data pro kloubové souřadnice a ty jsou poté použita pro nalezení souřadnic v Kartézské soustavě. Naopak **inverzní kinematický problém** nastává v případě, že jsou známa data pro koncový efektor v Kartézské soustavě a je potřeba nalézt kinematická data pro jednotlivé kloubové souřadnice. Tento typ problému je obvykle nelineární a také mnohem náročnější na řešení než problém přímý.

Pojmem **polohování** nazýváme přenesení koncového efektoru do libovolného bodu v pohotovostním prostoru a jde o pohyb ramene, zatímco pojmem **orientace** nazýváme pohyb koncového efektoru do požadované orientace a jde o pohyb zápěstí.

Obecně je téměř každý kinematický problém interpretovatelný jako sčítání vektorů, nicméně každý vektor ve vektorové rovnici musí být transformován a vyjádřen ve společné souřadnicové soustavě.

Na rozdíl od kinematiky, dynamika se zabývá systémy, které jsou podrobeny změnám stavu v čase. V mechanických systémech jako jsou roboty, změny stavu zahrnují pohyb. Hlavním členem dynamické analýzy systému je pak odvození pohybových rovnic systému, podstatných pro návrh, analýzu a řízení systémů.

Podobně jako v kinematice, i v dynamice můžeme rozlišit pojmy jako **přímý dynamický problém** a **inverzní dynamický problém**. V přímém dynamickém problému bychom měli určit pohyb robota při daných počátečních podmínkách a momentech v aktivních kloubech. V inverzním dynamickém problému bychom měli vypočítat síly a momenty potřebné pro generování požadované trajektorie pro danou množinu poloh, rychlostí a zrychlení.

Problém řízení robota lze charakterizovat jako požadovaný pohyb koncového efektoru. Požadovaný pohyb je specifikován jako trajektorie v kartézské soustavě souřadnic, zatímco řídicí systém vyžaduje požadované hodnoty v kloubových souřadnicích.

2.2 Typy kinematických struktur

2.2.1 Sériová kinematická struktura

Sériová kinematická struktura patří mezi nejčastěji používané struktury. Toto provedení se vyskytuje až u 90% všech robotů a manipulátorů. Rotační a translační kinematické dvojice se zde řadí sériově (za sebou), čímž však může nastat problém nedostatečné tuhosti struktury vlivem statického i dynamického kmitání, které má za následek celkové snížení přesnosti polohování. V důsledku sériového řazení také dochází k sumaci chyb vzniklých na jednotlivých kinematických dvojicích, což může významně ovlivnit přesnost koncového členu robota.



Obr. 10: Sériová kinematická struktura

2.2.2 Paralelní kinematická struktura

V této struktuře jsou členy řazeny paralelně (vedle sebe). To má za následek zvýšení přesnosti polohování a také vyšší tuhost struktury. Konstrukčně je možné provést tři (tripod),

Nebo až šesti (hexapod) vzpěrnou strukturu, přičemž jednotlivé vzpěry mohou být shodného výrobního provedení. Tím se sníží cena výroby robotu. U paralelní struktury je však vyšší riziko vzniku kolize vzpěr, je tedy potřeba klást vyšší nároky na řídicí systém.

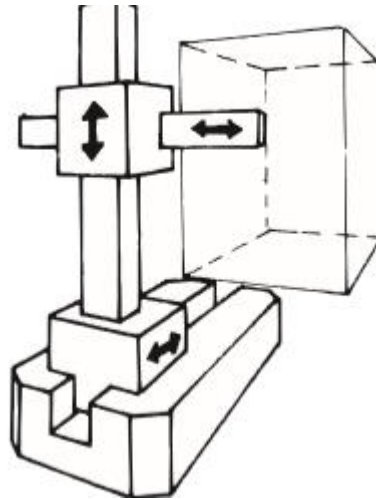


Obr. 11: Paralelní kinematická struktura

2.3 Typy kinematických konstrukcí

2.3.1 Kartézská kinematická konstrukce

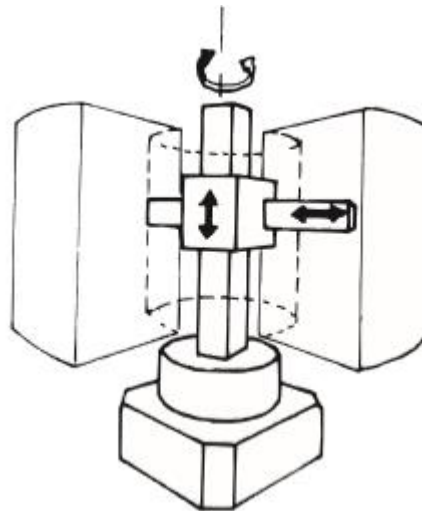
Kartézská konstrukce se skládá ze tří translačních a na sebe kolmých pohybů, kinematický popis pohybu manipulátoru je tak nejjednodušší ze všech používaných typů. Při pohybu nedochází ke změně orientace objektu. Pracovním prostorem této struktury je hranol a přesnost pohybu je stejná v celém pracovním prostoru. Nevýhodou je však velká prostorová náročnost. Používá se například u montážních stolů, nebo jako portálový robot pro manipulaci s nákladem.



Obr. 12: Kartézská kinematická konstrukce

2.3.2 Cylindrická kinematická konstrukce

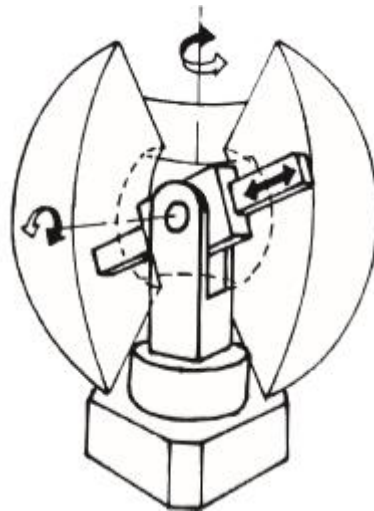
Cylindrická konstrukce se používá obvykle pro roboty se střední zátěží efektoru. Pohyb této konstrukce je složen z jednoho rotačního a dvou translačních pohybů. Pracovním prostorem je válec (cylindr) a polohu efektoru tak zapisujeme v souřadnicích cylindrických.



Obr. 13: Cylindrická kinematická konstrukce

2.3.3 Sférická kinematická konstrukce

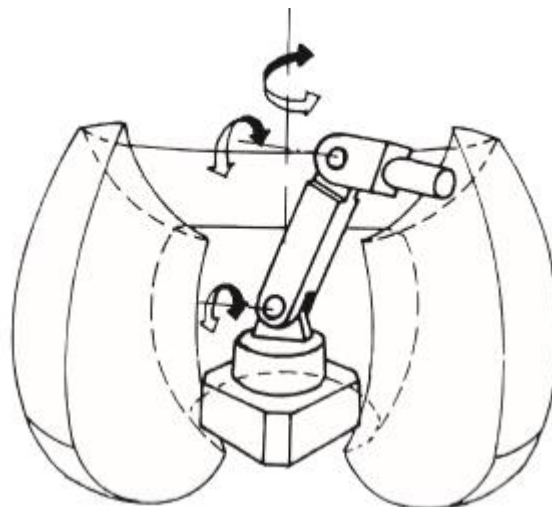
Sférická konstrukce obsahuje dva prvky rotační a jeden translační. Vzhledem k tomu, že pracovní prostor má tvar koule, udáváme polohu v souřadnicích sférických. Nejznámějším zástupcem této konstrukce tzv. Stanfordské rameno.



Obr. 14: Sférická kinematická konstrukce

2.3.4 Angulární kinematická konstrukce

Tato konstrukce obsahuje tři prvky rotace. Díky dobrým dynamickým vlastnostem a minimální zastavěné ploše patří v praxi mezi nejpoužívanější systém. Nevýhodou je nepřesnost narůstající s délkou rotačních ramen.



Obr. 15: Angulární kinematická konstrukce

2.4 Souřadnicový systém

V robotice přiřazujeme každé části robota i každému objektu v jeho okolí jednu, či více souřadných soustav a komunikace mezi těmito soustavami nazýváme jako transformaci

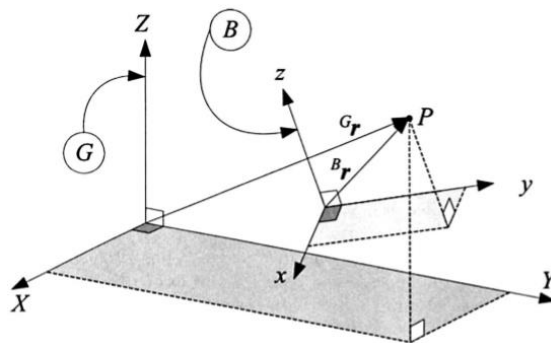
referenčních systémů. Úhel pohybu tuhého tělesa jedním z několika způsobů. Mezi nejčastější patří tyto tři způsoby:

1. Množina rotací v globálně pevném pravotočivém kartézském souřadném způsobu.
2. Množina rotací v pohyblivém pravotočivém kartézském souřadném způsobu.
3. Úhlové pootočení okolo pevné osy v prostoru.

Pevným referenčním systémem nazýváme nepohyblivý systém souřadnic spojený s rámem. Pohyb robotu se pak uskutečňuje v pevném referenčním systému zvaném globální referenční systém.

Pokud se referenční systém pohybuje, nazýváme jej lokálním referenčním systémem. Polohu a orientaci jednotlivého článku pak popisujeme jako polohu a orientaci jeho lokálního referenčního systému v globálním referenčním systému. Jestliže provádíme analýzu robotu, pak umístíme globální referenční systém na rám tohoto robotu a lokální referenční systém pak spojíme s každým jednotlivým článkem.

Musíme však rozlišit mezi souřadnicovým systémem a referenčním systémem. Souřadnicový systém nám určuje způsob, jak zapisujeme pohyb v každém vztažném systému. Nejčastěji používaným souřadnicovým systémem je systém kartézský. Podle potřeby se však používají i systémy jiné, jako například systém cylindrický, sférický a další.



Obr. 16: Globální a lokální souřadnicový systém

Poloha bodu P na tělese B je určena vektorem \vec{r} . Dle obr. 16 může být poloha bodu popsána následujícími způsoby:

V Globálním souřadném systému G

$$G\vec{r} = X\hat{I} + Y\hat{J} + Z\hat{K} \quad (1)$$

Nebo lokálním systému tělesa B

$$B\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k} \quad (2)$$

Uspořádaná reálná čísla (X, Y, Z) a (x, y, z) pak nazýváme souřadnicemi bodu P v globálním nebo lokálním systému. Avšak z matematického hlediska je vhodnější zapisovat vektory $G\vec{r}$ a $B\vec{r}$ jako vertikální pole souřadnic.

$$G\vec{r} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}; B\vec{r} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3)$$

Souřadnicový systém je definován jako množina básových vektorů, jako jsou jednotkové vektory ve všech třech souřadnicových osách. Tedy matice rotace jako transformace souřadnic může být rovněž chápána, jako definování změn těchto básových vektorů z jedné souřadné soustavy do druhé.

Otáčení tuhého tělesa můžeme popsat maticí rotace R, Eulerovými úhly, pravidlem úhlů os a kvaterniony, každý z těchto popisů má své výhody, ale i nevýhody.

2.4.1 Matice rotace R

Výhodou matice rotace R je možnost přímé interpretace do změny básových vektorů. Její nevýhodou je, že si musíme pamatovat 9 závislých parametrů. Fyzikální význam jednotlivých čísel se ztrácí, význam má jen matice jako celek.

2.4.2 Eulerovy úhly

Jsou definovány jako tři postupné rotace okolo tří os lokálního či globálního souřadného systému. Rotace je tedy popsána třemi vzájemně nezávislými parametry, při násobném otáčení však vznikají komplikace.

2.4.3 Pravidlo úhlů os

Patří mezi nejintuitivnější způsoby rotace. Vyžaduje však zapamatování čtyř parametrů pro jednu rotaci. Není však vhodné pro malé rotace.

2.4.4 Kvaterniony

Popis rotace pomocí kvaternionů je výhodný, protože si zachovává intuitivnost předchozí metody, ale je použitelný i pro malé rotace nebo rotace násobné. Stejně jako u předchozí metody však také potřebujeme čtyři parametry pro vyjádření rotace.

2.5 Vektorové funkce

Vektory jsou základním kamenem studia kinematiky i dynamiky. Pomocí nich můžeme vyjádřit polohu, rychlost, zrychlení, hybnost, sílu i moment. Vektory také určují polohu bodu vzhledem k známé referenci. K určení vektoru potřebujeme tři parametry, a sice velikost, směr a počátek souřadné soustavy souřadnic.

2.6 Kinematika rotace

2.6.1 Rotace okolo os globální soustavy souřadnic

Mějme tuhé těleso B, jehož lokální soustava O_{xyz} svým počátkem splývá s globální soustavou souřadnic O_{XYZ} . Bod O je pevně spojen se soustavou G a je to zároveň počátek obou souřadných soustav. Jestliže se tuhé těleso B otočí o α stupňů okolo osy Z globálního systému, pak souřadnice libovolného bodu P tuhého tělesa v lokální a globální soustavě souřadnic jsou vázány následujícími rovnicemi:

$$G\vec{r} = Q_{Z,\alpha} \cdot B\vec{r} \quad (4)$$

kde

$$G\vec{r} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}; B\vec{r} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (5)$$

a

$$Q_{X,\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

podobně je tomu i u otáčení o β stupňů okolo osy Y, či γ stupňů okolo osy X globálního systému:

$$G\vec{r} = Q_{Y,\beta} \cdot B\vec{r} \quad (7)$$

$$G\vec{r} = Q_{X,\gamma} \cdot B\vec{r} \quad (8)$$

$$Q_{Y,\beta} = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Q_{Z,\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (10)$$

Matice rotací $Q_{Z,\alpha}$, $Q_{Y,\beta}$ a $Q_{X,\gamma}$ nazýváme **základní globální matice rotace**.

2.6.2 Rotace okolo lokálních kartézských souřadnic

Mějme tuhé těleso B, které má souřadný systém v počátku O. Lokální souřadný systém B (Oxyz) splývá s globálním souřadným systémem B(OXYZ), a počáteční bod obou těchto systémů je v pevném bodě O. Pokud těleso B podrobíme rotaci φ okolo osy z jeho lokálního systému, pak souřadnice libovolného bodu tohoto pevného tělesa v lokálním i globálním souřadném systému jsou vázány následujícím vztahem:

$$B\vec{r} = A_{Z,\varphi} \cdot G\vec{r} \quad (11)$$

kde

$$G\vec{r} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}; B\vec{r} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (12)$$

a

$$A_{z,\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

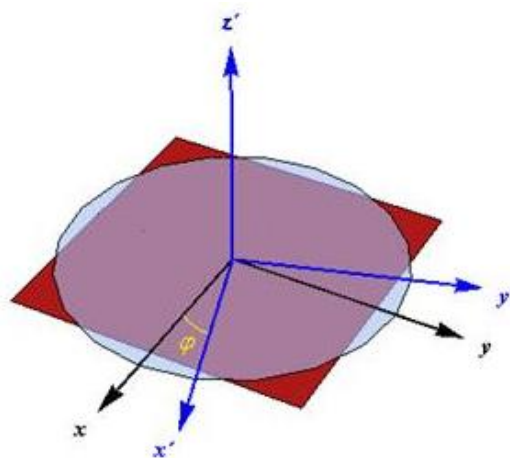
Podobně pak rotace o θ stupňů okolo osy y a rotace o ψ okolo osy x můžeme popsat maticemi:

$$A_{y,\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (14)$$

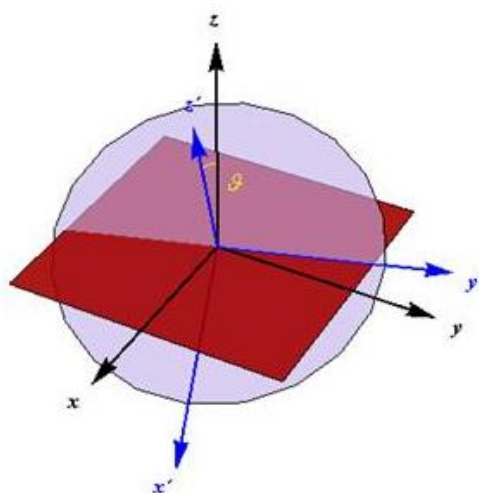
$$A_{z,\psi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & \sin \psi \\ 0 & -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (15)$$

2.6.3 Eulerovy úhly

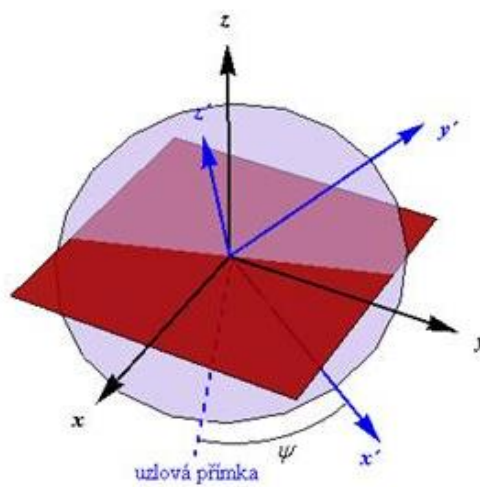
Rotaci okolo osy Z globálního souřadného systému nazýváme precese, rotaci okolo lokální osy X nazýváme nutace a rotaci okolo lokální osy Z nazýváme spin. Úhly precese, nutace a spinu pak nazýváme Eulerovými úhly. Matice rotace Eulerových úhlů má mnoho aplikací v kinetice tuhého tělesa. Pokud hledáme matici rotace Eulerových úhlů u přechodu z globální soustavy souřadnic $G(O_{XYZ})$ do konečné lokální soustavy $B(O_{xyz})$, používáme souřadnou soustavu $B'(O_{x'y'z'})$ která je před první rotací shodná s globální soustavou souřadnic.



Obr. 17: Precese [4]



Obr. 18: Nutace [4]



Obr. 19: Spin [4]

Nejprve tedy provedeme rotaci o úhel φ okolo osy z' . Jelikož osa Z a osa z' zprvu splývají, matice tedy bude:

$$B'\vec{r} = B'A_G \cdot G\vec{r} \quad (16)$$

$$B'A_G = A_{z,\varphi} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Uvažujme dále soustavu $B'(O_{x'y'z'})$ jako novou pevnou globální soustavu a zavedme novou souřadnou soustavu tělesa $B''(O_{x''y''z''})$. Před druhou rotací obě soustavy splývají. Pak tedy provedeme rotaci o úhel θ okolo osy x'' . Transformace mezi $B'(O_{x'y'z'})$ pak bude:

$$B''\vec{r} = B''A_{B'} \cdot B'\vec{r} \quad (18)$$

$$B''A_{B'} = A_{x,\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (19)$$

Nakonec tedy uvažujme souřadný systém $B''(O_{x''y''z''})$ jako novou pevnou globální soustavu a zavedme novou souřadnou soustavu tělesa $B(O_{xyz})$. Před poslední rotací opět obě souřadné soustavy splývají. Pak provedeme rotaci o úhel ψ okolo osy z'' . Transformace mezi $B''(O_{x''y''z''})$ a $B(O_{xyz})$ pak bude:

$$B\vec{r} = B''A_{B''} \cdot B''\vec{r} \quad (20)$$

$$B''A_{B''} = A_{z,\psi} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Po složení všech tří rotací pak výsledná transformace ze soustavy $G(O_{XYZ})$ do $B(O_{xyz})$ bude:

$$B\vec{r} = BA_G \cdot G\vec{r} \quad (22)$$

$$\begin{aligned}
 BA_G &= A_{z,\psi} \cdot A_{x,\theta} \cdot A_{z,\varphi} = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi & \cos \psi \sin \varphi + \sin \psi \cos \theta \cos \varphi & \sin \psi \sin \theta \\ -\sin \psi \cos \varphi - \cos \psi \sin \theta \cos \varphi & -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi & \cos \psi \sin \theta \\ \sin \theta \sin \varphi & -\cos \theta \sin \varphi & \cos \theta \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{23}$$

Matrice rotace precese, nutace a spinu pak tedy bude:

$$\begin{aligned}
 BA_G^{-1} &= BA_G^T = GQ_B = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi & \cos \psi \sin \varphi + \sin \psi \cos \theta \cos \varphi & \sin \psi \sin \theta \\ -\sin \psi \cos \varphi - \cos \psi \sin \theta \cos \varphi & -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi & \cos \psi \sin \theta \\ \sin \theta \sin \varphi & -\cos \theta \sin \varphi & \cos \theta \end{bmatrix}^{-1} = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi & \cos \psi \sin \varphi + \sin \psi \cos \theta \cos \varphi & \sin \psi \sin \theta \\ -\sin \psi \cos \varphi - \cos \psi \sin \theta \cos \varphi & -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi & \cos \psi \sin \theta \\ \sin \theta \sin \varphi & -\cos \theta \sin \varphi & \cos \theta \end{bmatrix}^T = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi & -\sin \psi \cos \varphi - \cos \psi \sin \theta \cos \varphi & \sin \theta \sin \varphi \\ \cos \psi \sin \varphi + \sin \psi \cos \theta \cos \varphi & -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi & -\cos \theta \sin \varphi \\ \sin \psi \sin \varphi & \cos \psi \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{24}$$

Máme-li úhly precese, nutace a spinu, můžeme pomocí matice BA_G spočítat matici celkové rotace. Také můžeme z matice rotace vypočítat úhly precese, nutace a spinu. Pokud je r_{ij} element matice rotace precese, nutace a spinu v i -tém řádku a j -tém sloupci, pak platí že:

$$\theta = \cos^{-1}(r_{33}) \tag{25}$$

$$\varphi = -\tan^{-1}\left(\frac{r_{31}}{r_{32}}\right) \tag{26}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{r_{13}}{r_{23}} \right) \quad (27)$$

Za předpokladu že $\sin(\theta) \neq 0$

2.6.4 Obecná transformace

Uvažujme všeobecnou situaci, při které jsou využity dva souřadné systémy $G(O_{XYZ})$ a $B(O_{xyz})$ se společným počátkem O k vyjádření složek vektoru \vec{r} . Existuje stále transformační matice GR_B popisující převod složek vektoru \vec{r} z referenční soustavy $B(O_{xyz})$ do soustavy $G(O_{XYZ})$.

$$G\vec{r} = GR_B \cdot B\vec{r} \quad (28)$$

Také může být určena inverzní transformace:

$$B\vec{r} = (GR_B)^{-1} \cdot G\vec{r} = BR_G \cdot G\vec{r} \quad (29)$$

Kde $|GR_B| = |BR_G| = 1$ (30)

a $BR_G = (GR_B)^{-1} = (GR_B)^T$ (31)

Transformační matice R má pouze tři nezávislé prvky. Omezující rovnice pro tyto prvky vyplývají z ortogonality této matice:

$$BR_G \cdot (BR_G)^{-1} = BR_G \cdot (BR_G)^T = I \Rightarrow \quad (32)$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2 = 1 \quad ; \quad r_{11}r_{21} + r_{12}r_{22} + r_{13}r_{23} = 0$$

$$r_{21}^2 + r_{22}^2 + r_{23}^2 = 1 \quad ; \quad r_{11}r_{31} + r_{12}r_{32} + r_{13}r_{33} = 0$$

$$r_{31}^2 + r_{32}^2 + r_{33}^2 = 1 \quad ; \quad r_{21}r_{31} + r_{22}r_{32} + r_{23}r_{33} = 0$$

3 STAVEBNICOVÉ SYSTÉMY

3.1 Úvod

Stavebnicovým (modulárním) systémem můžeme nazvat každý systém, který je tvořen jednotlivými prefabrikovanými díly (moduly). Tyto díly jsou rozměrově unifikované a po jejich seskládání a smontování vzniká požadovaná sestava. Stavebnicové systémy mají širokou škálu použití od stavebnictví (mobilní vojenské základny, modulární obytné domy) až po stavebnice pro děti (LEGO, Merkur). Strojařské stavebnicové systémy se začaly používat v počátku hlavně pro stavbu zábran a doplňkových modulů. V současné době se používají pro stavbu strojů a strojních zařízení. Těmito systémy se začíná zabývat stále více výrobců, čímž se zlepšuje flexibilita stavebnicových systémů.

3.2 Výhody a nevýhody stavebnicového systému

Stavebnicový systém umožňuje řešit všechny systémy, které splňují kritéria modulárnosti. Obvykle základní ortogonální koncepce stroje a navazujících prvků. V případě tvarově nepravidelných součástí lze použít modulární systém pouze částečně, nebo je takový systém nevhodný. Většina stavebnicových systémů je postavena na principu hliníkových profilů, spojovaných pomocí šroubových spojů. V případě zvýšených nároků lze použít i profily ocelové, čímž se zvýší tuhost a pevnost konstrukce, v některých případech je toto řešení i levnější. Z ekonomického hlediska je u stavebnicových systémů výhodná kratší výrobní doba výrobku. Výrobce také zaručuje celou řadu parametrů, například pevnost či přímot profilů, čímž zjednodušuje práci konstruktérům.

3.3 Výrobci stavebnicových systémů

3.3.1 Haberkorn, stavebnicový systém ITEM

Stavebnicové systémy firmy Haberkorn jsou založeny především na principu hliníkových profilů, avšak kromě nich obsahuje také systém celou řadu vedlejších prvků. Kromě základních profilů zde můžeme nalézt také kotevní a upínací prvky, madla a zámky, plošné výplně či různé dynamické prvky jako lineární vedení, pojezdové kolejničky nebo řetězové a řemenové pohony. Prvky systému ITEM 7 byly použity při konstrukci navrženého manipulátoru.



Obr. 20: Haberkorn

3.3.2 Alutec

Společnost Alutec K&K a.s. působí v České republice od roku 1994. Začala jako dovozce hliníkového konstrukčního systému Alutec. Od té doby došlo ke kvalitativnímu vývoji firmy, kdy se z pouhého dovozce stal plnohodnotný partner několika italských společností zabývajících se výrobou a vývojem Al systémů. Systém Alutec se skládá z profilů modulu 30 (drážka 6) a modulu 40, 45 (drážka 8 a 10), které jsou kompatibilní k jiným systémům, jež jsou v současné době na trhu. Dále obsahuje široký sortiment příslušenství, který umožňuje komplexní řešení při realizaci zadaných úkolů.[9]

4 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část shrnuje současné poznatky z oblasti robotiky. Jsou rozebrány základní kinematické rovnice určující pohyb robotů, na základě nichž se počítá kinematika robotů. Pro lepší pochopení činnosti robotů je vždy lepší pracovat s reálným strojem než pouhé teoretické počítání. Skutečné roboty, které se používají v průmyslu, však mohou být vzhledem ke svému výkonu pro začátečnickou obsluhu nebezpečné. Další jejich nevýhodou je poměrně vysoká pořizovací cena a nemalé náklady na údržbu. Z tohoto pohledu se jeví jako výhodnější použít pro výuku studentů robotiky jednoduché manipulátory a roboty s malým výkonem, který nemůže ohrozit bezpečnost a samozřejmě i s podstatně nižšími pořizovacími a provozními náklady. Další nevýhodou komerčně dodávaných průmyslových robotů je z pohledu studenta jejich uzavřenost. Student nemá možnost podrobně se seznámit s jejich vnitřní konstrukcí, a když, tak většinou pouze v teoretické rovině na základě technických podkladů. Praktická část navrhuje proto jednoduchý manipulátor se třemi stupni volnosti, kde většina mechanismů bude přímo přístupná a dovolí tak lépe pochopit chování navrženého mechanismu při reálném řízení. Současně použité pohony svým výkonem nemohou ohrozit bezpečnost při výuce, ale principiálně plně postačují k pochopení probíraného tématu.

II PRAKTICKÁ ČÁST

5 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

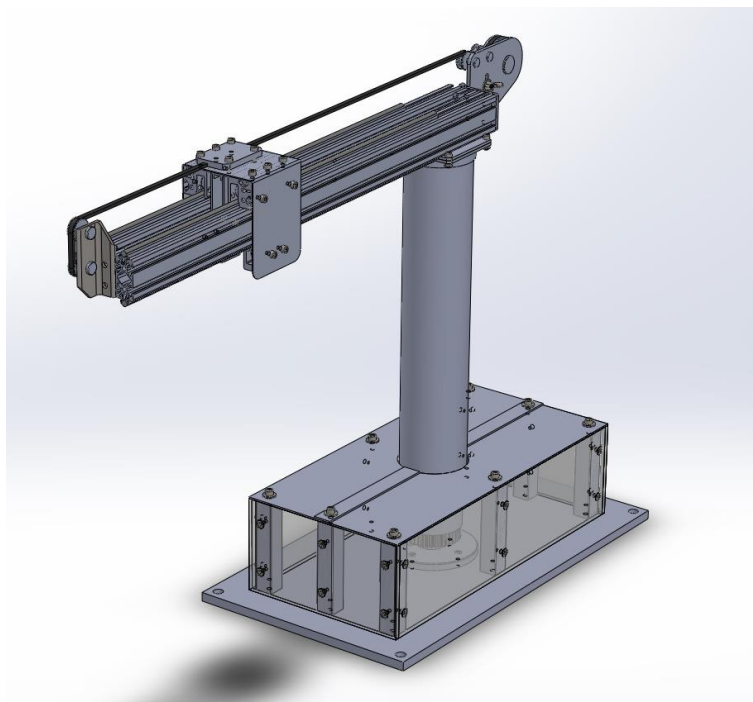
Cílem je navržení manipulátoru, nenáročného na výrobu a použitelného ve školních podmínkách pro výuku robotiky a programování robotů, a zhotovení výkresové dokumentace. V úvodu praktické části jsou porovnány možnosti kinematického uspořádání manipulátoru. Po zvážení všech kritérií byla vybrána nejvhodnější varianta, rozpracována do 3D modelu a až na úroveň výrobní výkresové dokumentace. Z 3D modelu byly odečteny technické parametry důležité pro řízení robotů.

6 NÁVRH MANIPULÁTORU

6.1 Konstrukce manipulátoru

Navrhovaná konstrukce manipulátoru je řešena na principu lanového jeřábu, pracujícího v soustavě cylindrických souřadnic. Toto konstrukční provedení zajišťuje volnost pohybu břemena ve třech stupních volnosti. Břemeno je zvedáno pomocí lana, které je přes kladky navijeno navijákem, jenž je poháněn motorem. Sloup manipulátoru je uložen otočně a je vybaven bezpečnostním prvkem proti překroucení napájecího kabelu, která umožňuje otočení až o 1020° . Pojezd ve vodorovném směru zajišťuje vozík na principu jeřábové kočky, který se pohybuje na rameni manipulátoru po kolejnicovém závěsu.

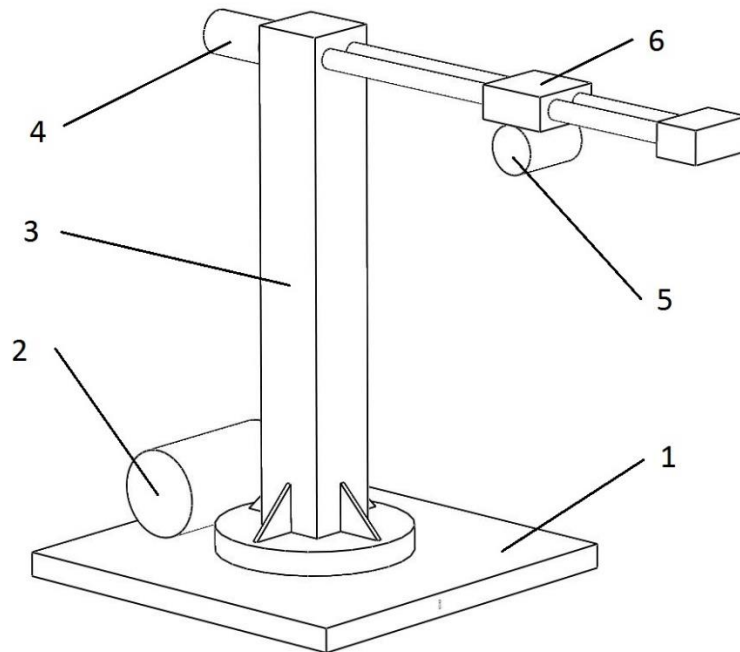
Výhodou této konstrukce je její jednoduchost a dobrá rozebíratelnost. Další výhodou je také to, že je manipulátor sestaven ze snadno dostupných dílů a je možné jej tedy zkonstruovat i ve školní dílně.



Obr. 21: Navržený manipulátor

6.2 Návrh variant a výběr optimální varianty

6.2.1 Varianta A

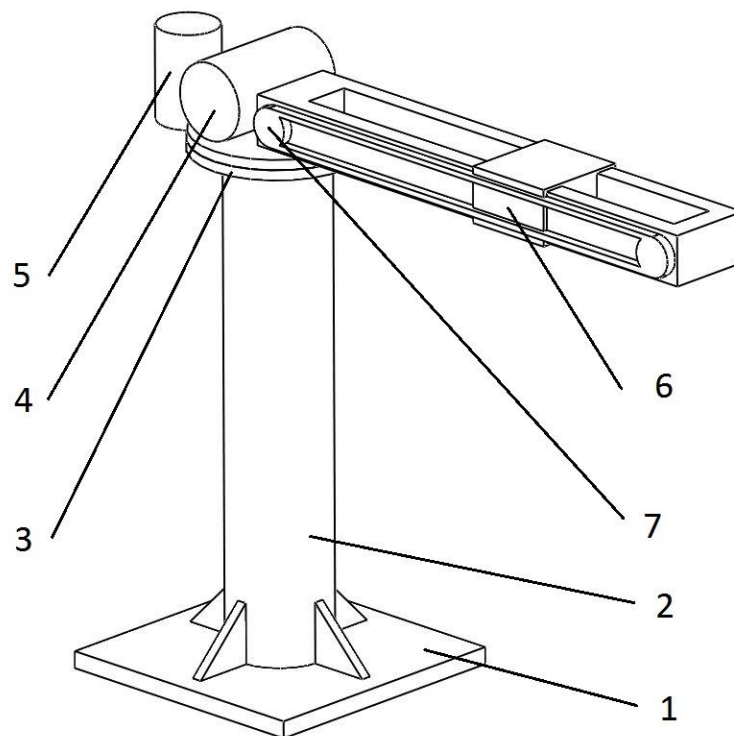


Obr. 22: Varianta A

1-základna manipulátoru, 2-motor rotace kolem svislé osy, 3-sloup, 4- motor lineárního vedení, 5-lanový naviják, 6- jeřábová kočka

Varianta A se vyznačuje tím, že sloup (3) manipulátoru je pevně spojen s horizontálním ramenem a spolu s ním se otáčí kolem vertikální osy. Pohon tohoto pohybu je umístěn na základně (1) manipulátoru. Toto řešení je výhodné v tom, že konstrukce není namáhána hmotností motoru (2). Lanový naviják je připevněn k jeřábové kočce (6) a společně s ní se také pohybuje. Jeřábová kočka je naváděna lineárním vedením za pomoci kuličkového šroubu, poháněného motorem (4) na konci ramene, který zároveň působí jako protizávaží.

6.2.2 Varianta B

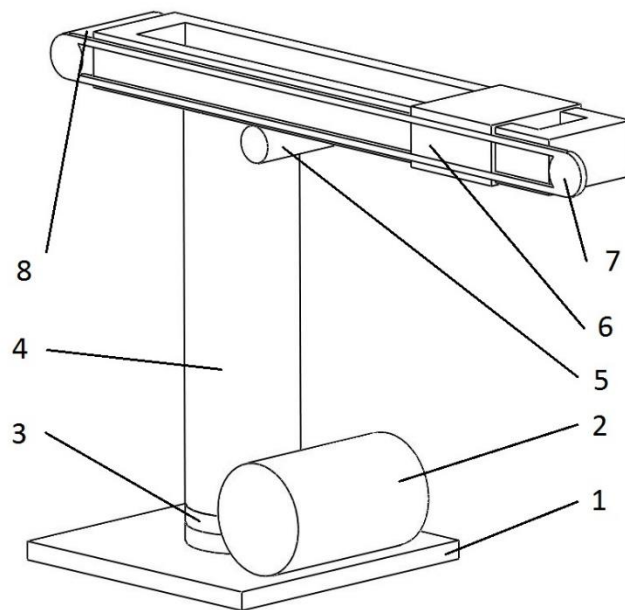


Obr. 23: Varianta B

1-základna manipulátoru, 2-sloup, 3-rotační kloub, 4-lanový naviják, 5-motor rotace kolem svislé osy, 6-jeřábová kočka, 7-řemenový pohon

Na rozdíl od předchozí varianty má varianta B motor otáčení (5) a rotační kloub (3) umístěn na horní části sloupu (2), který je pevně připojen k základně manipulátoru (1). Jeřábová kočka (6) je zde uváděna do pohybu pomocí řemenového pohonu (7), břemeno je pak zvedáno lanovým navijákem (4).

6.2.3 Varianta C



Obr. 24: Varianta C

1-základna manipulátoru, 2-motor rotace kolem svislé osy, 3-rotační kloub, 4-sloup, 5-lanový naviják, 6-jeřábová kočka, 7-řemenový pohon, 8-motor řemenového pohonu

U varianty C leží motor otáčení (2) na základně manipulátoru (1). Tím došlo ke snížení těžiště celého manipulátoru a k zvýšení jeho stability. Sloup (4) se na rotačním kloubu (3) otáčí kolem vertikální osy a je pevně spojen s horizontálním ramenem. Na tomto rameni se pohybuje jeřábová kočka (6) poháněná přes řemen (7) motorem (8). Břemeno je pak zvedáno lanovým navijákem (5).

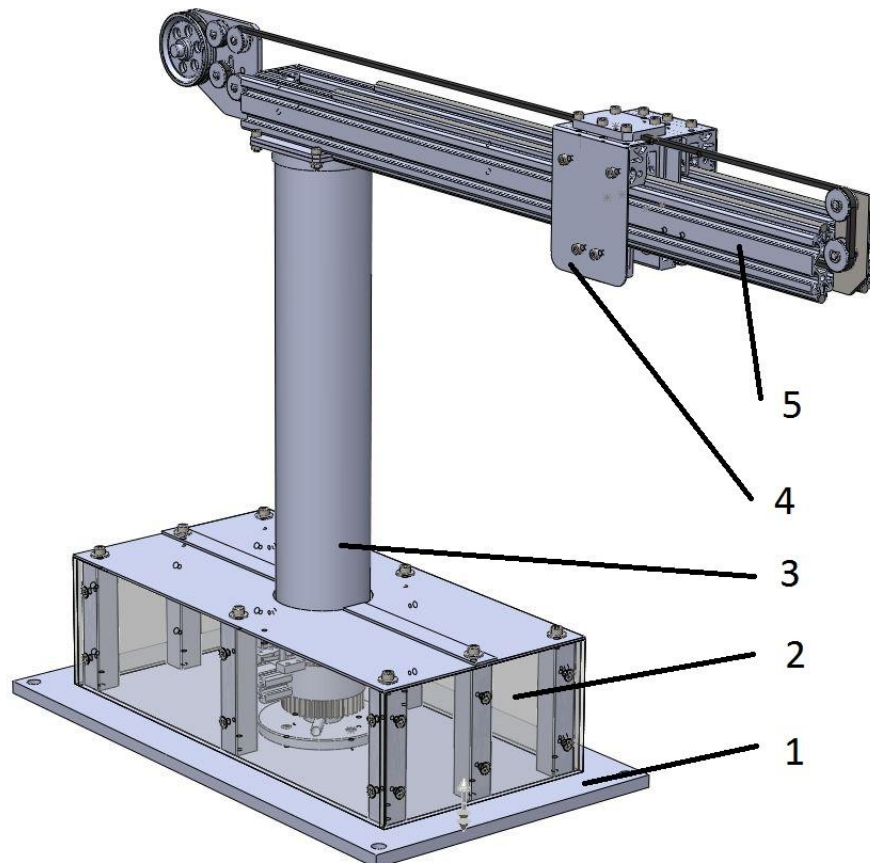
6.2.4 Výběr optimální varianty

Jako optimální řešení byla zvolena varianta C. Motor rotace kolem svislé osy a rotační kloub by v horní části sloupu představovaly nadbytečnou zátěž, je proto vhodnější je umístit přímo na základnu manipulátoru, čímž se významně zvýší i stabilita celého manipulátoru. Vzhledem k tomu, že manipulátor bude sloužit v první řadě jako školní model, byl jako pohon jeřábové kočky upřednostněn řemenový pohon před lineárním vedením kuličkovým šroubem díky jeho nízkým pořizovacím a provozním nákladům a také díky jeho snadné údržbě. U tohoto typu pohonu však může nastat problém s přesností, kvůli pružnosti použitého řemenu.

7 KONSTRUKCE MANIPULÁTORU

Finální konstrukce vychází ze zvolené varianty C. Dále jsou popsány jednotlivé prvky manipulátoru

7.1 Prvky manipulátoru



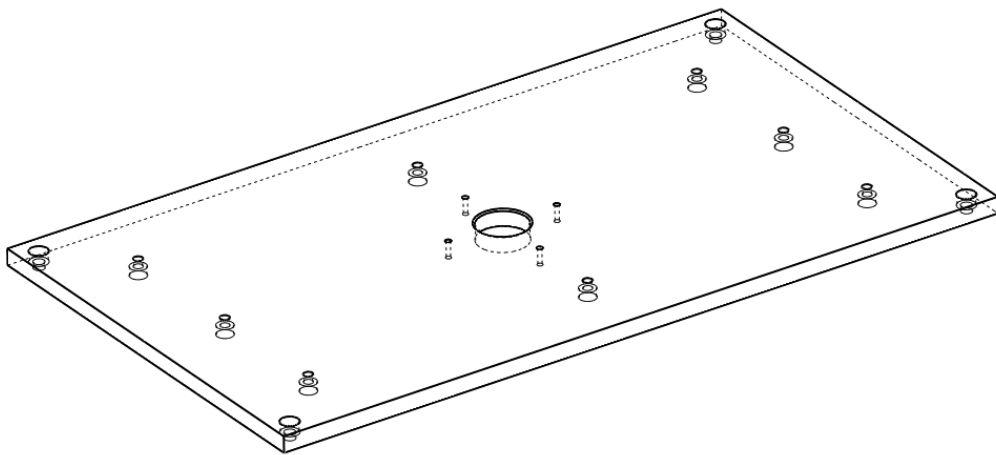
Obr. 25: Celková sestava manipulátoru

1-základna, 2-kryt, 3-sloup, 4-kočka, 5-rameno

Celková sestava manipulátoru se skládá z pěti podsestav. Základny (1), krytu (2), sloupu (3), jeřábové kočky (4) a ramene (5). Tyto podsestavy se pak skládají z dalších dílů, kterým se budeme věnovat u popisů jednotlivých sestav.

7.1.1 Základna

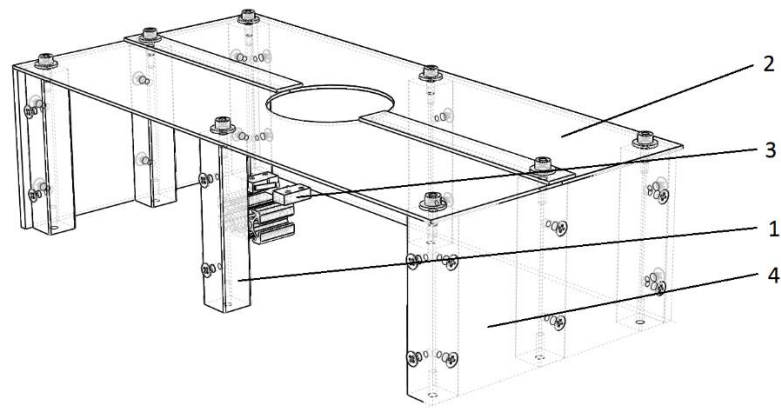
Základna, nebo také základní deska manipulátoru slouží k upevnění celého manipulátoru k podložce. Základna byla zvolena o rozměrech 260x10-460. Z důvodu zvýšení stability celého manipulátoru je základní deska v rozích opatřena otvory pro upevnění k podložce pomocí čtyř šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Dále je ve středové části desky otvor sloužící k vsazení trnu sloupku a čtyři díry k jeho přišroubování. Podél obvodu desky je pak osm děr pro šrouby, kterými jsou připevněny sloupky krytové sestavy.



Obr. 26: Základna

7.1.2 Kryt manipulátoru

Kryt manipulátoru slouží k bezpečnostním účelům a také jako částečná ochrana před prachem a nečistotami. Vzhledem k tomu, že bude manipulátor používán ve školním prostředí, je z bezpečnostního hlediska nutné zamezit osobám přístup k pohyblivým částem motoru a převodovky. Aby byl dobře patrný vnitřní mechanismus manipulátoru, jsou boční stěny krytu zkonstruovány z plexiskla. Na sloupku krytu jsou také umístěny mikrospínače bezpečnostního dorazu, zamezující překroucení napájecího kabelu.

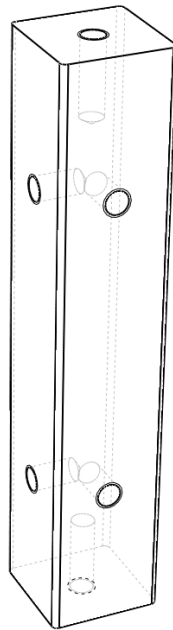


Obr. 27: Kryt manipulátoru

1-sloupek, 2-plech, 3-mikrospínač, 4-plexisklo

7.1.2.1 Sloupek

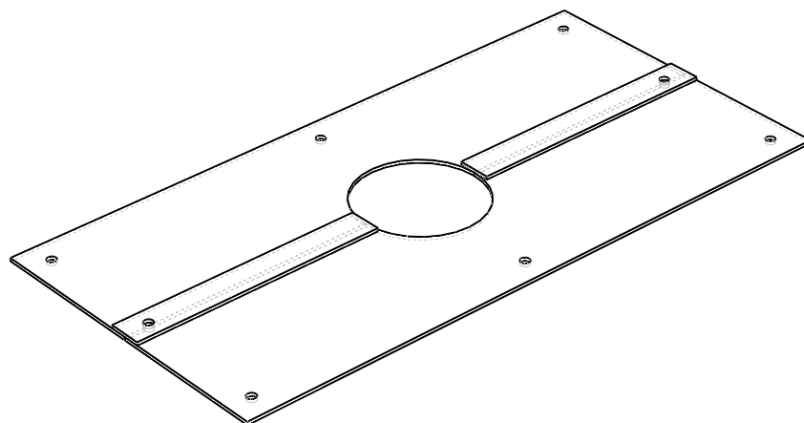
Sloupek krytu není namáhán břemenem manipulátoru, slouží pouze jako vyztužení krytu. Pomocí šroubů s kuželovou hlavou a křížovou drážkou je k nim připevněno ochranné plexisklo. Na horní plochu sloupků jsou pak přišroubovány dva krycí plechy, vyztužené přeplátováním. V sestavě krytu jsou dva typy sloupků, tedy středové a rohové. Vzájemně se od sebe liší pouze počtem vyvrtaných děr, kdy středové sloupky mají díry pro připevnění plexiskla pouze na jedné ploše, zatímco sloupky rohové na dvou sousedních plochách.



Obr. 28: Rohový sloupek

7.1.2.2 Horní krycí plech

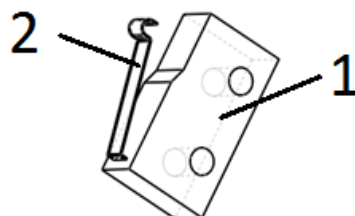
Krycí plech slouží k uzavření tělesa krytu manipulátoru. Tato krycí část se skládá ze dvou vzájemně přesazených plechů, přišroubovaných k horní ploše sloupků. Z důvodu názornosti celého mechanismu je také možné tento plech zaměnit za plexisklo.



Obr. 29: Krycí plech

7.1.2.3 Mikrospínač bezpečnostního dorazu

Mikrospínač slouží k rychlému rozepnutí kontaktů v krajní poloze, čímž způsobí přerušení rotačního pohybu a případnému poškození manipulátoru.

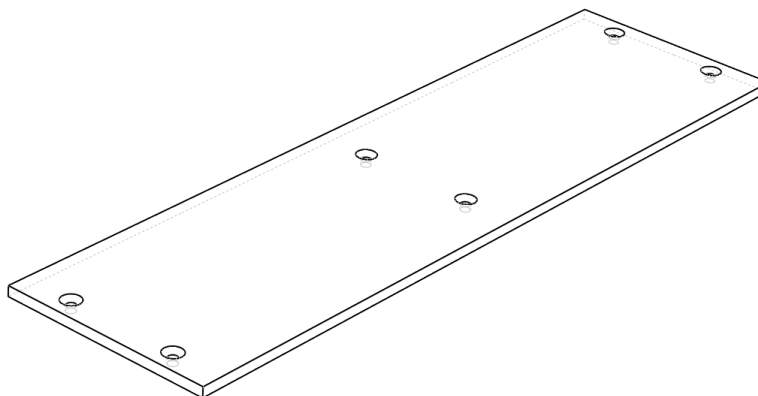


Obr. 30: Mikrospínač bezpečnostního dorazu

1-tělo mikrospínače, 2-pohyblivý kontakt

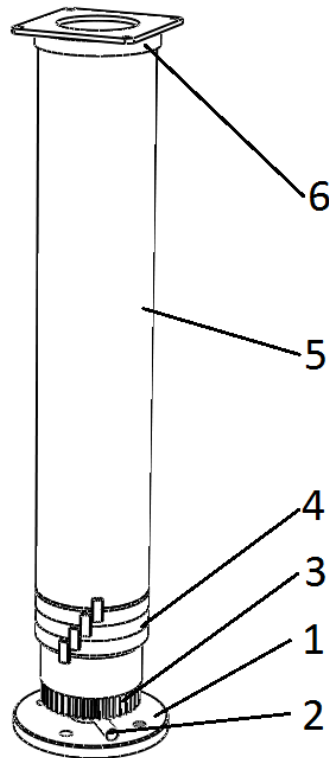
7.1.2.4 Ochranné plexisklo

Toto plexisklo slouží k ochraně osob před pohyblivými částmi motoru a převodové skříně. Díky své průhlednosti však nebrání pohledu dovnitř krytu manipulátoru na motor, ozubené soukolí či bezpečnostní dorazy. Je tedy možné i u zakrytovaného manipulátoru kontrolovat správnou funkci vnitřního zařízení. Kryt je složen ze dvou typů plexiskel a od každého typu obsahuje dva kusy. Jedná se o menší, přední a zadní plexiskla a o větší, boční plexiskla. Menší plexiskla mají rozměry 105x5-190 a větší 105x5-380.



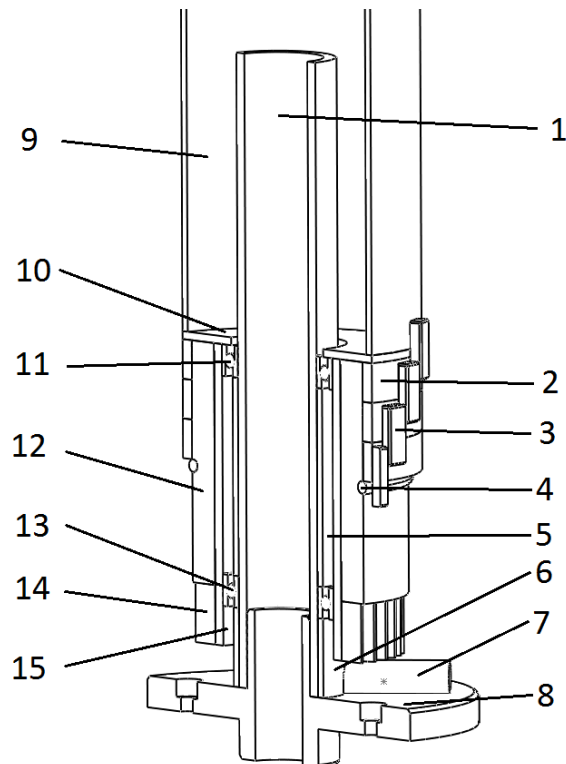
Obr. 31: Ochranné plexisklo

7.1.3 Sloup



Obr. 32: Sloup manipulátoru

1-trn, 2-kryt kabelu, 3-ozubené kolo, 4-dorazové kroužky, 5-horní sloup, 6-základna ramene



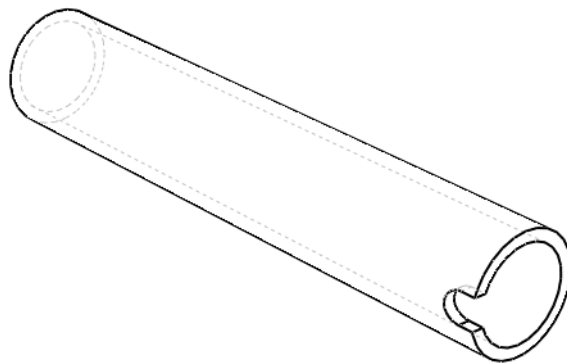
Obr. 33: Detail sloupu

1-vnitřní sloup, 2-dorazový kroužek, 3-doraz, 4-pojistný kroužek, 5-distanční kroužek, 6-distanční kroužek, 7-kryt kabelu, 8-trn sloupu, 9-horní sloup, 10-mezikruží, 11-radiální ložisko s kosoúhlým stykem, 12-distanční kroužek, 13-radiální, 14-ozubené kolo, 15-spodní sloup

Sloup je hlavní nosný prvek manipulátoru. Obsahuje mechanismus rotačního kloubu. Celý sloup lze rozdělit na dvě části, pevnou a pohyblivou. Pevná část sloupu se skládá z trnu (8), který je pevně připojen k základně a vnitřního sloupu (1), který je nasazen a přilepen na trn. Na vnitřní sloup je pak nasazen distanční krouže (6), poté ložisko (13), na které se znovu nasadí distanční kroužek (5) a na něj ložisko (11) s kosoúhlým stykem, které má za úkol zachytit osové namáhání sloupu. Skrze distanční krouže, vnitřní sloup a trn je pak provlečena trubková krytka kabelu (7) zabraňující kolizi přívodního kabelu s ozubeným kolem. Na tuto pevnou část je poté nasazena část pohyblivá, která je tvořena kostrou složenou z horního sloupu (9), mezikruží (10), a spodního sloupu (15). Na spodním sloupu je pak navlečen distanční kroužek (12) a ozubené kolo (14) které je zajištěno přilepením. Na distanční krouže jsou pak navlečeny tři dorazové kroužky (2) na nichž jsou pak přilepeny tři dorazy (3), čtvrtý doraz je pak přilepen přímo na horní válec.

7.1.3.1 Vnitřní sloup

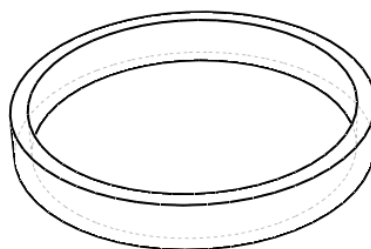
Vnitřní sloup je páteří celého manipulátoru. Má funkci pevné osy, kolem níž se otáčí pohyblivá část. Je nasazen a nalepen na trn, který je pevně připojen šroubovým spojem se základní deskou. V dolní části má vybrání, do kterého je zasazena krytka kabelu. Vnitřním sloupem jsou pak vedeny přívodní kabely pro motor řemenového pohonu a motor lanového navijáku.



Obr. 34: Vnitřní sloup

7.1.3.2 Dorazový kroužek

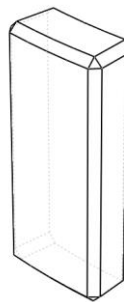
Dorazový kroužek plní funkci nosiče pohyblivého dorazu a je navlečen na kroužek distanční, na němž se volně otáčí.



Obr. 35: Dorazový kroužek

7.1.3.3 Doraz

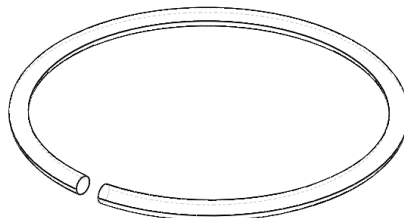
Doraz je součástí bezpečnostního prvku manipulátoru a je nalepen na dorazovém kroužku. Bezpečnostní prvek pracuje na principu násobného dorazu, jde tedy o kombinaci čtyř dorazů pod sebou, přičemž první doraz je přilepen přímo k hornímu sloupu. Nejnižší doraz je pak z obou stran obklíčen mikrospínači. Celý systém umožňuje otočení manipulátoru o 1020° , pak dojde k sepnutí mikrospínače a zastavení pohonu otáčení. Tento bezpečnostní prvek je zaveden z důvodu nebezpečí ukroucení napájecího kabelu vedoucího ze zdroje k motoru.



Obr. 36: Doraz

7.1.3.4 Pojistný kroužek

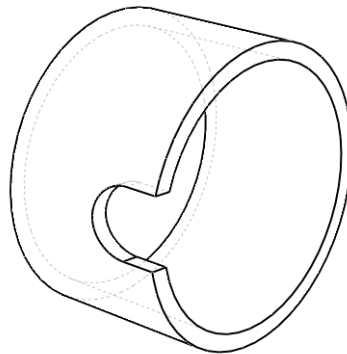
Jedná se o jednoduchý normalizovaný pojistný kroužek, který fixuje vertikální pozici dorazových kroužků.



Obr. 37: Pojistný kroužek

7.1.3.5 Distanční kroužky

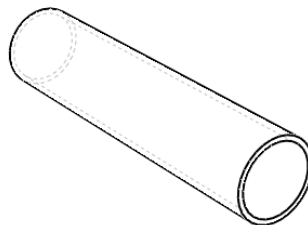
Distanční kroužky slouží k vymezení prostoru, v našem případě prostoru mezi dvěma ložisky. Distanční kroužek na obr. 37 obsahuje otvor pro vložení krytky kabelu.



Obr. 38: Distanční kroužek

7.1.3.6 Kryt kabelu

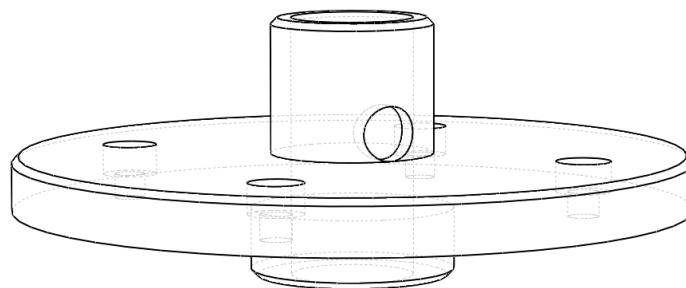
Kryt kabelu je jednoduchá trubka, která brání tomu, aby se část kabelu dostala mezi ozubená kola, což by mohlo znamenat vážné poškození manipulátoru, či dokonce zranění osob obsluhujících manipulátor.



Obr. 39: Kryt kabelu

7.1.3.7 Trn sloupu

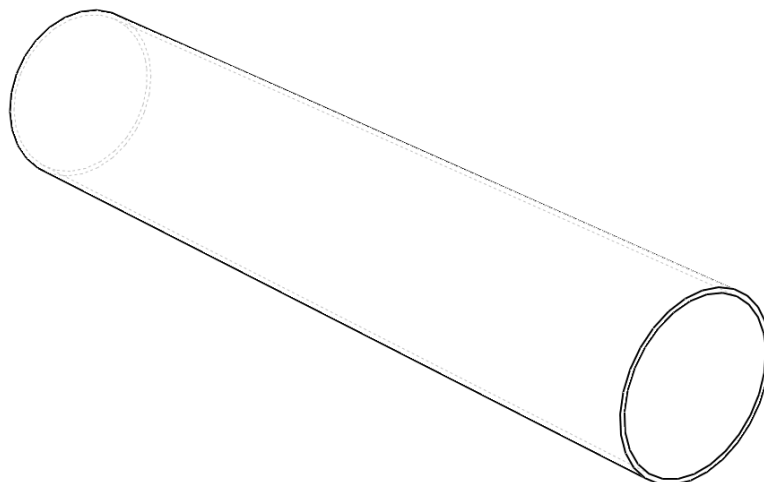
Trn je nepohyblivý prvek vnitřní části manipulátoru. Jedná se o nenormalizovaný díl, který je pomocí čtyř šroubů s válcovou hlavou připevněn k základně. Na trn je pak nasazen a přilepen vnitřní nepohyblivý sloup manipulátoru a také spodní distanční kroužek. Trn obsahuje otvor pro kryt kabelu. Při montáži je nutno dbát na to, aby spolu souhlasily tyto otvory na trnu, vnitřním sloupku i spodním distančním kroužku.



Obr. 40: Trn sloupu

7.1.3.8 Horní sloup

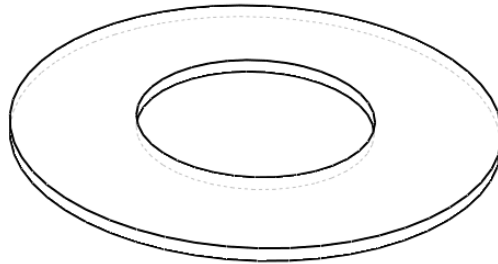
Horní sloup je pevně spojen s mezikružím a spodním sloupem. Spolu s dorazovým systémem a ozubeným kolem tvoří pohyblivou část sestavy sloupu manipulátoru.



Obr. 41: Horní sloup

7.1.3.9 Mezikruží

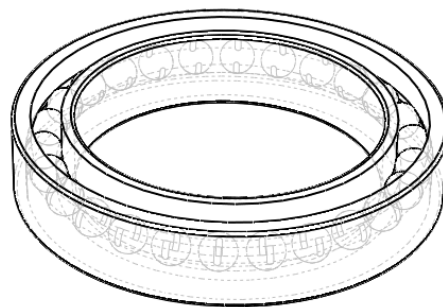
Mezikruží je pevně spojeno se spodním i horním sloupem. Je opřeno o horní ložisko a tím vymezuje vertikální polohu celé pohyblivé části sestavy sloupu.



Obr. 42: Mezikruží

7.1.3.10 Radiální ložiska

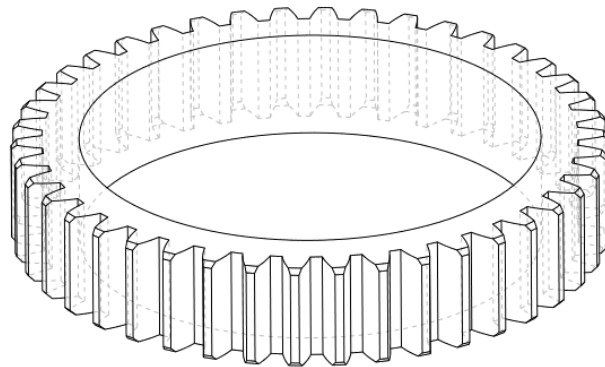
V sestavě sloupu manipulátoru můžeme nalézt dvě kuličková ložiska. Spodní a horní, které je s kosoúhlým stykem. Obě jsou navlečena na vnitřním sloupu a jejich poloha je vymezena pomocí dvou distančních kroužků.



Obr. 43: Radiální ložisko

7.1.3.11 Ozubené kolo

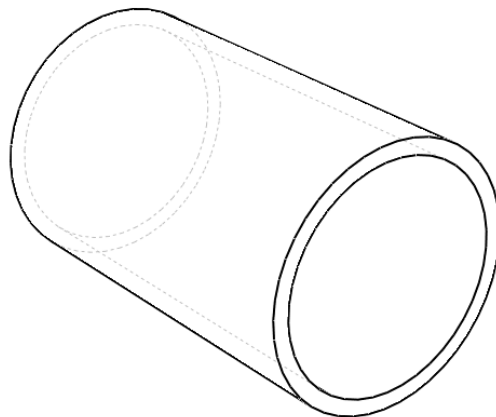
Ozubené kolo je součástí pohonu otáčení sloupu manipulátoru. Přesněji jde o ozubený věnec, přilepený k spodnímu sloupu.



Obr. 44: Ozubené kolo

7.1.3.12 Spodní sloup

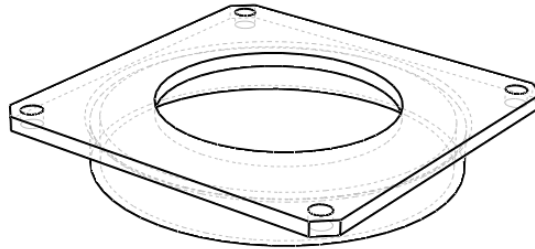
Spodní sloup je pevně spojen s mezikružím a horním sloupem a je navlečen na obě ložiska. Na spodní sloup je také přilepeno ozubené kolo a distanční kroužek obsahující kroužky dorazové.



Obr. 45: Spodní sloup

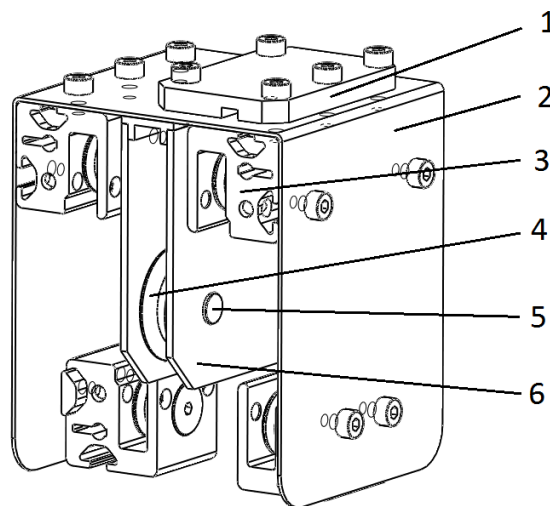
7.1.3.13 Základna ramene

Základna ramene slouží ke spojení sestavy sloupu a sestavy ramene. Je nasazena a přilepena na konec horního sloupu. Základna také obsahuje čtyři díry k upevnění ramene pomocí čtyř šroubů.



Obr. 46: Základna ramene

7.1.4 Jeřábová kočka



Obr. 47: Jeřábová kočka

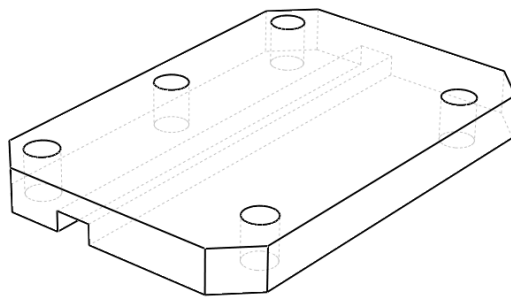
1- ukotvení řemenu, 2-kryt kočky, 3-pojzdová kladka, 4-lanová kladka, 5-čep lanové kladky, 6-uchycení klanové kladky

Jeřábová kočka je zařízení, které zajišťuje horizontální pojezd po rameni manipulátoru. Obsahuje šest pojezdových kladek v konfiguraci 2:1, tedy že na horní koleji jsou dvě kladky, a na spodní pouze jedna. Kočka také obsahuje dvě lanové kladky, mezi nimiž je zavěšeno lano s břemenem. Díky volnému pohybu obou lanových kladek je zajištěno, že břemeno

zůstane v konstantní výšce, i když se bude kočka v horizontálním směru pohybovat. Na horní straně kočky je připevněno ukotvení řemenu, který zajišťuje pohyb kočky.

7.1.4.1 Ukotvení řemenu

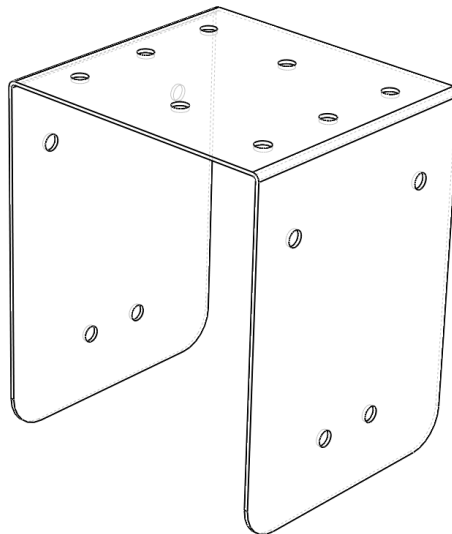
Řemen je ke kočce připojen pomocí silového styku, kdy je sevřen pomocí šroubů mezi ukotvením řemenu a krytem kočky. V ukotvení je drážka o stejné šířce řemenu. Aby však byl zajištěn silový spoj, musí mít drážka menší hloubku, než je výška řemenu.



Obr. 48: Ukotvení řemenu

7.1.4.2 Kryt kočky

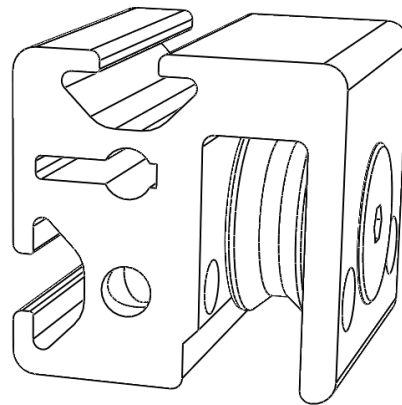
Kryt kočky je plechový kryt, který je zároveň spojovacím prvkem celé kočky. Jsou k němu připevněny pojezdové kladky, distanční kostka i úchyt lanových kladek.



Obr. 49: Kryt kočky

7.1.4.3 Pojezdové kladky

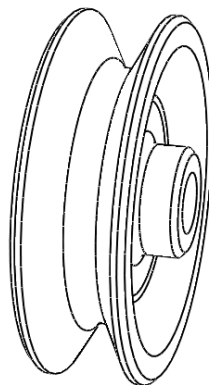
Pojezdové kladky jsou převzaty ze stavebnicového systému ITEM 7 a jsou drážkami spojeny pomocí vložené matice s krytem jeřábové kočky.



Obr. 50: Pojezdová kladka

7.1.4.4 Lanová kladka

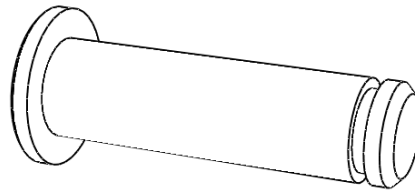
Lanová kladka slouží ke změně směru lana. V sestavě kočky jsou dvě lanové kladky a mezi nimi je spuštěna smyčka zvedacího lana, na další volně zavěšené lanové kladce je pak připevněn hák. Tímto způsobem vzniká jednoduchý kladkostroj, který usnadňuje zvedání břemene.



Obr. 51: Lanová kladka

7.1.4.5 Čep lanové kladky

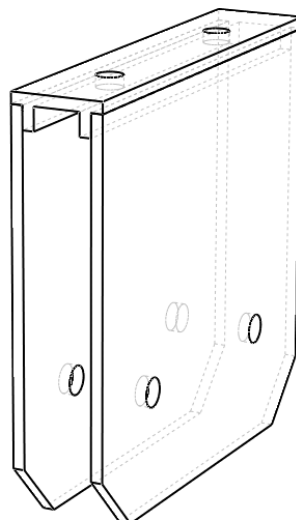
Čep kladky slouží ke spojení lanové kladky jejím uchycením. Na jeho konci je drážka pro pojistný kroužek, zabraňující vyvlečení čepu.



Obr. 52: Čep lanové kladky

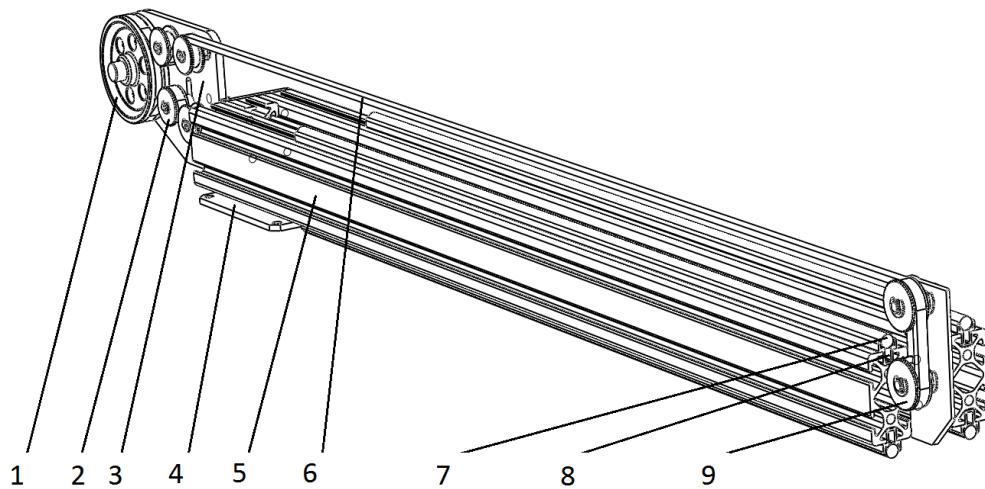
7.1.4.6 Uchycení lanové kladky

Uchycení lanové kladky slouží k připevnění kladky ke krytu jeřábové kočky. Skládá se ze tří částí a to z prostřední, která je pomocí šroubů připevněna ke krytu, a dvou bočnic, do kterých jsou zasazeny kladkové čepy. Tyto tři části jsou vzájemně slepeny.



Obr. 53: Uchycení lanové kladky

7.1.5 Rameno manipulátoru

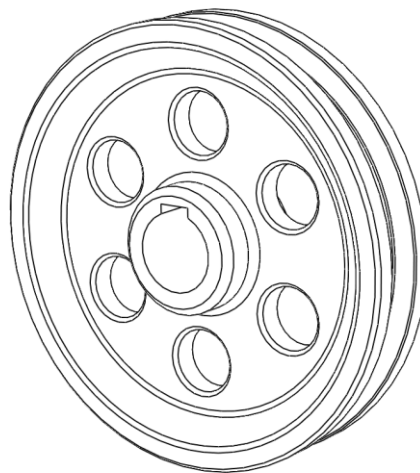


Obr. 54: Rameno manipulátoru

1-řemenová kladka velká, 2-řemenová kladka malá, 3-držák napínacího systému, 4-základna ramene, 5-kostra ramene, 6-řemen, 7-pojezdová kolejnice, 8-vedení kolejnice, 9-koncová kladka

7.1.5.1 Řemenová kladka velká

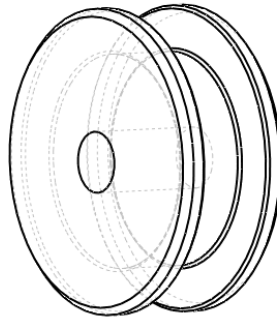
Řemenová kladka, hnána motorem, uvádí do pohybu řemen napojený na jeřábovou kočku, a tím způsobuje horizontální posuvný pohyb zvedaného břemene. Rotační pohyb je na kladku přenášen pomocí hřídele s perem



Obr. 55: Řemenová kladka velká

7.1.5.2 Řemenová kladka malá

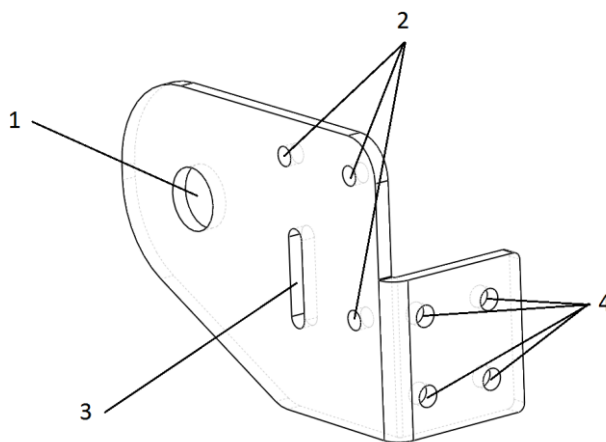
System těchto čtyř kladek má funkci zvětšení úhlu opásání u velké řemenové kladky. Jedna z těchto čtyř kladek je také nastavitelná za účelem napnutí řemenu. Napínání není zkonstruováno pružně, ale pouze pomocí aretačního šroubu a křídlové matice. Nastavitelná čtvrtá kladka také umožňuje snadnější montáž a demontáž řemenu.



Obr. 56: Řemenová kladka malá

7.1.5.3 Držák napínacího systému

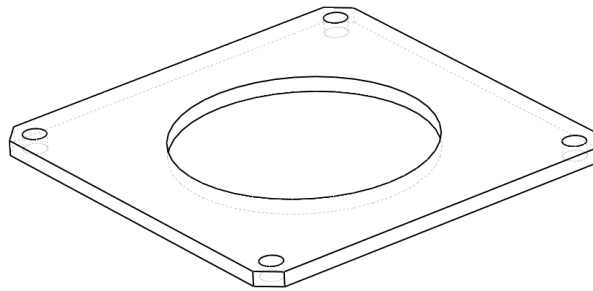
Držák napínacího systému slouží k ukotvení čepů kladek. Musí být dostatečně tuhý, jinak by mohlo dojít k jeho ohýbání při záběru řemenu. Čep velké klady je umístěn v otvoru (1) v zadní části držáku, malé kladky pak ve třech menších otvorech (2). Čep napínací kladky je pak vložen do svislé drážky (3) a zajištěn šroubem a křídlovou maticí. Celý držák je pak přišroubován ke kostře ramene pomocí otvorů (4).



Obr. 57: Držák napínacího systému

7.1.5.4 Základna ramene

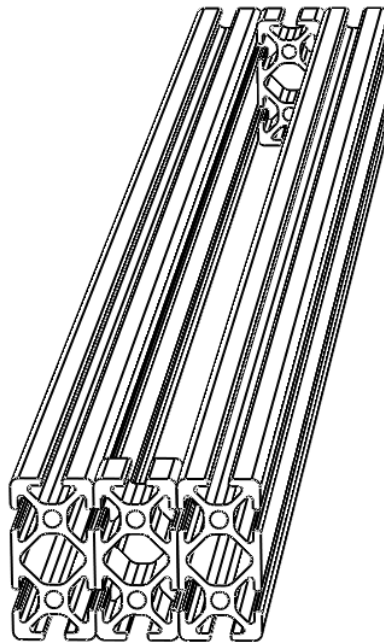
Základna ramene zajišťuje pevné spojení mezi sloupem manipulátoru a ramenem. Se svým protějškem na horním konci sloupu je spojena pomocí čtyř šroubů. Základna je přilepena ke spodní straně kostry ramene a boční plochou se opírá o konce vedení kolejnic.



Obr. 58: Základna ramene

7.1.5.5 Kostra ramene

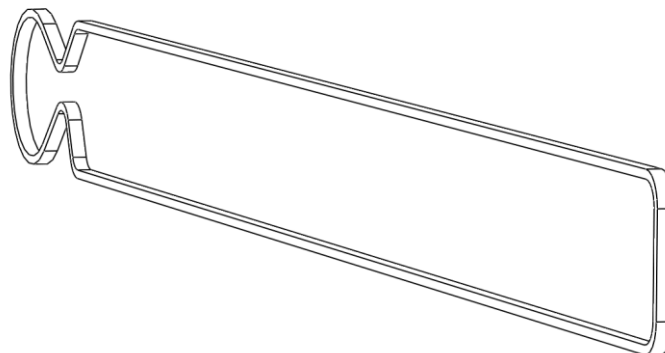
Kostra ramene manipulátoru je tvořena z profilů stavebnicového systému ITEM 7. Profily jsou k sobě pevně slepeny a tvoří nerozebíratelný celek. V případě požadavku na zvýšení pevnosti mohou být také kromě lepení pospojovány přes drážky profilů. Profily jsou duté, čehož je využito k vedení spodní části řemene zpět na napínací systém.



Obr. 59: Kostra ramene

7.1.5.6 Řemen

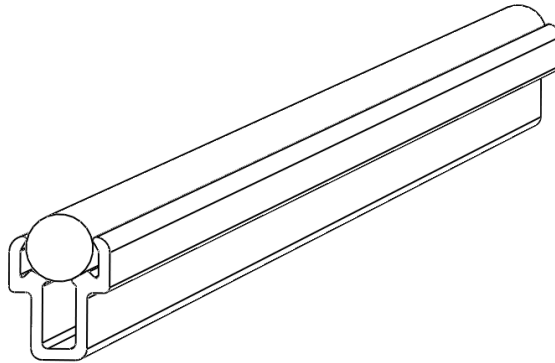
Řemen zde plní funkci přenosu pohybu mezi motorem a jeřábovou kočkou. Jedná se o standardní normalizovaný hladký řemen. Podmínkou správné funkce řemenu je jeho dostatečná napjatost, jinak může dojít k prokluzování a tím i snížení přesnosti pohybu kočky. K udržování napjatosti řemene je použit napínací systém kladek.



Obr. 60: Řemen

7.1.5.7 Pojezdová kolejnice a vedení kolejnice

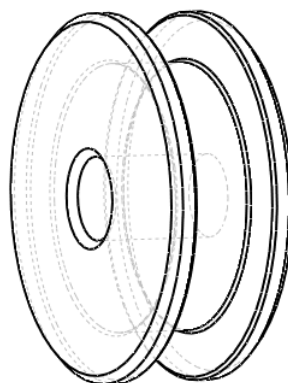
Pojezdová kolejnice a její vedení je součástí stavebnicového systému ITEM 7 a jsou kompatibilní se systémem drážek na profilech tvořících kostru ramene manipulátoru. Principem pojezdové kolejnice je omezit jakýkoliv pohyb jeřábové kočky, kromě pohybu horizontálního dopředného a zpětného.



Obr. 61: Pojezdová kolejnice a vedení kolejnice

7.1.5.8 Koncové kladky

Koncové kladky jsou co do provedení obdobné jako malé řemenové kladky napínacího systému, s tím rozdílem že tyto se nacházejí na opačném konci ramene než je napínací systém. Jejich cílem je změnit směr řemenu dvakrát o 90° a navést jej do dutiny profilu kostry ramene.



Obr. 62: Koncová kladka

8 TECHNICKÉ PARAMETRY NAVRŽENÉHO MANIPULÁTORU

Z hlediska správného řízení navrženého manipulátoru je důležité znát jeho základní parametry, například rozměry jednotlivých podsestav, jejich hmotnosti, souřadnice těžišť, či jejich momenty setrvačnosti.

8.1 Základní rozměry manipulátoru

Název sestavy	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]
Základní deska	10	260	460
Kryt	116	190	390
Sloup	471	100	100
Rameno	81	80	732
Kočka	110	91	76
Celý manipulátor	555	260	800

Tab. 1: Základní rozměry sestav

8.2 Hmotnosti sestav

Název sestavy	hmotnost [g]
Základní deska	3189,6
Kryt	2126,0
Sloup	1239,0
Rameno	2017,8
Kočka	439,2
Celý manipulátor	9011,6

Tab. 2: Hmotnosti sestav

8.3 Souřadnice těžišť

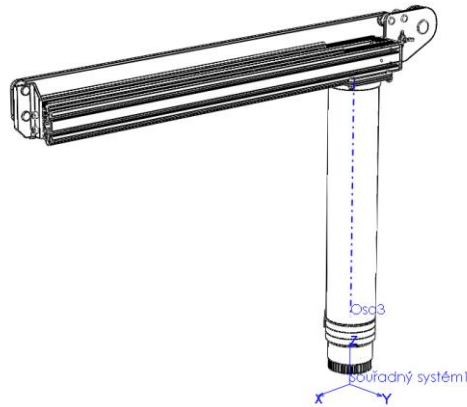
Poloha těžiště každé sestavy je uvedena na jednotlivých výrobních výkresech sestav.

8.4 Momenty setrvačnosti sestav

Z hlediska správného řízení pohybu manipulátoru je nutné znát momenty setrvačnosti podle vertikální osy navrhovaného manipulátoru. V tomto případě je potřeba znát pouze momenty setrvačnosti sestavy složené ze sloupu a ramene, a také momenty setrvačnosti kočky v jejích krajních pozicích. Kryt manipulátoru a základní deska jsou nepohyblivé, jejich moment setrvačnosti je tedy nepodstatný.

8.4.1 Moment setrvačnosti sestavy sloupu a ramene

Moment setrvačnosti této sestavy je vztažen k počátku souřadné soustavy. Tento počátek leží v nejnižším bodě sestavy manipulátoru, a tedy uprostřed spodní plochy základní desky.



Obr. 63: Momenty setrvačnosti sestavy sloupu a ramene

Fyzikální vlastnosti

Tisk... Kopírovat Zavřít Možnosti... Přepočítat

Výstupní souřadný systém: Souřadný systém1

Vybrané položky: MANIPULÁTOR.SLDASM

Včetně skrytých těl/součástí

Zobrazit výstupní souřadný systém v rohu okna

Přřazené fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti pro MANIPULÁTOR (Assembly Configuration - Výchozí)

Výstupní souřadný systém: Souřadný systém1

Hmotnost = 3263.39 gramy

Objem = 1122263.64 milimetry krychlové

Plošný obsah = 968413.68 milimetry čtvereční

Těžiště: (milimetry)

X = 146.59
Y = 3.22
Z = 366.36

Hlavní osy setrvačnosti a hlavní momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)

Vybrané z těžiště.

$I_x = (-0.73, -0.02, -0.68)$	$P_x = 58566207.31$
$I_y = (0.68, 0.03, -0.73)$	$P_y = 182181284.94$
$I_z = (0.03, -1.00, -0.01)$	$P_z = 237933644.37$

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)

Pochází z těžiště a je zarovnaný s výstupním souřadným systémem.

$L_{xx} = 115936443.88$	$L_{xy} = 3519559.01$	$L_{xz} = 61629016.02$
$L_{yx} = 3519559.01$	$L_{yy} = 237829493.67$	$L_{yz} = 1315386.98$
$L_{zx} = 61629016.02$	$L_{zy} = 1315386.98$	$L_{zz} = 124915199.08$

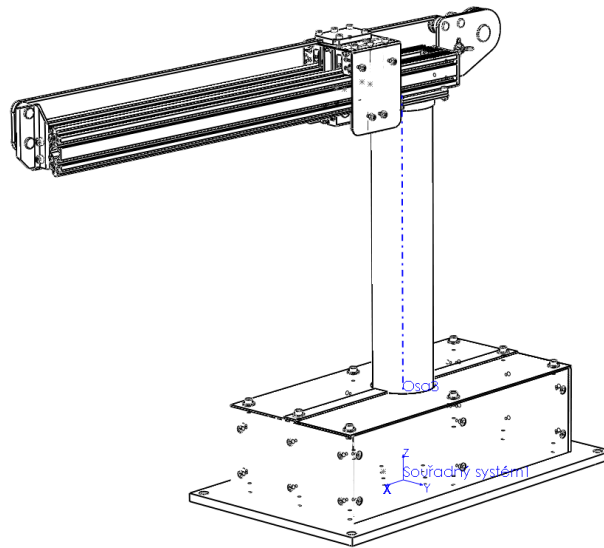
Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)

Získány z výstupního souřadného systému.

$I_{ox} = 553972860.84$	$I_{oy} = 5059011.99$	$I_{oz} = 236886832.40$
$I_{yx} = 5059011.99$	$I_{yy} = 745957956.42$	$I_{yz} = 5162772.83$
$I_{zx} = 236886832.40$	$I_{zy} = 5162772.83$	$I_{zz} = 195074835.24$

Obr. 64: Momenty setrvačnosti sloupu a ramene

8.4.2 Moment setrvačnosti kočky v poloze nejbliže k ose manipulátoru



Obr. 65: Krajní poloha kočky

Fyzikální vlastnosti

Tisk... Kopírovat Zavřít Možnosti... Přepočítat

Výstupní souřadný systém: Souřadný systém1

Vybrané položky: kočka-1@MANIPULÁTOR

Včetně skrytých těl/součástí

Zobrazit výstupní souřadný systém v rohu okna

Přřazené fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti pro kočka (Assembly Configuration - Výchozí)

Výstupní souřadný systém: Souřadný systém1

Těžiště a momenty setrvačnosti jsou vyneseny v souřadném systému MANIPULÁTOR
Hmotnost = 439.17 gramy

Objem = 165007.86 milimetry krychlové

Plošný obsah = 153654.09 milimetry čtvereční

Těžiště: (milimetry)
X = 75.11
Y = -21.15
Z = 511.89

Hlavní osy setrvačnosti a hlavní momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)
Vybrané z těžiště.

$I_x = (-0.03, -0.10, 0.99)$	$P_x = 486177.25$
$I_y = (0.26, 0.96, 0.11)$	$P_y = 656756.71$
$I_z = (-0.97, 0.26, 0.00)$	$P_z = 775546.12$

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)
Pochází z těžiště a je zarovnaný s výstupním souřadným systémem.

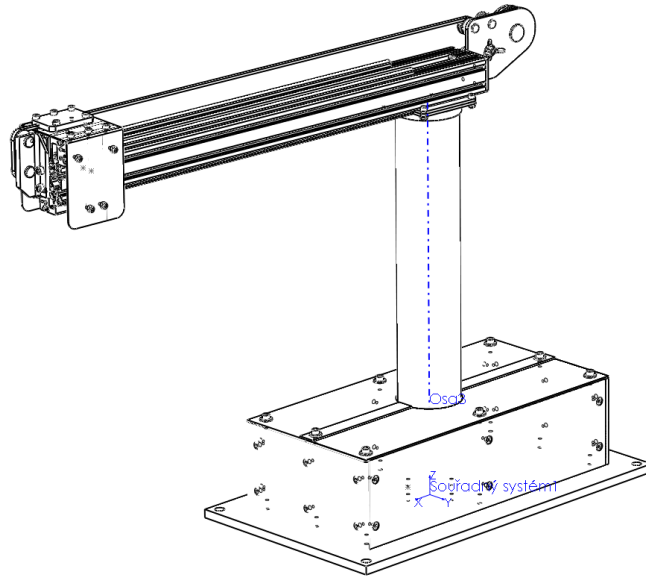
$L_{xx} = 767576.43$	$L_{xy} = 29984.70$	$L_{xz} = -4440.84$
$L_{yx} = 29984.70$	$L_{yy} = 662729.24$	$L_{yz} = -17804.43$
$L_{zx} = -4440.84$	$L_{zy} = -17804.43$	$L_{zz} = 488174.41$

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)
Získány z výstupního souřadného systému.

$I_{xx} = 116040460.37$	$I_{yy} = -667602.01$	$I_{zz} = 16881009.67$
$I_{yx} = -667602.01$	$I_{yy} = 118216848.98$	$I_{yz} = -4771945.88$
$I_{zx} = 16881009.67$	$I_{zy} = -4771945.88$	$I_{zz} = 3162224.82$

Obr. 66: Momenty setrvačnosti kočky v poloze nejbliže k ose manipulátoru

8.4.3 Moment setrvačnosti kočky v poloze nejdále od osy manipulátoru



Obr. 67: Krajní poloha kočky

Fyzikální vlastnosti

Tisk... Kopírovat Zavřít Možnosti... Přepočítat

Výstupní souřadný systém: Souřadný systém1

Vybrané položky: kočka-1@MANIPULÁTOR

Včetně skrytých těl/součástí

Zobrazit výstupní souřadný systém v rohu okna

Přifazené fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti pro kočka (Assembly Configuration - Výchozí)

Výstupní souřadný systém: Souřadný systém1

Těžiště a momenty setrvačnosti jsou vyneseny v souřadném systému MANIPULÁTOR
Hmotnost = 439.17 gramy

Objem = 165007.86 milimetry krychlové

Plošný obsah = 153654.09 milimetry čtvereční

Těžiště: (milimetry)

X = 500.14
Y = -43.44
Z = 511.89

Hlavní osy setrvačnosti a hlavní momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)
Vybrané z těžiště.

$I_x = (-0.01, -0.11, 0.99)$	$P_x = 486177.25$
$I_y = (0.08, 0.99, 0.11)$	$P_y = 656756.71$
$I_z = (-1.00, 0.08, 0.00)$	$P_z = 775546.12$

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)
Pochází z těžiště a je zarovnaný s výstupním souřadným systémem.

$L_{xx} = 774686.89$	$L_{xy} = 10149.49$	$L_{xz} = -1266.75$
$L_{yx} = 10149.49$	$L_{yy} = 655618.79$	$L_{yz} = -18306.13$
$L_{zx} = -1266.75$	$L_{zy} = -18306.13$	$L_{zz} = 488174.41$

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtvereční)
Získány z výstupního souřadného systému.

$I_{xx} = 116679742.74$	$I_{yy} = -9530485.73$	$I_{zz} = 112434257.81$
$I_{yx} = -9530485.73$	$I_{yy} = 225587276.55$	$I_{yz} = -9783037.43$
$I_{zx} = 112434257.81$	$I_{zy} = -9783037.43$	$I_{zz} = 111171934.76$

Obr. 68: Momenty setrvačnosti kočky v poloze nejdále od osy manipulátoru

9 ZÁVER

Předkládaná konstrukce manipulátoru se třemi stupni volnosti se snaží vyhovět požadavkům na výuku robotiky na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše ve Zlíně. Konstrukce manipulátoru vycházela z tří možných variant kinematického uspořádání. Zvolená varianta se jeví jako optimální z pohledu konstrukce, výroby i případné údržby. Tato varianta umožňuje i snadné pochopení mechanismu převodů rotačního pohybu na jiný rotační pohyb s různou osou otáčení a dále pak převod rotačního pohybu na přímočarý. Konstrukce vychází především z duralových stavebnicových částí a využití duralu i pro individuální součásti, kterými je nutné stavebnicový systém doplnit. Konstrukce je navržena jako komplexní 3D model v parametrickém 3D modeláři, včetně určení materiálových konstant. Využití 3D parametrického modeláře dovoluje jednoduché určení veličin nutných pro řízení robota, jako je hmotnost jednotlivých částí, polohy jejich těžišť a momentů setrvačnosti ke zvoleným souřadným systémům. Pro potřeby výuky bude nutné konstrukci doplnit vhodnými pohonnými jednotkami a na základě použitých pohonných jednotek doplnit i patřičné převodové mechanismy. Volba pohonných jednotek ještě nebyla jednoznačně ze strany FAI definována. Koncepce modelu byla průběžně konzultována tak, aby splnila požadavky na výuku robotiky. Konstrukce manipulátoru byla přijata bez závažných připomínek, pouze s požadavkem na spolupráci při dořešení systému pohonu. Součástí práce je kompletní výrobní dokumentace včetně označení polohy těžišť jednotlivých podsestav. Konstrukce byla navržena s ohledem i na jednoduchou vyrobiteľnost a dostupnost jednotlivých dílů. Montáž i demontáž je možná bez speciálních přípravků, pouze s běžným dílenským nářadím.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. *Průmyslové manipulátory* [online]
URL:< http://vencovo.misto.cz/_MAIL_/0/a/manipul.htm>
2. Úředníček, Z. *Robotika*, Zlín 2012. 38 s. ISBN 978 – 80 – 7454 – 223 – 7
3. *Roboty a manipulátory*, Učební text VOŠ a SPŠ, Kutná hora
4. *Encyklopedie fyziky* [online]
URL:<<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1298-popis-rotace-tuheho-tesa-eulerovy-kinematicke-rovnice>>
5. Chironis, N. *Mechanism, linkages, and mechanical control*, USA 1965. 365 s.
6. Svoboda, P., Brandejs, J., Prokeš, F. *Výběry z norem*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2
7. Kletečka, J., Fořt, P. *Technické kreslení*, Brno: Vydavatelství a nakladatelství CP Book, s.r.o., 2005. 252 s. ISBN 80-251-0498-2
8. Leinveber, J., Vávra, P. *Strojnické tabulky*, Úvaly: Pedagogické nakladatelství Albra, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7
9. *Alutec* [online] URL: <<http://www.aluteckk.cz/>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$G\vec{r}$	vektor polohy v globální souřadném systému
$B\vec{r}$	vektor polohy v lokálním souřadném systému
$Q_{X,\alpha} Q_{Y,\beta} Q_{Z,\alpha}$	základní globální matice rotace
$G(O_{XYZ})$	globální soustava souřadnic
$B(O_{xyz})$	lokální soustava souřadnic
GR_B	transformační matice
BR_G	transformační matice
X, Y, Z	souřadnice globálního souřadného systému
x, y, z	souřadnice lokálního souřadného systému

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Příklady koncových efektorů [2]	14
Obr. 2: Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů [1].....	15
Obr. 3: Volné těleso v rovině [2]	17
Obr. 4: Obecná kinematická dvojice[2].....	18
Obr. 5: Přehled prostorových kinematických dvojic[2]	18
Obr. 6: Metoda Point-to-point[3].....	20
Obr. 7: Metoda lineární interpolace[3]	20
Obr. 8: Kruhová interpolace[3].....	21
Obr. 9: Příklad použití robotů	23
Obr. 10: Sériová kinematická struktura	25
Obr. 11: Paralelní kinematická struktura	26
Obr. 12: Kartézská kinematická konstrukce	27
Obr. 13: Cylindrická kinematická konstrukce	27
Obr. 14: Sférická kinematická konstrukce.....	28
Obr. 15: Angulární kinematická konstrukce.....	28
Obr. 16: Globální a lokální souřadnicový systém	29
Obr. 17: Precese [4]	34
Obr. 18: Nutace [4]	34
Obr. 19: Spin [4]	34
Obr. 20: Haberkorn.....	40
Obr. 21: Navržený manipulátor	44
Obr. 22: Varianta A	45
Obr. 23: Varianta B.....	46
Obr. 24: Varianta C.....	47
Obr. 25: Celková sestava manipulátoru.....	49
Obr. 26: Základna	50
Obr. 27: Kryt manipulátoru	51
Obr. 28: Rohový sloupek.....	52
Obr. 29: Krycí plech	52
Obr. 30: Mikrospínač bezpečnostního dorazu	53
Obr. 31: Ochranné plexisklo.....	53
Obr. 32: Sloup manipulátoru	54

Obr. 33: Detail sloupu.....	55
Obr. 34: Vnitřní sloup.....	56
Obr. 35: Dorazový kroužek	56
Obr. 36: Doraz	57
Obr. 37: Pojistný kroužek	57
Obr. 38: Distanční kroužek.....	58
Obr. 39: Kryt kabelu	58
Obr. 40: Trn sloupu.....	59
Obr. 41: Horní sloup	59
Obr. 42: Mezikruží.....	60
Obr. 43: Radiální ložisko	60
Obr. 44: Ozubené kolo.....	61
Obr. 45: Spodní sloup	61
Obr. 46: Základna ramene	62
Obr. 47: Jeřábová kočka	62
Obr. 48: Ukotvení řemenu	63
Obr. 49: Kryt kočky.....	63
Obr. 50: Pojezdová kladka.....	64
Obr. 51: Lanová kladka	64
Obr. 52: Čep lanové kladky	65
Obr. 53: Uchycení lanové kladky	65
Obr. 54: Rameno manipulátoru	66
Obr. 55: Řemenová kladka velká.....	66
Obr. 56: Řemenová kladka malá	67
Obr. 57: Držák napínacího systému.....	67
Obr. 58: Základna ramene	68
Obr. 59: Kostra ramene.....	69
Obr. 60: Řemen.....	69
Obr. 61: Pojezdová kolejnice a vedení kolejnice.....	70
Obr. 62: Koncová kladka.....	70
Obr. 63: Momenty setrvačnosti sestavy sloupu a ramene	72
Obr. 64: Momenty setrvačnosti sloupu a ramene	72
Obr. 65: Krajní poloha kočky	73

-
- Obr. 66:** Momenty setrvačnosti kočky v poloze nejbliže k ose manipulátoru.....73
- Obr. 67:** Krajní poloha kočky74
- Obr. 68:** Momenty setrvačnosti kočky v poloze nejdále od osy manipulátoru74

SEZNAM TABULEK**Tab. 1:** Základní rozměry sestav71**Tab. 2:** Hmotnosti sestav.....71

SEZNAM PŘÍLOH

Seznam výkresové dokumentace

Číslo přílohy	Název přílohy	Číslo výkresu
1.	MANIPULÁTOR	BC-01
2.	ZÁKLADNA	BC-01-01
3.	SLOUP	BC-01-02
4.	TRN	BC-01-02-01
5.	SLOUP VNITŘNÍ	BC-01-02-02
6.	SLOUP SPODNÍ	BC-01-02-03
7.	MEZIKRUŽÍ	BC-01-02-04
8.	SLOUP HORNÍ	BC-01-02-05
9.	DIST. KROUŽEK 1	BC-01-02-06
10.	DIST. KROUŽEK 2	BC-01-02-07
11.	DIST. KROUŽEK 3	BC-01-02-08
12.	DORAZ. KROUŽEK	BC-01-02-09
13.	DORAZ	BC-01-02-10
14.	ZÁKLA. RAMENE	BC-01-02-11
15.	KRYT KABELU	BC-01-02-12
16.	OZUBENÉ KOLO	BC-01-02-13
17.	RAMENO	BC-01-03
18.	DRŽÁK NAP. SYSTÉMU	BC-01-03-01
19.	VELKÁ ŘEM. KLADKA	BC-01-03-02
20.	MALÁ ŘEM. KLADKA	BC-01-03-03
21.	KONCOVÁ KLADKA	BC-01-03-04
22.	ČEP VELKÉ ŘEM. KLADKY	BC-01-03-05
23.	ČEP MALÉ ŘEM. KLADKY	BC-01-03-06
24.	ČEP NASTAVITELNÉ KLADKY	BC-01-03-07
25.	ČEP KONCOVÉ KLADKY	BC-01-03-08
26.	PŘÍRUBA	BC-01-03-09
27.	PROFIL L	BC-01-03-10
28.	KOČKA	BC-01-04
29.	KRYT	BC-01-04-01
30.	UKOTVENÍ ŘEMENU	BC-01-04-02
31.	ZÁVĚS LANOVÉ KLADKY	BC-01-04-03
32.	PLECH ZÁVĚSU KLADKY	BC-01-04-04
33.	LANOVÁ KLADKA	BC-01-04-05
34.	ČEP LANOVÉ KLADKY	BC-01-04-06
35.	KRYT	BC-01-05
36.	PLEXISKLO BOČNÍ	BC-01-05-01
37.	PLEXISKLO PŘEDNÍ	BC-01-05-02
38.	SLOUPEK STŘEDOVÝ	BC-01-05-03
39.	SLOUPEK ROHOVÝ	BC-01-05-04
40.	KRYCÍ PLECH	BC-01-05-05
41.	PŘÍLOŽKA	BC-01-05-06

Seznam modelové dokumentace

Číslo přílohy	Název přílohy
1.	MANIPULÁTOR
2.	ZÁKLADNA
3.	SLOUP
4.	TRN
5.	SLOUP VNITŘNÍ
6.	SLOUP SPODNÍ
7.	MEZIKRUŽÍ
8.	SLOUP HORNÍ
9.	DIST. KROUŽEK 1
10.	DIST. KROUŽEK 2
11.	DIST. KROUŽEK 3
12.	DORAZ. KROUŽEK
13.	DORAZ
14.	ZÁKLA. RAMENE
15.	KRYT KABELU
16.	OZUBENÉ KOLO
17.	RAMENO
18.	DRŽÁK NAP. SYSTÉMU
19.	VELKÁ ŘEM. KLADKA
20.	MALÁ ŘEM. KLADKA
21.	KONCOVÁ KLADKA
22.	ČEP VELKÉ ŘEM. KLADKY
23.	ČEP MALÉ ŘEM. KLADKY
24.	ČEP NASTAVITELNÉ KLADKY
25.	ČEP KONCOVÉ KLADKY
26.	PŘÍRUBA
27.	PROFIL L
28.	KOČKA
29.	KRYT
30.	UKOTVENÍ ŘEMENU
31.	ZÁVĚS LANOVÉ KLADKY
32.	PLECH ZÁVĚSU KLADKY
33.	LANOVÁ KLADKA
34.	ČEP LANOVÉ KLADKY
35.	KRYT
36.	PLEXISKLO BOČNÍ
37.	PLEXISKLO PŘEDNÍ
38.	SLOUPEK STŘEDOVÝ
39.	SLOUPEK ROHOVÝ
40.	KRYCÍ PLECH
41.	PŘÍLOŽKA