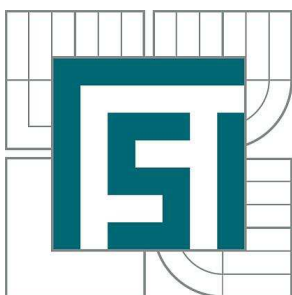


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

ORIENTAČNÍ ÚSTROJÍ PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ

ORIENTATION MECHANISM OF INDUSTRIAL ROBOTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR KOČIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Kočíš

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Orientační ústrojí průmyslových robotů

v anglickém jazyce:

Orientation mechanism of industrial robots

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- 1.Navrhnete mechanismus orientačního ústrojí (zápěstí robotu), které je určeno pro technologické operace montáže vkládání čepů nebo šroubů do otvorů
- 2.Proved'te rešerši doposud známých řešení studiemi záznamů patentových úřadů celosvětové databáze
- 3.Na základě popisu výhod, nevýhod a použití u nejvýznamnějších patentů či průmyslových vzorů navrhnete vlastní řešení, které bude obsahovat:
 - a.Analýzu potřebných stupňů volnosti pro potřeby montáže s uvažováním i kompenzačního členu polohy OÚ s mechanickým nebo mechatronickým řešením adaptivity polohy přesného vkládání čepu do díry
 - b.Potřebné výpočty z mechaniky těles manipulačních zařízení
 - c.3D počítačový model principu mechanismu
 - d.Sestavní výkres mechanické části
 - e.Dílenské (výrobní) výkresy
 - f.Dle možností i výrobu fyzického modelu

Cíle diplomové práce:

Cílem je navrhnout vlastní konstrukční řešení nového orientačního zařízení s potřebnými stupni volnosti, které dokáže nést chapadlo, určené pro automatizovanou montáž. Orientační ústrojí bude mít prvky mechanické nebo mechatronické adaptivity polohování drženého čepu vůči otvoru svisle orientovanou montáží.

Seznam odborné literatury:

- Skařupa J., Mostýn V.: Teorie průmyslových robotů, vydala Viena Košice, 2000
- Kolíbal Z., Knoflíček R.: Morfologická analýza průmyslových robotů, vydala Viena Košice, 2000
- Skařupa J., Mostýn V.: metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů, vydala Viena Košice, 2002
- Smrček J., Kárník L.: Robotika – servisní roboty – navrhování, konstrukce, řešení, vydala Viena Košice, 2008

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

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

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

Abstrakt

Diplomová práce řeší vývoj orientačního ústrojí průmyslového robotu, určeného pro montáž čepů do otvorů a šroubů do otvorů se závitem. V první fázi je provedena rešerše vynálezů především z databáze amerického patentového úřadu. Následně jsou řešeny podmínky montáže a z toho vyplývající předpoklady funkce navrhovaného orientačního ústrojí. Diplomová práce obsahuje sedm koncepčních variant, zpracovaných do fáze návrhového počítačového 3D modelu. Pomocí základní metody multikriteriálního hodnocení je stanovena optimální koncepční varianta dle přijatých kritérií hodnocení. Tato technicky a ekonomicky nejvíce nadějná koncepční varianta je podrobena výpočtu, který zahrnuje návrh pohonu, pevnostní kontrolu namáhaných prvků konstrukce i kinematický rozbor navrženého mechanismu.

Výsledky výpočtu jsou promítnuty v detailním zpracování konstrukce, které mimo jiné zahrnuje technologičnost výroby konstrukčního návrhu a jeho správnou montáž. V závěru diplomové práce je provedená ekonomická analýza v oblasti nákladů na výrobu nově vyvinutého automatizačního zařízení. Nezbytnou součástí diplomové práce je i výkresová dokumentace. Vítězná varianta přináší zcela novou koncepci, která může být výhledově patentována jako užitný vzor.

Klíčová slova

orientační ústrojí, zápěstí robotu, automatizace, paletizační robot, montáž čepů, montáž šroubů, adaptivita, kompenzace polohy, kompenzace orientace

Abstract

The diploma thesis deals with an orientation mechanism of industrial robots for mounting of pivots and screws into the mounting holes. In the first phase there is a research of inventions mainly realized in the United States Patent and Trademark Office database. Subsequently the conditions of the assembly are solved. On the base of the conditions the functional requirements are described. The diploma thesis includes seven conceptual variants, which are proposed as a 3D design. Using the basical multi-criteria method the best conceptual variant is specified. That is specified due to the accepted criterias. In the next part of the diploma thesis there is a calculation, that comprises this technically and economically most promising conceptual variant. The calculation consists of a statics, a kinematics and a dynamics of the propel, a strength control of the mechanism and kinematics analysis of the whole mechanism.

Results of the calculation are used by the detailed design of orientation mechanism, that also comprises technological production theory and a correct assembly. Economical analysis, which comprises cost of produce of this newly developed automation equipment, is worked up in the conclusion of the diploma thesis. The diploma thesis also comprises drawings. The variant solves a new conception, which can be patented as an utility model.

Key words

orientation mechanism, robot wrist, automation, palletizing robot, pivots assembly, screws assembly, adaptivity, position compensation, orientation compensation

Bibliografická citace

KOČIŠ, P. *Orientační ústrojí průmyslových robotů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 110 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Orientační ústrojí průmyslových robotů vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. s uvedením všech zdrojů, ze kterých jsem čerpal.

V Brně dne:

.....
Petr Kočíš

Poděkování

Tímto chci poděkovat všem, jejichž pomocí vznikla tato diplomová práce, především vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr.



Obsah

Obsah.....	7
1 Úvod.....	10
2 Analýza zadání.....	11
2.1 Stanovení parametrů.....	11
2.2 Přehled angulárních šestiosých robotů.....	12
2.3 Přehled použitelných paletizačních robotů.....	13
2.4 Oblast použití.....	13
3 Úvod do teorie otevřených kinematických řetězců PRaM.....	14
3.1 Kinematické schéma angulárního šestiosého robotu.....	14
3.2 Kinematické schéma robotu SCARA.....	15
3.3 Kinematické schéma paletizačního čtyřosého robotu.....	15
3.4 Analýza kinematiky orientačního ústrojí.....	16
3.5 Adaptivita robotů.....	19
3.6 Rozsah adaptivity.....	20
4 Přehled vynálezů.....	22
5 Návrh variant řešení.....	31
5.1 Varianta V1.....	31
5.1.1 Kinematické schéma.....	31
5.1.2 Princip funkce.....	32
5.1.3 Pracovní cyklus.....	33
5.1.4 Přehled nákresů a legenda.....	33
5.1.5 Popis konstrukce.....	34
5.2 Varianta V2.....	36
5.2.1 Kinematické schéma.....	36
5.2.2 Princip funkce.....	36
5.2.3 Pracovní cyklus.....	37
5.2.4 Přehled nákresů a legenda.....	38
5.2.5 Popis konstrukce.....	38
5.3 Varianta V3.....	39
5.3.1 Kinematické schéma.....	39
5.3.2 Princip funkce.....	39
5.3.3 Pracovní cyklus.....	40
5.3.4 Přehled nákresů a legenda.....	40
5.3.5 Popis konstrukce.....	41
5.4 Varianta V3a.....	43
5.4.1 Kinematické schéma.....	43
5.4.2 Princip funkce.....	44
5.4.3 Pracovní cyklus.....	44
5.4.4 Přehled nákresů a legenda.....	44
5.4.5 Popis konstrukce.....	44
5.5 Varianta V4.....	46
5.5.1 Kinematické schéma.....	46
5.5.2 Princip funkce.....	46
5.5.3 Pracovní cyklus.....	47
5.6 Varianta V5.....	47

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5.6.1 Kinematické schéma.....	47
5.6.2 Princip funkce.....	49
5.6.3 Pracovní cyklus.....	50
5.6.4 Přehled nákresů a legenda.....	50
5.6.5 Popis konstrukce.....	51
5.7 Varianta V6.....	53
5.7.1 Kinematické schéma.....	53
5.7.2 Princip funkce.....	53
5.7.3 Pracovní cyklus.....	54
5.7.4 Přehled nákresů a legenda.....	56
5.7.5 Popis konstrukce.....	57
5.8 Varianta V7.....	60
5.8.1 Kinematické schéma.....	60
5.8.2 Princip funkce.....	60
5.8.3 Pracovní cyklus.....	61
5.8.4 Přehled nákresů a legenda.....	61
5.8.5 Popis konstrukce.....	62
6 Výběr nejoptimálnější varianty řešení.....	64
6.1 Reprezentativní výběr parametrů.....	64
6.2 Bodovací stupnice.....	65
6.3 Významnost parametrů.....	65
6.4 Výpočet hodnocení varianty V1.....	66
6.5 Výpočet hodnocení varianty V2.....	67
6.6 Výpočet hodnocení varianty V3.....	68
6.7 Výpočet hodnocení varianty V5.....	69
6.8 Výpočet hodnocení varianty V6.....	70
6.9 Výpočet hodnocení varianty V7.....	71
7 Výpočet.....	72
7.1 Statické hledisko.....	72
7.1.1 Statický rozbor první části mechanismu.....	72
7.1.2 Statický rozbor druhé části mechanismu.....	74
7.1.3 Stanovení ztrát.....	74
7.2 Kinematické hledisko.....	75
7.3 Dynamické hledisko.....	78
7.4 Kontrolní výpočet.....	88
7.4.1 Kontrola lineárního vedení.....	88
7.4.2 Kontrola ložisek kuličkového šroubu.....	89
7.5 Kontrola kuličkového šroubu.....	90
7.5.1 Kontrola čepů.....	91
7.6 Kinematika polohování.....	93
7.7 Přesnost polohování a orientace.....	93
8 Prvky konstrukce.....	95
8.1 Konstrukce taktilního snímače.....	96
8.2 Technologičnost výroby.....	97
8.3 Popis pracovního cyklu.....	97
8.4 Montáž orientačního ústrojí.....	98
9 Ekonomické zhodnocení.....	100
10 Závěr.....	103
10.1 Parametry zařízení.....	104

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

10.2 Průmyslová využitelnost.....	104
10.3 Možnosti pokračování.....	104
11 Seznam zdrojů.....	105
12 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	109
13 Seznam obrázků.....	115
14 Seznam tabulek.....	117
15 Seznam příloh.....	118
15.1 Tištěné přílohy.....	118
15.2 Přílohy v elektronické podobě.....	119

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 Úvod

Diplomová práce zadává vyřešit orientační ústrojí, což je jeden prvek systému na automatizovanou montáž. Množina prvků systému pro automatizovanou montáž s velkým stupněm adaptivity zahrnuje řídicí systém, polohovací zařízení manipulátoru, orientační zařízení manipulátoru, senzorické prvky robotu včetně prvků adaptivity, úchopný prvek robotu, zásobníky se spojovacím materiálem, podavač spojovacího materiálu, dopravní zařízení na manipulaci s výrobky určenými k montáži, popřípadě další prvky, nepřiliš zásadní v dané problematice. Každý prvek má určitou úlohu. Úlohou orientačního ústrojí jakožto podsystemu je podle zadání diplomové práce nejen implementovat orientační zařízení s řešením upevnění koncového efektoru, ale vyřešit rovněž adaptivitu robotu při jeho úloze montáže spojovacího materiálu.



2 Analýza zadání

Zadáním diplomové práce je dán jasný požadavek pro konstruktéra, neuvádí však jeho smysl ani okolnosti návrhu orientačního ústrojí.

Smysl lze nalézt z pohledu imaginárního zákazníka. Zákazník chce ve své společnosti zavést automatizovanou montáž kolíků a šroubů. K zavedení automatizované montáže může oslovit výrobce robotů, kteří mu mohou dodat několik typů robotů. Podle [14], str. 15, jsou nejpoužívanějšími typy robotů angulární šestiosé, SCARA roboty a paletizační roboty.

Roboty SCARA nabízí společnosti Kuka, Mitsubishi, nebo například Omron. Kinematická struktura těchto čtyřosých robotů je vhodná pro svislou montáž čepů. Problém je v montáži šroubů. K zajištění předpětí šroubových spojů musí poslední osa zajistit rotaci s velkým točivým momentem. K tomu již z konstrukčního hlediska nejsou roboty SCARA vhodné. Argument lze podložit nákresem v [23], str. 15, Fig. 2-9, pro největší robot SCARA od firmy Kuka, kde koncový efektor může být ke čtvrté ose upevněn pomocí pera o rozměrech 3x3x8,5 mm [27], str. 467. Jednoduchým výpočtem, kdy předpokládáme, že dovolené otláčení pera je 90 MPa [37]

$$M_K = \frac{p_D \cdot d \cdot S}{2} = \frac{p_D \cdot d \cdot t_1 \cdot (l - b_p)}{2} = \frac{90 \cdot 1,3 \cdot (8,5 - 3)}{2} = 322, \quad (1)$$
$$\underline{M_K = 322 \text{ Nmm} = 0,322 \text{ Nm}}$$

Lze dojít k závěru, že tento typ robotů není vhodný pro automatizovanou montáž šroubů.

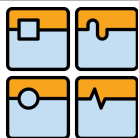
Z výběru zbývají šestiosé angulární roboty a čtyřosé (v některých případech pětiosé) paletizační roboty. Pokud vyjdeme z předpokladu, že díky mírně jednodušší konstrukci (z důvodu menšího počtu řízených os) mohou být paletizační roboty levnější, lze smysluplnost návrhu orientačního ústrojí postavit na ekonomické výhodnosti řešení automatizované montáže pro zákazníka. Díky řízeným šesti osám angulárního robotu není totiž nutné takový robot osazovat orientačním ústrojím. Pouze postačí kompenzace polohy koncového efektoru. Aby bylo řešení s využitím vlastního orientačního ústrojí smysluplné, musí platit, že náklady na pořízení šestiosého robotu musí přesahovat nebo se alespoň rovnat součtu nákladů na pořízení paletizačního robotu a nákladům na pořízení orientačního ústrojí.

2.1 Stanovení parametrů

V kapitole Analýza zadání byl použitý vztah pro výpočet únosnosti čtvrté osy robotu SCARA. Výsledkem byla hodnota momentu síly, která má ale velmi nízkou informační hodnotu, protože není porovnána s nějakou charakteristickou hodnotou. Ke stanovení charakteristické hodnoty je nutné vyjít opět z pohledu imaginárního zákazníka, u něhož se provede rešerše požadavků. U imaginárního zákazníka nelze provést přímou rešerši, nelze jej oslovit.

Parametry je ale možné získat nepřímo následujícím způsobem:

- Moment síly poslední osy: Zjistí se z běžné velikosti momentu předpětí pro často používané šestihranné šrouby pevnostní skupiny 8.8. Moment předpětí je závislý nejen na pevnostní skupině šroubu, ale hlavně na jmenovitém průměru dříku. Množinu běžně používaných šroubů podle jejich průměrů lze zjistit průzkumem trhu s tzv. gola- sadami, obsahujícími adaptéry s vnitřními šestihrany. Gola sada v [40] obsahuje největší velikost adaptéru 32 mm, což zhruba odpovídá jmenovitému



průměru šroubu $d = 20$ mm [27], str. 406, parametr s . V závislosti na zjištěném průměru lze podle [21], tabulka pro tuhé šrouby s jemným metrickým závitem, vyčíst hodnotu utahovacího momentu $M_u = 460$ Nm.

- Velikost pracovního prostoru: Podle nabídky na trhu se vybere takový robot, aby pohon jeho 6. osy dosahoval velikosti utahovacího momentu M_u . Na základě těchto parametrů se zjistí pracovní rozsahy a použije se přibližná střední hodnota.
- Rychlost montáže: Rychlost montáže závisí na maximálních rychlostech a zrychleních pracovních os robotů. Tento parametr nelze už přímo nijak ovlivnit, protože záleží na konstrukci vybraného robotu.

2.2 Přehled angulárních šestiosých robotů

Přehled angulárních šestiosých robotů vybraných na základě stanovených parametrů je zobrazen v tabulce 2.2.1.

Tabulka 2.2.1: Přehled angulárních šestiosých robotů

Roboty KUKA				
Typ robotu	Opakovatelná přesnost polohování	Pracovní rozsah	Max. moment poslední osy	Cena
Kuka KR160 1570 Nano	0,06 mm	1573 mm	480 Nm	Nezjištěna
Kuka KR 120 R2500 PRO	0,06 mm	2496 mm	456 Nm	Nezjištěna
Roboty ABB				
IRB 660-180/3.15	0,1 mm	3150 mm	-	Nezjištěna
IRB 6620	0,03 mm	2200 mm	-	38 000 Eur
IRB 6640-180	0,07 mm	2550 mm	961 Nm	41 500 Eur
IRB 6660-100	0,11 mm	1930 mm	-	Nezjištěna
Roboty Fanuc				
R-2000iB/150U	0,2 mm	2000 mm	421 Nm J6	60 000 Eur
R-2000iB/165F	0,2 mm	2000 mm	461 Nm J6	

U robotů Kuka nebylo snadné dohledat moment pohonu poslední osy. Z tohoto důvodu se pro porovnání použila hodnota momentu 5. osy podle [24], str. 22 (KR 160 1570 Nano) a podle [25], str. 18 (KR120 R2500 PRO). Tu bylo nutné vypočítat pomocí jednoduchého vztahu

$$M_K = m \cdot g \cdot l, \quad (2)$$

kde m je maximální nosnost robotu, g je tíhové zrychlení a l je maximální vzdálenost těžiště uchopeného předmětu od středu příruby robotu.

U robotů ABB IRB 660-180/3.15, IRB 6620 a IRB 6660-100 nebylo možné dohledat hodnotu momentu 5. ani 6. osy, proto se vycházelo z obdobné nosnosti.



Cena robotů byla zjištěna komunikací s obchodními odděleními společností. U firmy Fanuc je cena přibližná s tolerancí 3000 Eur, u ostatních výrobců se může skutečná cena lišit maximálně o 1000 Eur.

2.3 Přehled použitelných paletizačních robotů

Paletizační roboty byly vybrány na základě maximální nosnosti robotu.

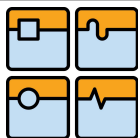
Tabulka 2.3.1: Přehled paletizačních robotů

Roboty KUKA				
Typ robotu	Opakovatelná přesnost polohování	Pracovní rozsah	Max. moment	Cena
KR 120 R3200 PA	0,06 mm	3195 mm	Nezjištěn	Nezjištěna
Roboty ABB				
IRB 460	0,2 mm	2460 mm	Nezjištěn	30 600 Eur
Roboty Fanuc				
M-410iB/160	0,5 mm	3143 mm	Nezjištěn	cca 55 000 Eur

Na základě přehledu několika robotů dostupných na trhu je vhodné zabývat se vývojem orientačního ústrojí pro paletizační robot ABB IRB 460.

2.4 Oblast použití

Před začátkem vývoje orientačního ústrojí robotu je vhodné stanovit jeho použití. Opět lze vyjít z pohledu imaginárního zákazníka, jakým může být například automobilka, která chce montovat hlavy spalovacích motorů nebo skříně převodovek. Samotná svislá montáž, jak stojí v požadovaných cílech diplomové práce, by v takovém případě byla pro zákazníka příliš omezující. Buď by musel montovat pouze řadové motory se svislou osou válců, nebo by musel opatřit palety s bloky motorů naklápěcím zařízením, které by při montáži hlav vidlicových motorů nebo boxerů naklopil každou řadu do svislé polohy. Proto po konzultaci s vedoucím diplomové práce došlo k jejímu **rozšíření o montáž šroubů nebo čepů v rovinách, jejichž normálový vektor je od svislé osy vychýlen o maximální úhel 30°**.



3 Úvod do teorie otevřených kinematických řetězců PRaM

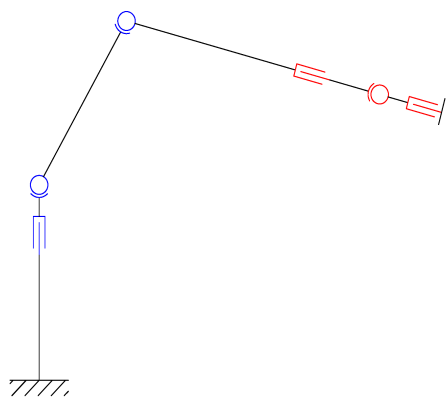
Roboty jsou kinematické mechanismy, které lze dělit na sériové, paralelní nebo kombinované kinematické mechanismy. Roboty s paralelní nebo kombinovanou kinematikou nejsou zatím obecně příliš rozšířeny, proto se jimi nebude diplomová práce zabývat.

Sériový robot se sériovou kinematikou je z kinematického hlediska otevřený řetězec. Přitom je dáno, že k dosažení libovolné polohy koncové příruby robotu v jeho pracovním prostoru je nutné, aby robot měl minimálně tři stupně volnosti. Soustavu kinematických stupňů volnosti za účelem dosažení dané polohy koncové příruby lze nazvat polohovým ústrojím robotu. Dále je žádoucí, aby byla koncová příruha robotu uvedena do požadované orientace. K tomu slouží právě orientační ústrojí robotu. Pro dosažení schopnosti orientace do libovolného úhlu jsou zapotřebí opět tři stupně volnosti. V kinematice robotů se až na výjimky používají buď posuvné (translační) stupně volnosti označované jako „T“ v osách „x“, „y“, „z“ nebo otáčivé (rotační) stupně volnosti označované jako „R“ v osách „A“ (jednotkový vektor osy „A“ odpovídá jednotkovému vektoru osy „x“), „B“ (jednotkový vektor osy „B“ odpovídá jednotkovému vektoru osy „y“) a „C“ (jednotkový vektor osy „C“ odpovídá jednotkovému vektoru osy „z“). Polohovací ústrojí robotu může obsahovat translační stupně volnosti, rotační stupně volnosti nebo jejich kombinaci. Plnohodnotné orientační ústrojí musí ale obsahovat pouze rotační stupně volnosti, přičemž nejbližší vazby v sériovém kinematickém řetězci musí být vzájemně ortogonální.

V kapitole Analýza zadání bylo uvedeno, že nejběžnějšími typy robotů se sériovou kinematickou strukturou jsou angulární šestiosé, dále čtyřosé SCARA roboty nebo čtyř, popřípadě pětiosé paletizační roboty.

3.1 Kinematické schéma angulárního šestiosého robotu

Kinematický řetězec polohovacího i orientačního ústrojí angulárního šestiosého robotu je tvořen pouze rotačními stupni volnosti. Průmyslový robot tohoto typu je schopen dosáhnout jakékoliv polohy i orientace v jeho pracovním prostoru. Na obr. 3.1.1 je zobrazeno kinematické schéma. Modře jsou zobrazeny polohovací stupně volnosti, červeně jsou zobrazeny orientační stupně volnosti.



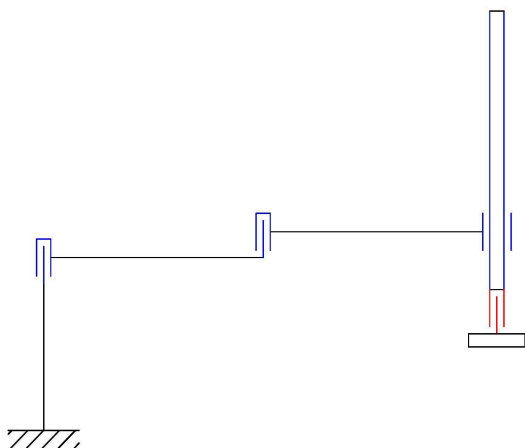
Obr. 3.1.1: Kinematické schéma
angulárního robotu



Obr. 3.1.2: Příklad angulárního šestiosého
robotu [3]

3.2 Kinematické schéma robotu SCARA

Kinematický řetězec polohovacího i orientačního ústrojí robotu SCARA je tvořen dvěma rotačními stupni volnosti v osách „C“ a jedním translačním stupněm volnosti ve směru osy „z.“ Orientační ústrojí je tvořeno jedním rotačním stupněm volnosti ve směru osy „z.“



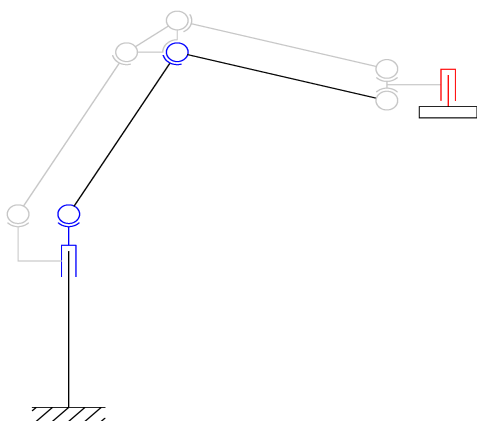
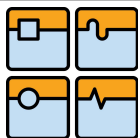
Obr. 3.2.1: Kinematické schéma robotu
SCARA



Obr. 3.2.2: Příklad robotu SCARA [22]

3.3 Kinematické schéma paletizačního čtyřosého robotu

Kinematický řetězec polohovacího i orientačního ústrojí paletizačního čtyřosého robotu je tvořen opět pouze rotačními stupni volnosti. Paletizační robot je schopen dosáhnout jakékoliv polohy v jeho pracovním prostoru, přičemž orientační ústrojí má pouze jeden řízený rotační stupeň volnosti ve směru osy „C“ jeho koncová příruba je trvale orientována ve svislém směru. Protože rotační vazby polohového ústrojí mají vliv na orientaci konce polohového ústrojí kinematického řetězce robotu v osách „A“ nebo „B“, je konstrukce čtyřosého paletizačního robotu opatřena pomocnými mechanismy k udržení koncové příruby robotu ve svislé poloze. Na obr. 3.3.1 je zobrazeno kinematické schéma. Modře jsou zobrazeny polohovací stupně volnosti, červeně je zobrazen orientační stupeň volnosti a šedě jsou zobrazeny pomocné mechanismy.



Obr. 3.3.1: Kinematické schéma paletizačního robotu



Obr. 3.3.2: Příklad paletizačního robotu [1]

3.4 Analýza kinematiky orientačního ústrojí

Cílem podkapitoly je stanovit potřebný počet stupňů volnosti orientačního ústrojí včetně kompenzačních stupňů volnosti. Počet potřebných stupňů volnosti orientačního ústrojí lze stanovit na základě analýzy stupňů volnosti spojovacího materiálu. Počet stupňů volnosti nevázaného tělesa je $n_{sv} = 6$. Při montáži čepu dochází podle teorie NNTN k odebrání tří translačních stupňů volnosti $n_{tv} = 3$ a dvou rotačních stupňů volnosti $n_{rv} = 2$. Potom počet stupňů volnosti smontovaného čepu je

$$n_{svmč} = n_{sv} - n_{tv} - n_{rv} = 6 - 3 - 2 = 1 \quad (3)$$

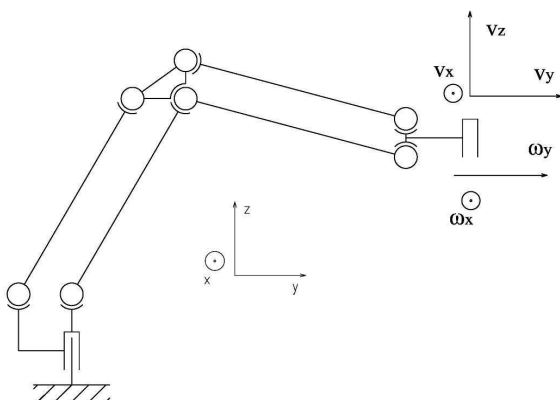
$$\underline{n_{svmč} = 1}$$

Nutný počet stupňů volnosti manipulátoru nebo robotu pro realizaci montáže čepu je shodný s počtem odebraných stupňů volnosti smontovaného čepu, protože poloha a orientace montážního otvoru je vzhledem k základu robotu definována právě třemi vzájemně ortogonálními délkovými rozměry a dvěma úhlovými. Požadavek na počet stupňů volnosti orientačního ústrojí lze stanovit ekvivalencí

$$\underline{n_{svou} = n_{rv} = 2} \quad (4)$$

Stanovení počtu stupňů volnosti orientačního ústrojí při montáži šroubů je trochu složitější. Podle teorie NNTN je počet odebraných stupňů volnosti celkem pět s tím, že v [10], str. 100, tab. 8 jsou dvě možnosti: Buď šroubová vazba odebírá dva translační stupně volnosti $n_{tv} = 2$ a tři rotační stupně volnosti $n_{rv} = 3$, nebo tři translační stupně volnosti $n_{tv} = 3$ a dva rotační stupně volnosti $n_{rv} = 2$. Fakt spočívá v pohledu na situaci. Poloha šroubu v jeho rotační ose je lineárně závislá na orientaci v totožné ose. Přiřazení stupně volnosti spočívá v tom, zda se za řídicí veličinu považuje poloha nebo orientace v rotační ose šroubu. Při návrhu orientačního ústrojí lze zavést druhý předpoklad a stanovit požadavek na počet stupňů volnosti orientačního ústrojí

$$\underline{n_{svou} = n_{rv} = 2} \quad (5)$$

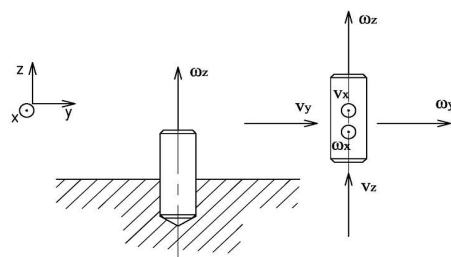


Obr. 3.4.1: Stupně volnosti paletizačního robota

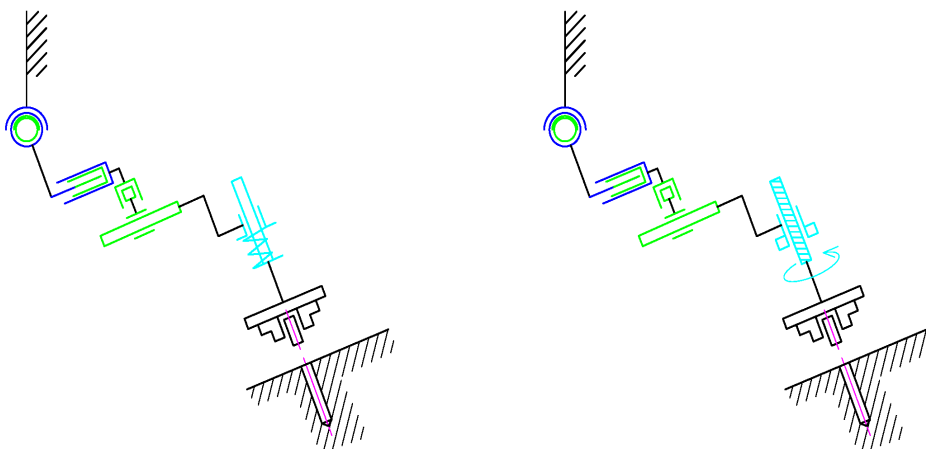
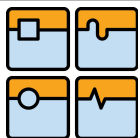
Při dodržení tohoto požadavku zároveň platí podmínka, že třetí stupeň volnosti nesmí být blokovány. Z praktického hlediska by montáž vypadala tak, že polohové ústrojí by napoložovalo šroub, držený koncovým efektem, a orientační ústrojí by jej zorientovalo do žádané orientace. Následně by se zasunováním šroubu do otvoru s vnitřním závitem šroub roztočil v jeho ose symetrie. Toto ale není možné, protože díky přítomnosti smykového tření je šroubová vazba samosvorná a k jeho roztočení tedy nemůže dojít.

Existuje několik možností, jak vyřešit orientační ústrojí i pro montáž šroubů:

- Orientační ústrojí je opatřeno polohovým stupněm volnosti ve směru osy „z“ souřadnicového systému koncového efektoru. Tento polohový stupeň volnosti je poddajný. Konstrukčně lze tento problém vyřešit výsuvným mechanismem předepjatým na pružině nebo pneumatickým válcem. Koncový efektor nemusí mít řízenou osu „C.“ Řešení vyniká jednoduchým principem. Pouze toto řešení nevyžaduje pro svou funkci senzoriku.
- Orientační ústrojí je opatřeno polohovým stupněm volnosti ve směru osy „z“ souřadnicového systému koncového efektoru. Tento polohový stupeň volnosti je nepoddajný. Koncový efektor musí mít řízenou osu „C.“ Řešení je nevýhodné kvůli nutnosti předat informaci řídicímu systému o hodnotě stoupání závitu použitého šroubu pro každou operaci.
- Orientační ústrojí nemá stupeň volnosti ve směru osy „z.“ Toto řešení potřebuje řízenou osu „C“ koncového efektoru.
- Orientační ústrojí nemá stupeň volnosti ve směru osy „z.“ ale je opatřeno tenzometrem, který snímá velikost síly v této ose a na základě toho poskytuje informace řídicímu systému robotu, který vyhodnocuje a řídí pohyb ve směru osy „z.“



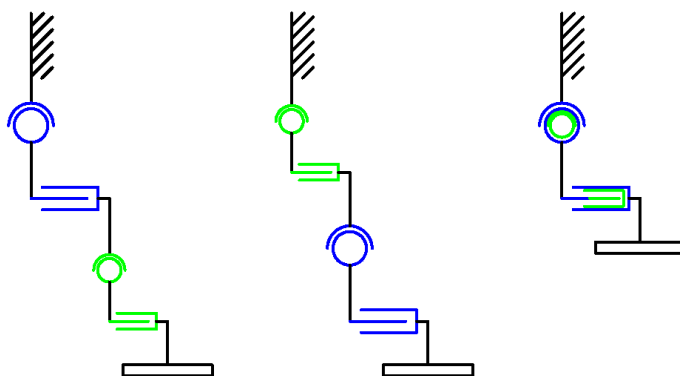
Obr. 3.4.2: Stupně volnosti volného a smontovaného čepu



Obr. 3.4.3: Uzpůsobení orientačního ústrojí pro montáž šroubů

Při libovolně orientované montáži je nutné kompenzovat nejen polohy, ale i orientaci. Existují celkově tři možnosti vzájemné polohy orientačních stupňů volnosti a orientačních kompenzací stupňů volnosti:

- Orientační stupně volnosti → orientační kompenzace
- Orientační kompenzace → orientační stupně volnosti
- Orientační kompenzace integrované v orientačních stupních volnosti



Obr. 3.4.4: Řazení orientačních a kompenzačních stupňů volnosti

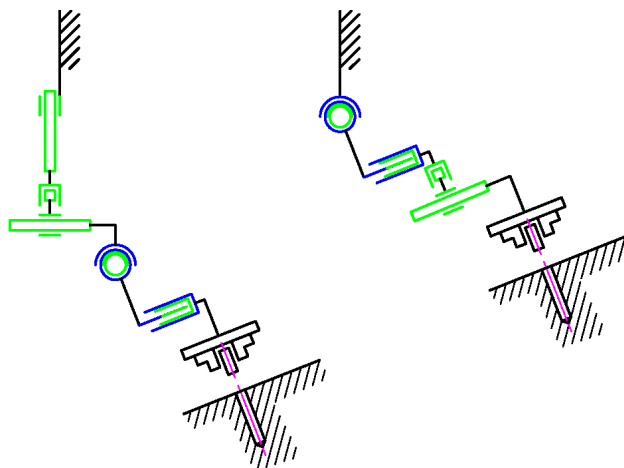
Řazení orientačních kompenzací před orientační stupně volnosti nemá smysl, při mechanické adaptivitě by mohl nastat problém s vychylováním orientačního ústrojí při obecně orientované montáži. Vhodným řešením je integrovat kompenzace do orientačních stupňů volnosti, toto řešení je prostorově úsporné.

Při polohové kompenzaci záleží na řazení kompenzačních stupňů volnosti a orientačních stupňů volnosti (uvažujme, že orientační kompenzace jsou buď integrované v orientačních stupních volnosti, nebo jsou uspořádané za nimi) je nutno rozlišovat dvě možnosti:

- Polohové kompenzace → orientační stupně volnosti: při tomto řazení je nutné, aby orientační ústrojí mělo i polohovou kompenzaci v ose „z“, protože při tomto uspořádání pracují polohové kompenzace v básovém souřadnicovém systému.



- Orientační stupně volnosti → polohové kompenzace: takové řazení je výhodnější, protože polohová kompenzace probíhá v souřadném systému koncového efektoru. Z tohoto důvodu není potřebná kompenzace v ose „z.“



Obr. 3.4.5: Řazení polohových kompenzací a orientačních stupňů volnosti

3.5 Adaptivita robotů

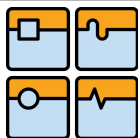
Adaptivita je přizpůsobení se nepředpokládaným odchylkám stavu prostředí. Zadání diplomové práce předpokládá řešení adaptivity při montáži šroubů nebo kolíků. V [39] je přímo řešená adaptivita koncových efektorů při montáži kolíků. Samotnou adaptivitu lze podle [39], str. 46, tab. 3.1 dělit na mechanickou a senzorickou. Principy adaptivity lze dělit na pasivní nebo aktivní.

- **Mechanická pasivní adaptivita**

U pasivně mechanické adaptivity se na vyvození orientačních pohybů používá pouze pružných členů v koncových efektorech. Použitelnost je zejména u svislé montáže při dosažení pouze velmi malých odchylek v řádech desetin mm. Princip je následující: Robot s uchopeným montovaným kolíkem přijede k montážnímu otvoru. Při malé odchylce dojde k vychýlení čepu o malý úhel vzhledem k ose díry, přičemž díky pružnosti koncového efektoru a přítomnosti smykového tření mezi povrchem čepu a díry dojde ke správnému zorientování čepu a následnému vsunutí do díry. V případě velké odchylky dojde k příliš velkému vyhnutí čepu a neschopnosti montáže. Aby mechanická pasivní adaptivita mohla fungovat, je nutné, aby hrany otvoru i čepy byly zkosené. [39]

- **Mechanická aktivní adaptivita**

U aktivní mechanické adaptivity při svislé montáži se rovněž používá pružných členů v koncových efektorech pro kompenzaci polohových odchylek při montáži. Rozdíl mezi pasivní a aktivní mechanickou adaptivitou spočívá v tom, že u aktivní kompenzace dokáže mechanismus koncového efektoru při vychýlení osy čepu vzhledem k ose díře při montáži toto vychýlení eliminovat posunem čepu v rovině „x-y“ (aby došlo ke ztotožnění os čepu a otvoru). [39]



- **Senzorická pasivní adaptivita**

U svislé montáže pracuje pasivní senzorická adaptivita tak, že při montáži čepu je pomocí senzorů zjištěna velikost vychýlení osy čepu vzhledem k ose montážního otvoru. Informace o vychýlení je zpracována a vhodným způsobem odeslána do řídicího systému robotu. Ten informaci dále zpracuje a vygeneruje vhodný pohyb k přesunutí koncového efektoru v rovině „x-y“ pro eliminaci vychýlení čepu. [39]

- **Senzorická aktivní adaptivita**

Tento typ adaptivity je vhodný i pro nesvislou montáž, protože obsahuje systém pro zjištění vychýlení čepu vlivem tíhových sil například při vodorovné montáži. Před samotnou montáží systém nejdříve vykompenzuje vychýlení tíhovým klopným momentem tak, aby osa čepu byla ve vodorovné poloze, pak dojde k přiblížení čepu k montážnímu otvoru a kompenzací jako u pasivní senzorické adaptivity. [39]

3.6 Rozsah adaptivity

Kompenzace orientačního ústrojí musí být schopno kompenzovat odchylky vzniklé při výrobě montážního otvoru. Další úchytky polohy i orientace mohou vznikat při montáži jednotlivých dílů a uložení montážní sestavy na místo určené k montáži. Průmyslový robot nebo manipulátor, který vykonává montážní cykly, dosahuje rovněž určitých nepřesností. Pak lze psát

$$\Delta_c = \Delta_v + \Delta_m + \Delta_u + \Delta_{pr} \quad (6)$$

V předchozí kapitole bylo zvoleno použití robotu ABB IRB460, jehož opakovatelná přesnost polohování dosahuje hodnoty 0,2 mm. Tato hodnota zároveň představuje uvažovanou polohovou úchytku $\Delta_{pr} = 0,2$ mm. Nepřesnost uložení montážní sestavy lze předpokládat v desetinách mm. Necht' je považována hodnota maximálně $\Delta_u = 0,2$ mm (jako předpis pro konstruktéra výměníku montážních sestav / palet s montážními sestavami). Pro stanovení montážních a výrobních nepřesností lze využít [27], str. 126, tab. Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů. Pro rozsah do 2000 mm (přibližně odpovídá pracovnímu rozsahu robotu) dosahuje nejmenší mezní úchytky hodnoty $\Delta_v = 0,5$ mm. Velikost montážní úchytky závisí na počtu montážních prvků. Pak obecně platí

$$\Delta_m = (n_{ms} - 1) \cdot \Delta_v \quad (7)$$

protože každý montážní prvek může dosahovat mezních výrobních úchylek. Pokud je montován pouze jeden montážní prvek, pak montážní nepřesnost je rovna nule. Potom rovnice (6) nabývá tvar

$$\Delta_c = n_{ms} \cdot \Delta_v + \Delta_u + \Delta_{pr} \quad (8)$$

Pro výpočet rozsahů polohové adaptivity lze zavést několik příkladů:

a) Pro velmi přesné tolerované rozteče děr v tolerancích IT7 [39], pro charakteristický rozměr (při výpočtu hodnoty maximální úchytky podle tolerance IT7 [27], str. 88) do 30 mm, pro jeden montážní prvek lze vypočítat

$$\Delta_c = n_{ms} \cdot \Delta_v + \Delta_u + \Delta_{pr} = 1 \cdot 0,5 + 0,2 + 0,2 = 0,9 \approx 0,5 \quad (9)$$

$\Delta_c = 0,5 \text{ mm}$

b) Pro střední třídu přesnosti [27], str. 126, pro charakteristický rozměr do 400 mm, pro jeden montážní prvek lze vypočítat



$$\Delta_c = n_{ms} \cdot \Delta_v + \Delta_u + \Delta_{pr} = 1 \cdot 0,5 + 0,2 + 0,2 = 0,9 \approx 1,0 \quad (10)$$

$$\underline{\Delta_c = 1 \text{ mm}}$$

c) Pro hrubou třídu přesnosti [27], str. 126, pro charakteristický rozměr do 2000 mm, pro jeden montážní prvek lze vypočítat

$$\Delta_c = n_{ms} \cdot \Delta_v + \Delta_u + \Delta_{pr} = 1 \cdot 3 + 0,2 + 0,2 = 3,4 \approx 3,5 \quad (11)$$

$$\underline{\Delta_c = 3,5 \text{ mm}}$$

Z výše uvedených výpočtů lze zavést skupiny:

- a) rozsah polohové adaptivity od 0 mm do 0,5 mm
- b) rozsah polohové adaptivity nad 0,5 mm do 1 mm
- c) rozsah polohové adaptivity nad 1 mm do 3,5 mm
- d) rozsah polohové adaptivity nad 3,5 mm

Pro rozsah úhlové adaptivity lze vyjít z analogie pro polohovou adaptivitu. V [27], str. 126, tab. Nepředepsané mezní úchytky úhlových rozměrů lze stanovit následující: polohování průmyslového robotu ABB IRB 460 lze zařadit do kategorie jemné třídy přesnosti. Pro jemnou třídu přesnosti platí $\delta_{pr} = 0^\circ 5'$. Maximální montážní úhlovou úchytku lze odhadnout obdobně; maximální polohová úchytky 0,2 mm pro rozsahy do 2000 mm spadá do jemné třídy, takže $\delta_m = 0^\circ 5'$. Pak lze zavést příklady analogické příkladům pro polohovou adaptivitu:

a) Pro zadané parametry polohových úchylek $\delta_v = 1^\circ$. Pak maximální úhlová úchytky

$$\delta_c = n_{ms} \cdot \delta_v + \delta_u + \delta_{pr} = 1 \cdot 1^\circ + 0^\circ 5' + 0^\circ 5' = 1^\circ 10' \approx 1^\circ 30' \quad (12)$$

$$\underline{\delta_c = 1^\circ 30'}$$

b) Pro zadané parametry polohových úchylek $\delta_v = 1^\circ$. Pak maximální úhlová úchytky

$$\delta_c = n_{ms} \cdot \delta_v + \delta_u + \delta_{pr} = 1 \cdot 1^\circ + 0^\circ 5' + 0^\circ 5' = 1^\circ 10' \approx 1^\circ 30' \quad (13)$$

$$\underline{\delta_c = 1^\circ 30'}$$

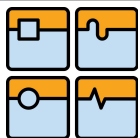
c) Pro zadané parametry polohových úchylek $\delta_v = 1^\circ 30'$. Pak maximální úhlová úchytky

$$\delta_c = n_{ms} \cdot \delta_v + \delta_u + \delta_{pr} = 1 \cdot 1^\circ 30' + 0^\circ 5' + 0^\circ 5' = 1^\circ 40' \approx 2^\circ \quad (14)$$

$$\underline{\delta_c = 2^\circ}$$

Potom lze doplnit do skupin:

- a) rozsah polohové adaptivity od 0 mm do 0,5 mm, rozsah úhlové adaptivity $1^\circ 30'$
- b) rozsah polohové adaptivity nad 0,5 mm do 1 mm, rozsah úhlové adaptivity $1^\circ 30'$
- c) rozsah polohové adaptivity nad 1 mm do 3,5 mm, rozsah úhlové adaptivity 2°
- d) rozsah polohové adaptivity nad 3,5 mm, rozsah úhlové adaptivity nad 2° .



4 Přehled vynálezů

Spherical joint of a hydrostatic piston machine

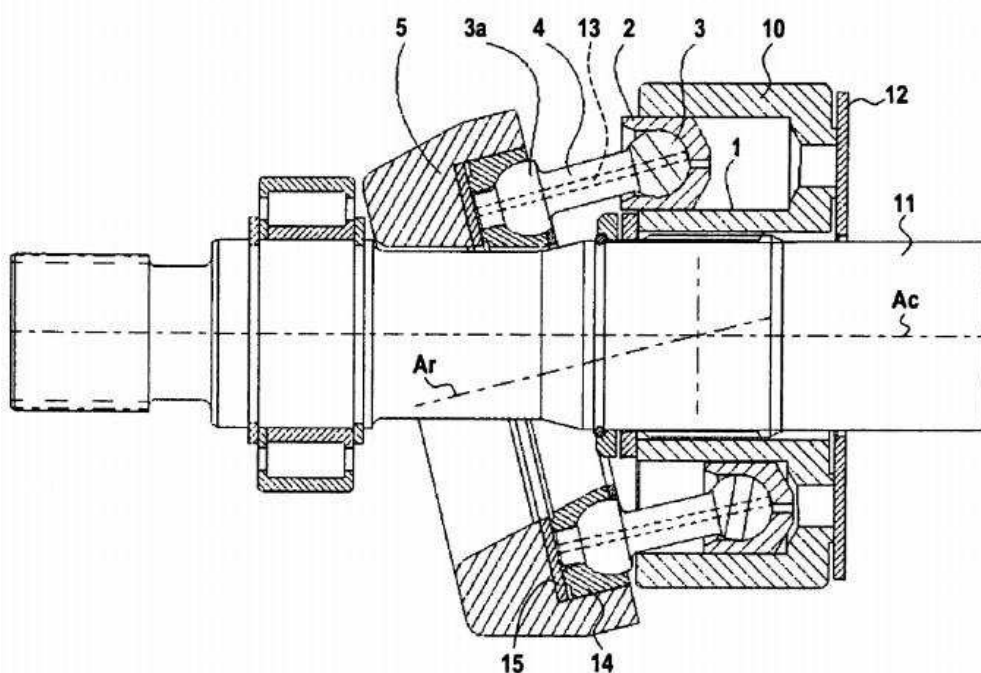
Původce: Vladimír Galba, Nová Dubnica (Slovenská republika)

Majitel: Poclain Hydraulics, Verberie (Francie)

Podstatou vynálezu je mechanismus, který může fungovat jako orientační zařízení průmyslového robotu. Mechanismus je poháněn tlakovou kapalinou. Zařízení sestává z bloku válců (10), ve kterém je vyvrtáno několik válců. Ve válcích jsou uloženy písty (2), které jsou opatřeny vnitřní kulovou plochou (3) pro uložení pístní tyče (4) sférickou vazbou. Pístní tyč (4) je na obou koncích opatřena vnější kulovou plochou pro uložení v pístu (2) na jedné straně a kluzného ložiska (14) na druhé straně. Kluzné ložisko (14) je uloženo v reakčním členu (5).

Mechanismus má celkem tři stupně volnosti, protože je uložen na hřídeli (11). Samotný mechanismus slouží k řízení dvou os. K tomu, aby zařízení mohlo být využito jako orientační ústrojí u průmyslových robotů, je nutné, aby blok válců (10) byl opatřen právě čtyřmi válci vzájemně přesazenými o 90°. Díky tomu je umožněno řídit každou osu zvlášť. [11]

Mezi výhody při použití jako orientačního ústrojí v průmyslové robotice patří jednoduchá konstrukce a poměrně velká zatížitelnost při zachování kompaktních rozměrů konstrukce. Mezi nevýhody patří velmi malá tuhost třetí neřízené osy, nutnost použití hydraulické kapaliny a nemožnost vymezit vůle u sférických vazeb. V důsledku toho může dojít ke snížení přesnosti zařízení. Nevýhodné je rovněž kluzné uložení sférických vazeb v pístech.



Obr. 4.1: Spherical joint of a hydrostatic piston machine [11]

**Robot arm mechanism and robot using the same**

Číslo patentu: US 8,490,510 B2

Datum udělení patentu: 23.7.2013

Původce: Bo Long, Shenzen (Čína)

Majitel: Hong Fu Jin Precision Industry Co., Ltd., (Čína) a Hon Hai Precision Industry Co., Ltd., (Taiwan)

Vynález řeší polohování nebo orientaci průmyslového robotu. Zařízení podle tohoto vynálezu má dva stupně volnosti, které jsou realizovány rotačními vazbami. Zařízení sestává ze základu (10), který je tvořen základovou deskou obdélníkového tvaru (11), válcovou skořepinou (13) a první výstupní hřídelí (15). První výstupní hřídel (15) je opatřena soustřednou dutinou (151) pro umožnění vedení kabeláže od základu (10) k servomotorům (50) a (60). Základ (10) je opatřen příívodem (17) a odvodem (19) chladicího vzduchu. Na první výstupní hřídeli (15) je uložena druhá skořepina (32). Ta sestává z hlavního tělesa (322) a krytu (324). Příruba (34) slouží k upevnění první výstupní hřídele (15). Hlavní těleso (322) je opatřeno otvorem (342) pro vedení kabelů napájení a řízení servomotorů, fixačním členem (37) s otvorem (372) pro upevnění servomotoru (50) řízení první osy, dále druhým fixačním členem (38) s otvorem (382) pro uložení servomotoru (60) pro řízení druhé osy. Z obrázku je zřejmé, že rotační osy jsou vzájemně kolmé. K hlavnímu tělesu (322) je rotačně uložena druhá výstupní hřídel (36). Ve skořepině (32) je zaveden chladicí okruh, kterým proudí vzduch. Chladicí okruh je tvořen soustavou tvarovaných trubek (74). Cirkulační smyčky (746), obklopující servomotory (50) a (60), jsou opatřeny otvory (742) pro ofukování vnějšího povrchu servomotorů (50) a (60). Tento chladicí okruh je upevněn dvěma opěrnými členy 80, sestávajícími z fixačních částí (82) a (84).

Z patentového spisu není zcela jasné konstrukční řešení převodových mechanismů pohonu rotačních os. Podle nákrešů lze předpokládat, že mechanismus může být opatřen buď kombinací převodu čelního a cykloidního převodu nebo čelního a harmonického převodu, popřípadě místo čelních převodů je možné pohon opatřit převody se synchronními řemeny. Je rovněž možné, že zařízení je osazeno momentovými servomotory, které nepotřebují pro vyvinutí velkého točivého momentu převodový člen s velkým převodovým poměrem. [30]

Technický náčrt je v příloze 1.

Mezi výhody patří integrace pohonu dvou os do jednoho tělesa nebo chlazení vzduchem. Mezi nevýhody patří právě nutnost použití tlakového vzduchu jako chladicího média. Bez něj by mohlo docházet k přehřívání motorů v tak malém prostoru.

Joint mechanism for robot

Číslo patentu: US 8,549,951 B2

Datum udělení patentu: 25.1.2011

Původci: Shen-Chun Li, Tu-Cheng (Taiwan); Hsien-Chuan Liang, Tu-Cheng (Taiwan); Shou-Kuo Hsu, Tu-Cheng (Taiwan)

Majitel: Hon Hai Precision Industry Co., Ltd., New Taipei (Taiwan)

Předmětem vynálezu je opět mechanismus (100) se dvěma stupni volnosti určený pro použití jako orientační ústrojí průmyslového robotu. Mechanismus je tvořen ze základu (10), který dále sestává z hlavní části (12), v níž je v montážním otvoru (122) uložena servomotor (20) pro pohon osy „z“ držáku koncového efektoru (34), dále sestává ze sestavy uložení rotační osy „z“ (14). Rotační uložení osy „z“ (14) je tvořeno dvěma

Podle patentového spisu (kapitola Summary of the invention – shrnutí vynálezu) je vícestupňový mechanismus vhodný pro použití při ovládání optických čoček u kamerových

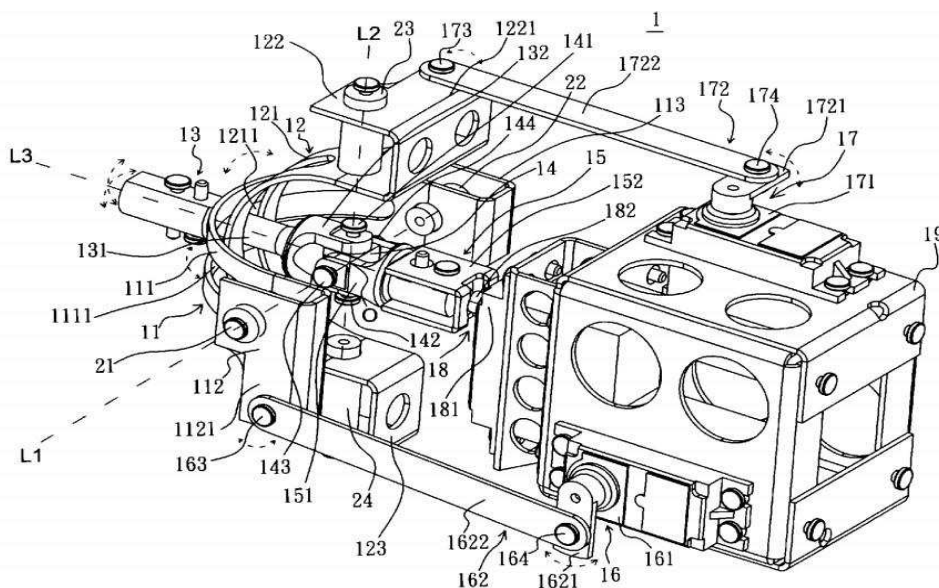


systémů nebo u robotů. Předmětem vynálezu je mechanismus o více stupních volnosti, který je snadno výrobitelný a smontovatelný. Mechanismus je schopen ovládat tři vzájemně ortogonální rotace.

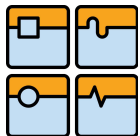
Zařízení sestává ze základu (19), který je zkonstruován z tvarových plechových dílců, tvořících klec. Uvnitř klece je prostor pro upevnění motorů. Na základu jsou upevněny řídicí jednotky pro osu L1 (16) a pro osu L2 (17). Tělesa řídicích jednotek jsou uzpůsobena pro uložení ovládacích čepů s rameny (1621) a (1721). Na ramenech (1621) a (1721) jsou rotačně uložena táhla (1622) a (1722), která přenáší rotační pohyb na ovládací jednotky pro osu L1 (11) a pro osu L2 (12). Ovládací jednotky (11) a (12) jsou konstruovány z tvarových plechů. Takový tvarový plech má na obou koncích otvory pro vložení fixačních hřídelí (21), (22), (23) a (24). Osy fixačních hřídelí reprezentují osy rotace ovládací jednotky. Ovládací jednotka je dále opatřena ramenem s čepem (163) a (173), na kterých jsou uložena právě uložena táhla (1622) a (1722). Drážkami (1111) a (1211) ovládacích jednotek prochází hřídel. Drážky (1111) a (1211) jsou vzájemně kolmé, aby při ovládání rotací nedocházelo k vzájemnému ovlivňování.

Osa L3 je řízená pomocí řídicí jednotky (18) přes třetí ovládací jednotku (15), kardanův kloub (132) a řízenou tyč (131) a výstupní čep (13). [28]

Výhodou zařízení podle tohoto vynálezu je schopnost řízení všech tří rotačních os současně při velmi malé prostorové náročnosti. Principiálně je tedy toto zařízení výhodně použitelné v robotice, ale uvedený konstrukční návrh je náchylný na vznik vůlí v čepích a hlavně v drážkách ovládacích jednotek. Tato nevýhoda má nepříznivý vliv na přesnost mechanismu.



Obr. 4.3: Multi- degree- of- freedom motion mechanism [28]

**Kulový kloub s alespoň dvěma stupni volnosti**

Číslo patentu: CZ 302298 B6

Datum udělení patentu: 29.12.2010

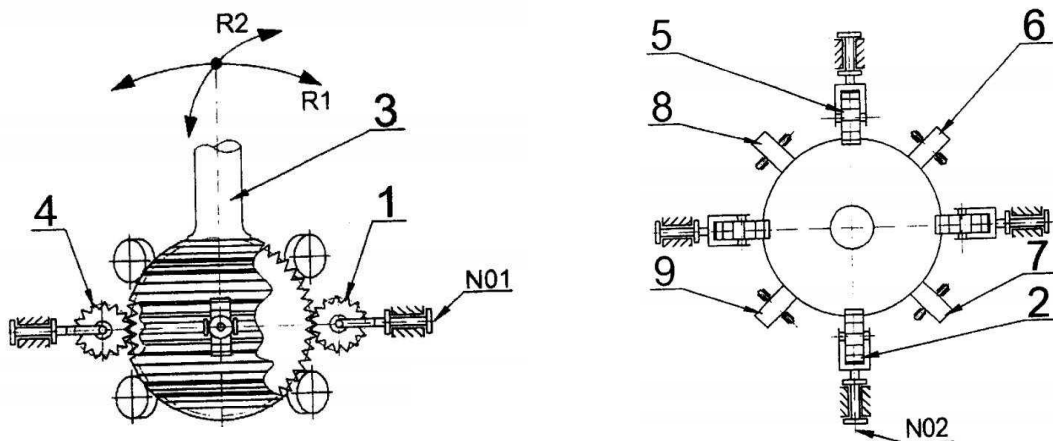
Původci: Andrlík Vladimír Doc. Ing. Csc., Praha, Česká republika; Jurda Pavel Ing. PhD., Prostějov, Česká republika

Majitel: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení, Česká republika

Předmětem vynálezu je řízený kulový kloub. Zařízení sestává ze samotného kulového kloubu (3), opatřeného soustavou rovnoběžných drážek, tvořících části zubů, přičemž osa zubů směřuje do středu kulového kloubu (1). Osa R1 je poháněna ozubeným pastorkem (1), osa R2 je poháněna pastorkem (2). Oba hnací pastorky (1) i (2) mají naproti sobě (otočené o 180°) ozubené kladky (4) a (5). Kulový kloub (1) fixují ve své poloze celkem čtyři opěrné kladky s bombírovaným povrchem (6), (7), (8), (9). Pro pohon třetí osy může být přítomen třetí ozubený pastorek (10) s opěrnou kladkou (11).

Pro zaručení funkčnosti jsou všechny ozubené pastorky i ozubené kladky rotačně uloženy v držácích, které jsou rotačně uloženy v rámu. Osy těchto rotačních stupňů volnosti jsou vzájemně kolmé. Na obrázku není znázorněn pohon ozubených pastorků pro možnost řízení kulového kloubu. [5]

Výhodou technického řešení podle tohoto vynálezu je schopnost dosáhnout kompaktní konstrukce, jednoduchého řízení os a malé hmotnosti mechanismu. Za nevýhody lze obecně považovat dosažení menších momentů na zápěstí, horší přesnost a problematické uložení kulového kloubu. Horší přesnost lze samozřejmě kompenzovat instalací dalších tří motorů nebo servomotorů a náhrada ozubených kladek za ozubené pastorky. Tím by bylo možné vytvořit master-slave způsob řízení, takže by za provozu došlo k vymezení vůlí.



Obr. 4.4: Kulový kloub s alespoň dvěma stupni volnosti [5]

Double slotted socket spherical joint

Číslo patentu: US 6,234,703 B1

Datum udělení patentu: 22.5.2001

Vynálezci: Lothar F. Bieg; Gilbert L. Benavides, Albuquerque, Spojené státy Americké

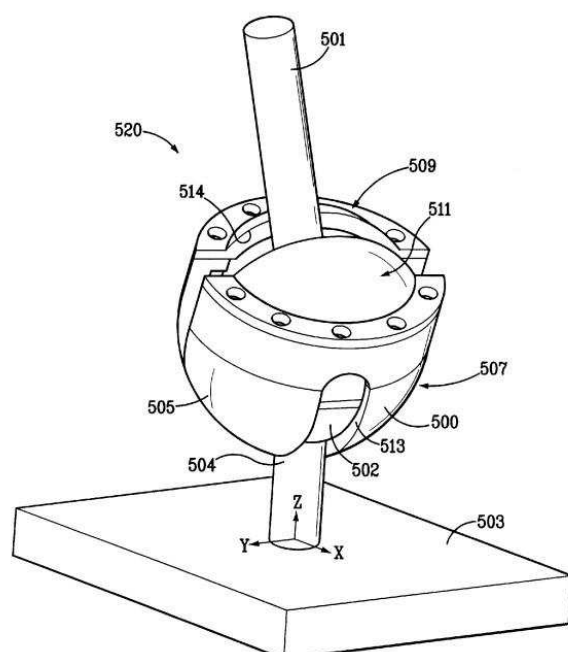
Majitel: Sandia Corporation, Albuquerque, Spojené státy Americké

Vynález se týká zdvojeného kulového kloubu. Mechanismus sestává ze základové hřídele (504), která je podle nákresu spojena s rámem. Základová hřídel (504) je upevněná k ložiskové pánvi (502). Ložisková pánev (502) je uložena v pánvi kulového kloubu (505) a



(507) tak, že má vzhledem k pánvi kulového kloubu (505) a (507) dva rotační stupně volnosti. Třetí rotační stupeň volnosti odebírá drážka (513), rozdělující pánev kulového kloubu na dvě části (505) a (507). V ložiskové pánvi je dále uložen kulový kloub (500) se třemi stupni volnosti. K oběma částem pánve kulového kloubu (505) a (507) je šrouby (515) upevněn držák sférického kloubu (509). Ten je opět opatřen drážkou, která odebírá jeden stupeň volnosti kulového kloubu (500) vzhledem k držáku sférického kloubu (509). Drážky jsou vzájemně kolmé, aby byla zachována ortogonalita jednotkových vektorů rotačních stupňů volnosti. Zařízení podle vynálezu má tak celkem tři rotační stupně volnosti. [31]

Smysl zdvojeného kulového kloubu spočívá ve zvýšení úhlu rozsahu rotačních stupňů volnosti. Zatímco standardní kulový kloub má rozsah menší než 180° , mechanismus podle vynálezu dosahuje rozsahu 270° .



Obr. 4.5: Double slotted socket spherical joint [31]

Robotic compliance mechanism

Číslo patentu: US 7,765,891 B2

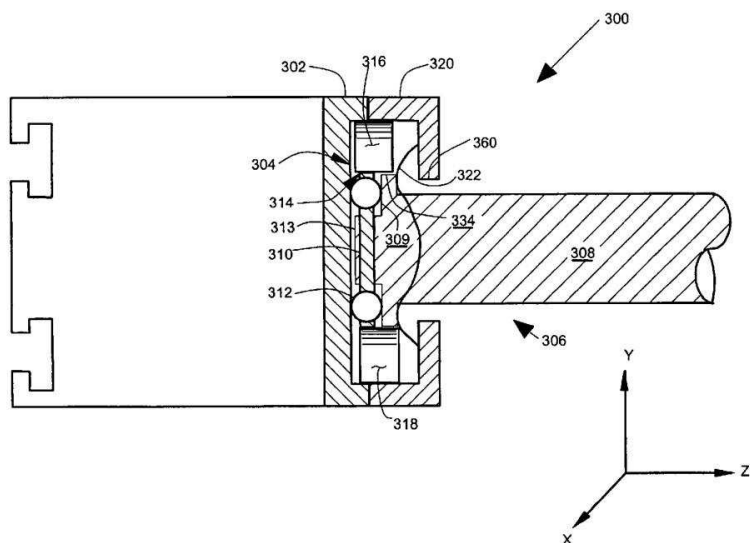
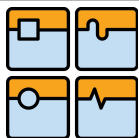
Datum udělení patentu: 3.8.2010

Původci: Mark Dennis Anderson, Champlin, Minnessota, Spojené státy Americké; Mark August Toffle, St. Louis Park, Minnessota, Spojené státy Americké

Majitel: Seagate Technology, LLC, Scotts Valley, California, Spojené státy Americké

Vynález řeší poddajné uložení čepu hřídele v ložisku. Sestává z hřídele (308) s axiálním čepem, který je opatřen druhým ložiskovým povrchem. Axiální čep je uložen v prostoru základního tělesa (302). Rovinný povrch (304) základního tělesa (302), rovnoběžný s druhým ložiskovým povrchem, je broušený a uzpůsobený pro valení ložiskových kuliček (312). Ta jsou držena v kleci (310), jejíž vnitřní průměr je uložen na konci axiálního čepu hřídele (308). Ložiskový prostor základního tělesa (302) uzavírá vnější držák (320). Vnější držák (320) slouží jako podpora pro pružnou tvarovanou podložku (322), jejíž konvexní povrch doléhá na příslušnou plochu axiálního čepu hřídele (308) a tím ji drží ve své poloze. Hřídel je držena ve své poloze také díky tvarovanému pružnému pásu (316) a (318).

Mechanismus má jeden rotační stupeň volnosti v ose „z.“ Přítomnost pasivní kompenzace umožňuje posuvy v osách „x,“ „y“ i „z,“ kompenzace ose „z“ je ale pouze jednosměrná. [4]



Obr. 4.6: Robotic compliance mechanism [4]

Flexible seal for a spherical joint

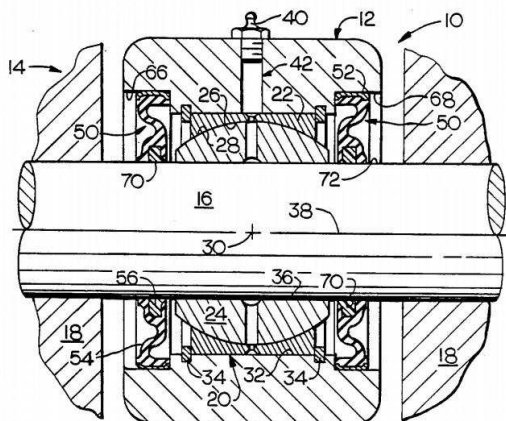
Číslo patentu: 4,553,760

Datum udělení patentu: 19.11.1985

Původci: Lyle T. Red, Farmington, Illinois, Spojené státy Americké; Arthur E. Olt, Jr., Pekin, Illinois, Spojené státy Americké

Majitel: Caterpillar Tractor Co., Peoria, Illinois, Spojené státy Americké

Vynález řeší utěsnění pro kulový kloub pomocí jednoho nebo dvou elastomerových těsnicích podložek (56). Podložky jsou uzpůsobeny pro neomezenou rotaci hřídele (16) okolo vlastní osy (38) s možností naklápění hřídele (16) okolo zbylých dvou os v rozmezí několika stupňů. Pro spolehlivou funkci je důležité umístit podložky do definované vzdálenosti od středu (30) kulové plochy spoje. Elastomerové podložky (50) jsou dále opatřeny těsnicími břitzy (70), které jsou v kontaktu s vnějším povrchem hřídele (16). Nevýhodou tohoto řešení je poměrně malý rozsah úhlů, jakých může kulový kloub dosahovat. [35]



Obr. 4.7: Flexible seal for a spherical joint [35]



5 Návrh variant řešení

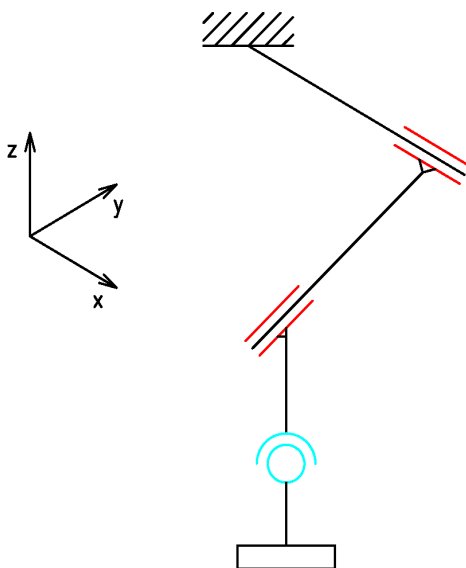
V rámci diplomové práce bylo vypracováno sedm koncepčních variant do fáze počítačového 3D modelu, kromě varianty V4, jejíž konstrukce se ukázala jako nepříliš smysluplná. Dále je zde vypracována varianta V3a, což je ale zjednodušující úprava varianty V3 na použití s angulárním šestiosým robotem. Mezi koncepčními variantami lze rozpoznat rozdíly v míře propracovanosti. Zatímco varianty V1 a V2 jsou méně propracované a neřeší všechny detaily, varianta V7 je rozpracována podrobně. Nutno podotknout, že stav rozpracovanosti obecně nemá vliv na výběr konečné varianty.

Dalším rozdílem koncepčních variant je návrh těchto variant na určitý typ koncových efektorů. Varianty V1, V2, V3 a V3a uvažují použití standardních chapadel, ostatní varianty počítají s upevněním rázového utahováku jakožto koncového efektoru určeného primárně na montáž šroubů. Tato zaměření opět nemají vliv na hodnocení konečné varianty.

5.1 Varianta V1

5.1.1 Kinematické schéma

Topologie orientačního ústrojí podle varianty V1 je zobrazena na obr. 5.1.1. Orientační ústrojí má 2 rotační stupně volnosti ve směru os „A“ a „B.“ Zároveň má integrované kompenzace. Polohová kompenzace pracuje ve dvou osách „x“ a „y,“ orientační kompenzace pracuje rovněž v osách „A“ a „B.“ Polohová kompenzace je v kinematickém řetězci za orientačním ústrojím(dál od ramena robotu než orientační ústrojí). Díky tomuto seřazení může nastat problém s polohovou kompenzací, protože zařízení neumožňuje kompenzovat polohu v ose „z.“



Obr. 5.1.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V1

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

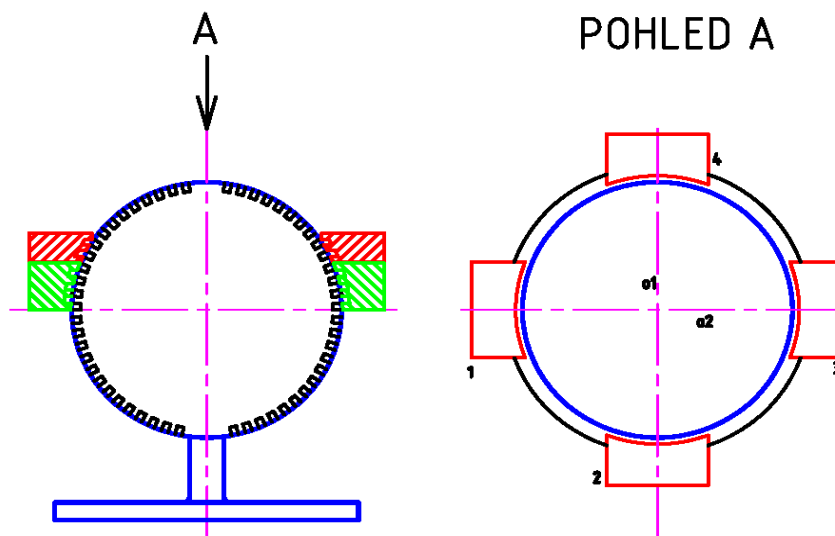
5.1.2 Princip funkce

Orientační ústrojí pracuje na principu krokového motoru, integrovaného do kulového kloubu. Krokový motor sestává z kulového kloubu, který je na svém povrchu opatřen magnetickými jehlami. Jehly jsou na povrchu rozmístěny těsně u sebe a jejich osa směřuje do středu kulové plochy. Jehly jsou z magneticky tvrdé oceli. Ve statoru jsou umístěny cívký podle obr. 5.1.2. Celkem 8 cívek řídí dva rotační stupně volnosti kloubu a jeden rotační stupeň volnosti odebírají.

Řízení orientačního ústrojí sférickým krokovým motorem probíhá takto: Vždy, když je nutné natočit orientační ústrojí v ose o1, spínají postupně soustavy cívek 1 a 3. Červené cívký a zelené cívký jsou sepnuty vždy současně 1 a 3. Pokud jsou právě sepnuty červené cívký 1 a 3, provede se krok tak, že sepnou zelené cívký 1 a 3 za současného vypnutí cívek 1 a 3. Další krok se provede opět vypnutím zelených cívek 1 a 3 a sepnutím červených cívek 1 a 3. Cívký 2 a 4 jsou přitom permanentně zapnuté, aby nedošlo k samovolné rotaci v ose o2. Obdobným způsobem lze řídit osu o2.

Jakmile se orientační ústrojí ustaví do předpokládané orientace, dojde řízením robotu k přiblížení čepu nebo šroubu (dále prvku montáže) upnutého na koncovém efektoru k díře, do které se má prvek montáže montovat. Současně se při kontaktu montovaného prvku s okrajem díry kompenzuje polohová i úhlová úchylka. K tomu, aby nedošlo k chybné kompenzaci, kdy by se například prvek montáže vychýlil natolik, že by jej nebylo možné vložit do díry, slouží aretace orientačního ústrojí, která brzdí kompenzační stupně volnosti. Aretace při vkládání čepu do díry postupně zvyšuje odporovou sílu. Po vložení prvku montáže do montážní díry uvolní koncový efektor tento prvek a robot přepoložuje koncový efektor opět do jiné polohy. Podstatné je, že při uvolnění koncového efektoru se polohová kompenzace ustaví zpět do výchozí polohy, ale orientační kompenzace se nemusí vrátit do výchozí polohy, protože může dojít ke ztrátě kroku.

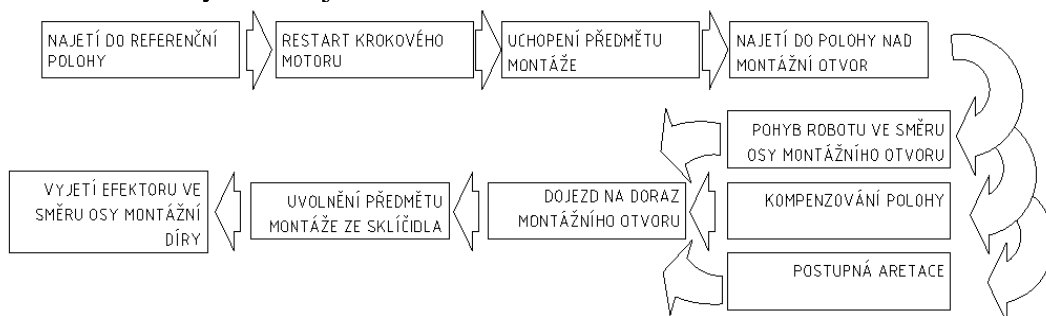
Sférický krokový motor je opatřen jednoduchou zpětnou vazbou. Zpětnou vazbu tvoří analogové magnetické snímače, které jsou zabudovány ve statoru krokového motoru. Při zapnutí robotu se musí tedy orientační ustavit do referenční polohy, odkud se bude počítat počet kroků pro najetí do požadované polohy a současně odečítat počet impulzů v magnetických snímačích. Počet impulzů v magnetických snímačích odpovídá počtu jehel, které se dostaly do těsného kontaktu se snímači. Při montáži čepu nebo šroubu do díry musí řídicí software robotu dostat informaci, pod jakým úhlem je díra skloněna, protože řídicí software robotu musí při montáži zajistit pohyb koncového efektoru ve směru osy díry. Tuto informaci může získat buď z magnetických snímačů sférického krokového motoru, nebo přímo z programu.



Obr. 5.1.2: Princip funkce varianty V1

5.1.3 Pracovní cyklus

Při návrhu orientačního ústrojí podle varianty V1 vznikl předpoklad, že orientační zařízení bude opatřeno přírubou, která na sobě ponese koncový efektor. Koncový efektor bude plnit funkci speciálního sklíčidla, které bude schopné upnout různé velikosti šroubů nebo čepů, a bude mít možnost rotovat v ose „C“ v souřadném systému efektoru. Další předpoklad počítá se zásobníkem prvků montáže, kdy po každém pracovním cyklu (zašroubování šroubu nebo vložení čepu do díry) dojde k upnutí prvku montáže do sklíčidla koncového efektoru. Právě při upínání prvku montáže se musí orientační ústrojí napolohovat do nějaké dané polohy. Tuto skutečnost lze využít pro restart krokového motoru, když bude zavedeno, že poloha při upnutí prvku montáže bude zároveň referenční polohou. Pracovní cyklus lze jednoduše zobrazit ve schématu: Na obr. 5.1.3:

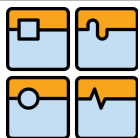


Obr. 5.1.3: Schéma pracovního cyklu varianty V1

5.1.4 Přehled nákrešů a legenda

Nákresy jsou zobrazeny v přílohách 2 a 3.

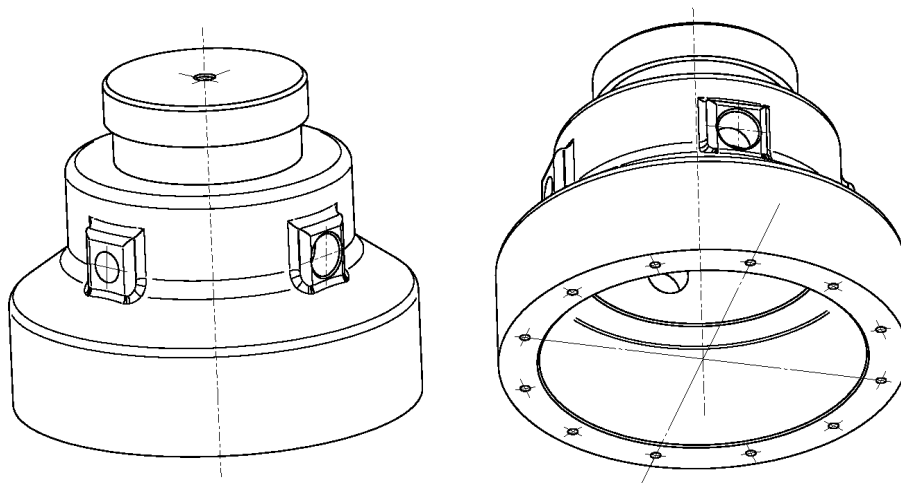
1 Skříň	6 Píst	11 Pero
2 Spodní držák	7 Sedlo pístu	12 Pružina pístu
3 Příruba	8 Spodní držák kloubu	13 Cívka
4 Kulový kloub	9 Vymezovací podložka	14 Magnetický snímač
5 Horní uložení kloubu	10 Deska pružiny	15 Pásová pružina



5.1.5 Popis konstrukce

Nosným prvkem orientačního ústrojí podle varianty V1 je skříň (1). Skříň (1) je v horní části opatřena vnějším závitem pro upevnění orientačního ústrojí do konstrukce robotu. Na horní ploše se nachází díra s vnitřním trubkovým závitem G1/8" pro zašroubování pneumatického nástrčného šroubení. Tento prvek slouží k přístupu tlakového vzduchu do aretačního válce pro ovládání aretace. Na vnějším povrchu skříně (1) jsou vyvrtány otvory pro vedení silové kabeláže k cívkám (13) sférického krokového motoru i kabeláže pro vedení signálů z magnetických snímačů (14). Na spodní ploše skříně (1) jsou slepé díry s vnitřními závity. Ty slouží k upevnění spodního držáku (2).

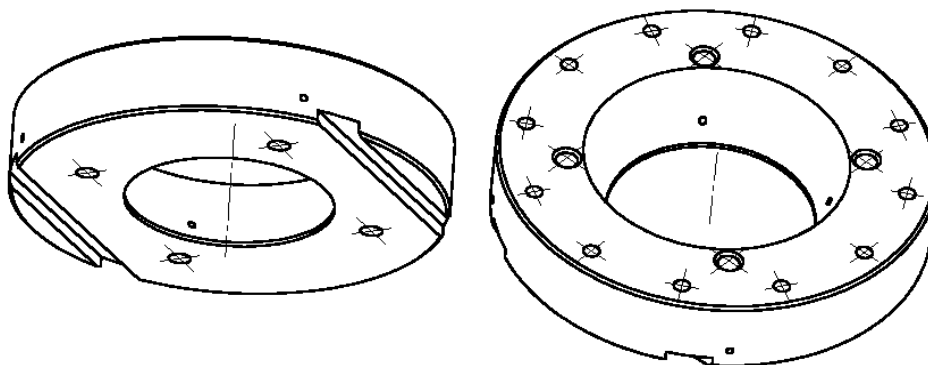
Spodní držák (2) je disková rotační součást s dírou uprostřed pro průchod příruby (3). Dále je spodní držák (2) na vnitřní straně opatřen drážkou pro posuv pera (11) v jednom kompenzačním směru.



Obr. 5.1.4: Skříň varianty V1

Pero (11) slouží k tomu, aby při polohové kompenzaci nedocházelo k protáčení sférického motoru v ose „z.“. Shora Pero (11) zapadá do drážky vyfrézované ve spodní ploše spodního držáku kloubu (8). Drážky jsou vzájemně kolmé, čímž pádem je sférickému motoru umožněn rovinný pohyb ve dvou osách. Pohyb omezuje pružina (15). Sférický krokový motor je tvořen spodním držákem kloubu (8), horním uložením kloubu (5), kulovým kloubem (4), cívkami (13) magnetickými snímači (14).

Na broušené vnitřní ploše spodního držáku (2) je posuvně uloženo spodní uložení kloubu (8). Spodní uložení kloubu (8) je rotační součást, uvnitř které je vyrobena broušená část kulové plochy. Tato plocha slouží k uložení kulového kloubu (4). Spodní uložení kloubu (8) kromě dvanácti otvorů s vnitřním závitem M6 pro sestavení spodního uložení kloubu a horního uložení kloubu (5) je opatřeno čtyřmi děrami M8 pro našroubování magnetických snímačů (14). Pro správnou funkci magnetických snímačů (14) jsou ve spodním uložení kloubu (8) vyvrtány čtyři kolmé díry. Díry slouží pro vedení ocelových čepů od povrchu indukčních snímačů ke kulovému povrchu.



Obr. 5.1.5: Spodní držák kloubu varianty V1

K zajištění minimální vůle v kulovém kloubu je mezi spodním uložením kloubu (8) a horním uložením kloubu (5) distanční podložka (9). Výška distanční podložky (9) je přesně zbroušená. Obě uložení jsou pro správnou funkci vyrobená z nemagnetického materiálu. Horní uložení kloubu (5) je rotační součást podobná spodnímu uložení kloubu (5). Rozdíl je v tom, že díry pro vedení magnetických snímačů (14) nemají kvůli smontovatelnosti vnitřní závit. Dále jsou v horním uložení kloubu kapsy pro uložení cívek (13) krokového motoru.

Uvnitř spodního držáku kloubu (8) a horního držáku kloubu (5) je uložen kulový kloub (4). Povrch kulového kloubu je nejlépe z bronzu nebo jiného kluzného materiálu kvůli dosažení co nejmenších pasivních odporů a je osazen velkým množstvím děr s velmi malým průměrem pro uložení magnetických jehlic. Ve spodní části kulového kloubu (4) je díra s vnitřním závitem pro zašroubování příruby (3) orientačního ústrojí. Závitový spoj je navržen s přesahem, aby nedošlo k uvolnění.

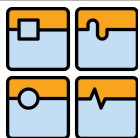
Aretace orientačního ústrojí se skládá z pístu (6), sedla pístu (7) a pružiny pístu (12). Spodní povrch sedla pístu (7) je vyroben z materiálu, který zajišťuje co největší součinitel smykového tření. Naopak povrch vnitřní kulové plochy pro uložení pístu (6) musí zajistit co nejlepší kluzné vlastnosti. Jak bylo uvedeno, vazba sedla pístu (7) a pístu (6) je sférická. Důvod je v požadavku na polohové kompenzace. Při vychýlení sférického krokového motoru dojde k naklonění sedla pístu (7), ale samotný píst (6) nemusí být vyosen. Píst (6) s integrovanou pístní tyčí má zdvih maximálně 2 mm, je ovládán tlakovým vzduchem a při odlehčení je vracen zpět do výchozí polohy pružinou pístu (12).

Výhody varianty V1

- integrované kompenzace – technické řešení šetří místo, orientační kompenzace je integrovaná přímo v orientačním ústrojí
- poměrně snadné řízení
- aretace řízená pneumaticky – lze dávkovat sílu aretace
- sférický krokový motor – malé rozměry pohonu

Nevýhody varianty V1

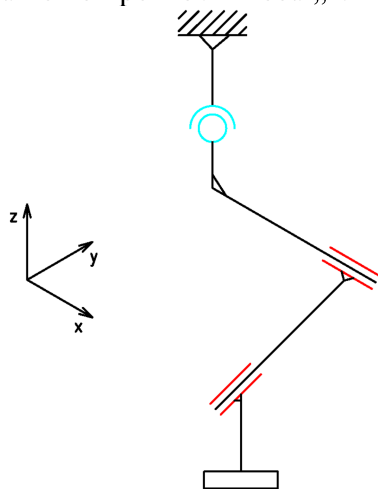
- spolehlivost – mechanický typ pasivní kompenzace je spolehlivá pouze při odchylkách zhruba do 0,5 mm
- polohová kompenzace nepředchází orientačnímu ústrojí – pro dokonalejší kompenzaci je potřebná polohová kompenzace i v ose „Z“
- nedostatečné zabrzdění rotační osy „C“



5.2 Varianta V2

5.2.1 Kinematické schéma

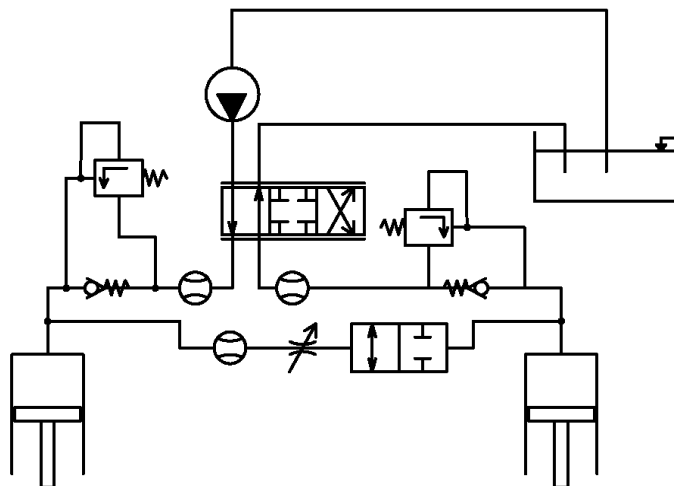
Kinematické schéma varianty V2 je zobrazeno na obr. 5.2.1. Orientační ústrojí má opět dva rotační stupně volnosti, jako v případě varianty V1 v osách „A“ a „B.“ Rotační kompenzace jsou opět integrovány do orientačního mechanismu. Polohové kompenzace jsou v osách „x“ a „y,“ ale na rozdíl od varianty V1 jsou tyto kompenzace v osách souřadného systému koncového efektoru. Z této skutečnosti vyplývá větší spolehlivost kompenzace, navíc zde není nutné kompenzovat i osu „z.“



Obr. 5.2.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V2

5.2.2 Princip funkce

Orientační ústrojí podle varianty V2 pracuje na principu hydraulického obvodu. Skříň obsahuje celkem čtyři válce s písty, z nichž vždy dva protilehlé písty ovládají jednu osu. Každá dvojice válců s písty má dva vlastní hydraulické obvody. Orientační hydraulický obvod sestává ze servoventilu, přetlakových ventilů, zpětných ventilů a průtokoměrů. Servoventil je řízen řídicím systémem robotu a na základě jeho informací řídí plnění nebo vyprázdňení válců. Zpětný ventil v sérii se s přetlakovým ventilem proto, aby i při výplachu byl ve válci přetlak a mechanismus byl tímto předepjatý a nedocházelo ke vzniku vůlí. Jakmile dojde k orientaci orientačního ústrojí, přepne servoventil do polohy hydraulického zámku. Tím dojde k zaaretování mechanismu. Po uzamknutí orientačního hydraulického obvodu dojde k odemčení kompenzačního hydraulického obvodu, který sestává z dvoucestného dvoupolohového rozvaděče a škrticího ventilu. Dvoucestný dvoupolohový rozvaděč umožňuje dorovnání pístů do požadované polohy. Aby nedošlo k nežádoucímu přestavení vlivem sil působících při kontaktu (při nedokonalém uložení) čepu a montážního otvoru, je v obvodu přítomný škrticí ventil. V obou hydraulických obvodech jsou umístěny integrační průtokoměry pro zjišťování polohy pístů.

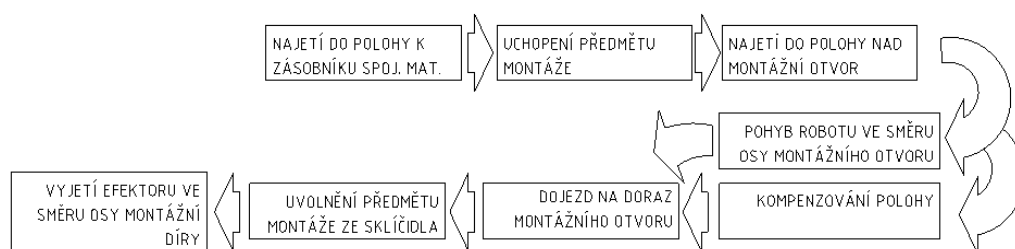
*Obr. 5.2.2: Hydraulické schéma varianty V2*

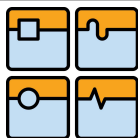
Podle kinematického schématu a principu funkce lze psát, že orientační ústrojí podle varianty V2 má kombinovaný typ adaptivity. Zatímco orientační kompenzace lze díky přítomnosti průtokoměru považovat za senzoricky aktivní, kompenzace polohy je mechanická pasivní.

Použití varianty V2 počítá s řízenou osou „C“ pro montáž šroubů.

5.2.3 Pracovní cyklus

Na rozdíl od varianty V1 není potřebné definovat referenční polohu pro pohony os, protože díky integračním průtokoměrům je možné zjistit aktuální polohu bez obavy ztráty kroku. Ostatní předpoklady, především co se týká konstrukce koncového efektoru, zůstávají. Cyklus montáže spojovacího materiálu lze vyjádřit schématem na obr. 5.2.3:

*Obr. 5.2.3: Pracovní cyklus varianty V2*



5.2.4 Přehled náskresů a legenda

Konstrukční návrh je zobrazen v příloze 4.

1 Naklápěcí deska	5 Krátký čep	10 Příruba koncového efektoru
2 Střední uložení	6 Dlouhý čep	11 Pero
3 Kluzné ložisko	7 Držák kloubové hřídele	12 Spodní držák
4 Středová kostka kloubové hřídele	8 Hlava válců	13 Kryt
	9 Píst	

5.2.5 Popis konstrukce

Konstrukční návrh varianty V2 je poměrně kompaktní. Sestava válcového tvaru, kterou je možné zabudovat přímo do prostoru paletizačního robotu místo čtvrté (orientační) osy, sestává z hlavy válců (8). Hlavu válců je možné považovat za základní těleso. Uvnitř hlavy válců jsou na konstantní rozteči válce pro pohon orientačních os. Horní plocha hlavy válců (8) je opatřena otvory s vnitřními závity pro osazení nástrčnými šroubeními. Z důvodu odlehčení konstrukce je uprostřed vybrání. V něj je upevněn držák kloubové hřídele (7). Držák kloubové hřídele (7) má tvar třmenu se dvěma děrami pro uložení kluzných ložisek (3). Kluzná ložiska (3) jsou ze spekaného bronzu (typ PSMF 101610 os firmy SKF [38]) a mají přírubu kvůli axiálním zatížením. V kluzných ložiskách (3) je upevněný (uložený s přesahem) čep kloubové hřídele (6), který zcela prochází středovou kostkou kloubové hřídele (4). V kostce kloubové hřídele (4) jsou ortogonálně upevněny další dva (kratší) čepy (5). Jejich druhý konec je rotačně uložen ve středním uložení (2). Díly (2), (3), (4), (5) a (6), tvořící kloubovou hřídel, umožňuje naklápěcí desce (1) rotovat ve dvou stupních volnosti se vzájemně ortogonálními osami. Naklápěcí deska (1) je opatřena čtyřmi zahlobenými sférického tvaru pro uložení pístních tyčí pístů (9). Spodní plocha naklápěcí desky (1) je broušena pro uložení příruby koncového efektoru (10). Příruba koncového efektoru (10) je pod naklápěcí deskou uložena posuvně se dvěma translačními stupni volnosti. Rotace není umožněna díky přítomnosti pera a dvou ortogonálních drážek, došlo zde k použití stejného systému jako v případě varianty V1. Vnitřní prostor orientačního ústrojí kryje pružný harmonikový kryt (13).

Výhody varianty V2

- integrované kompenzace – stejná výhoda jako u varianty V1, podobným způsobem lze zjistit i míru odchylky (podle průtoku tlakové kapaliny integrálním průtokoměrem)
- snadné řízení – změna úhlu v jedné ose nezpůsobuje změny v druhé ose
- aretace úhlových kompenzací je řízená přímo hydromotory orientačního ústrojí
- velká tuhost orientačního ústrojí – díky velké ovládací síle hydromotorů

Nevýhody varianty V2

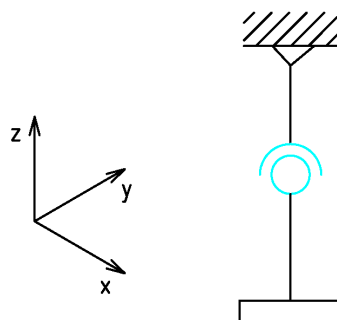
- hydraulický pohon – je nutný dodatečný zdroj tlakové kapaliny
- spolehlivost kompenzace – stejný problém jako u varianty V1
- hrozba úniku kapaliny za provozu a ztráta funkčnosti



5.3 Varianta V3

5.3.1 Kinematické schéma

Topologie orientačního ústrojí podle varianty V3 je zobrazena na obr. 5.3.1. Varianta V3 má aktivně senzorické kompenzace polohy i orientace. Orientační ústrojí má 2 orientační stupně volnosti v osách „A“ a „B“ souřadnicového systému koncového efektoru. Stejně jako u variant V1 a V2 má integrované orientační kompenzace. Varianta V3 nemá polohové kompenzace, ty obstarává robot, stejně tak posuv koncového efektoru v ose „z“ při montáži šroubu. Koncový efektor musí mít řízenou osu „C.“

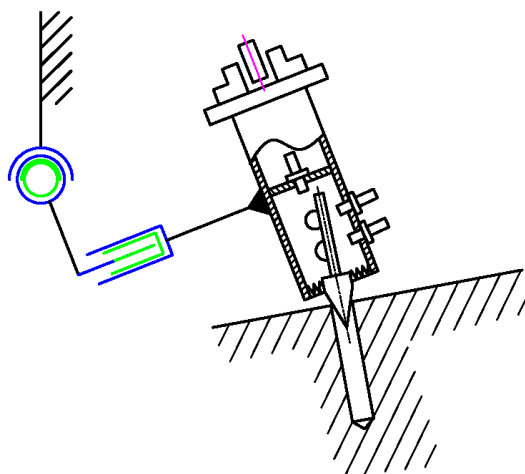
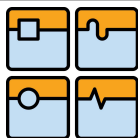


Obr. 5.3.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V3

5.3.2 Princip funkce

Orientační ústrojí podle varianty V3 používá k pohonu os servomotory. Hlavními prvky z hlediska základního principu funkce jsou základna (pozice 5 v příloze 5), mezikus (pozice 1 v příloze 5) a trubka s přírubou pro koncový efektor (pozice 23 v příloze 5). Základna (5) se vzhledem ke koncovému bodu polohovacího ústrojí robotu nepohybuje, je k němu upevněná. Mezikus (1) může vzhledem k základně (5) rotovat v ose „A“ a trubka s přírubou (23) může vzhledem k mezikusu (1) rotovat v ose „B.“ Trubka s přírubou (23) je opatřena měřicí jehlou (21), která je k trubce s přírubou (23) poddajně upevněna pružinou. Prostřednictvím jehly (21) se stanovuje polohová i úhlová úchylka.

V první fázi montážního cyklu dojde k nastavení úhlu rotačních orientačních os „A“ a „B“ v souřadném systému koncového efektoru. Řídicím systémem je dáno, že osa „B“ se přestaví o 180° oproti požadovanému úhlu, aby došlo k najetí měřicí jehly (21) do montážního otvoru. Jehla se ustaví do díry. V závislosti na nastavení jehly může dojít k přepolohování měřicí jehly vzhledem k trubce s přírubou (23). Přepolohování se detekuje pomocí pěti indukčních snímačů, které jsou schopny zaznamenat polohové úchytky v osách „x“, „y“, popřípadě i „z“ a úhlové úchytky v osách „A“ a „B.“ Řídicí systém robotu zaznamená úchytky a tyto úchytky vykompenzuje. Následně dojde k odjezdu koncového efektoru robotu, otočení osy „B“ a zasunutí čepu nebo zašroubování šroubu do montážního otvoru.

*Obr. 5.3.2: Měřicí jehla - varianta V3*

Pohony orientačních os „A“ i „B“ jsou řešeny krokovými motory a šnekovými převody. Aplikace krokových motorů je z důvodu malého zatížení os a šnekové převody jsou zde instalovány z důvodu samosvornosti.

U varianty V4 se počítá s řízenou osou „C“ koncového efektoru pro montáž šroubů, není zde posuv v ose „z.“ Z teoretického hlediska lze řešení adaptivity u varianty V3 zařadit do kategorie aktivně senzorických.

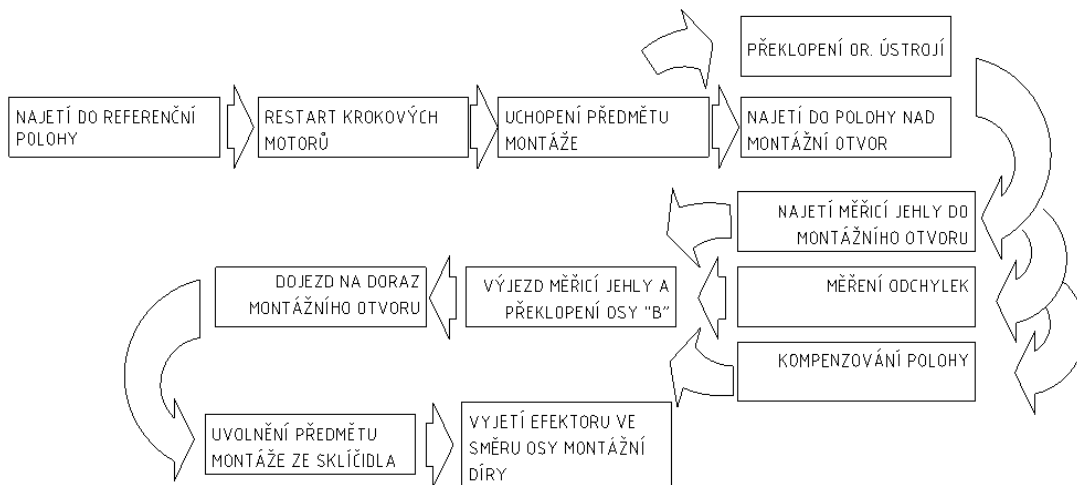
5.3.3 Pracovní cyklus

Při návrhu orientačního ústrojí podle varianty V3 se předpokládá, že na přírubě trubky bude upevněn koncový efektor, který nemá možnost výsuvu v ose „z“ pro montáž šroubů. Dále je nutné počítat, tak jako u ostatních verzí, s najetím koncového efektoru k zásobníku. Zde může být výhoda oproti ostatním verzím v tom, že zásobník spojovacího materiálu díky překlopení osy „B“ o 180° může být ve výhodnější poloze. Protože mechanismus orientačního ústrojí je poháněn krokovými motory, je zde výhodné použít polohu pro doplnění spojovacího materiálu do sklíčidla koncového efektoru jako polohu referenční. Pracovní cyklus varianty V3 lze zobrazit ve schématu na obr. 5.3.3.

5.3.4 Přehled náskresů a legenda

Zobrazení varianty V3 je uvedeno v příloze 5 a na obr. 5.3.4.

1 Mezikus	10 Šnekové kolo	21 Měřicí jehla
2 Pastorek se šnekem	11 Čep druhé osy	22 Miska snímače
3 Hřídel první osy	12 Kuličkové ložisko	23 Trubka s přírubou
4 Kuličkové ložisko	13 Hřídel druhé osy	24 Držák snímače
5 Základna	14 Matice	25 Indukční snímač
6 Krokový motor	15 Víčko	26 Víko příruby
7 Příruba krokového motoru	16 Pružná spojka	28 Plech držáku
8 Vymezovací kroužek	18 Ložisko	29 Objímka příruby
9 Kryt		

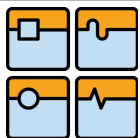


Obr. 5.3.3: Pracovní cyklus varianty V3

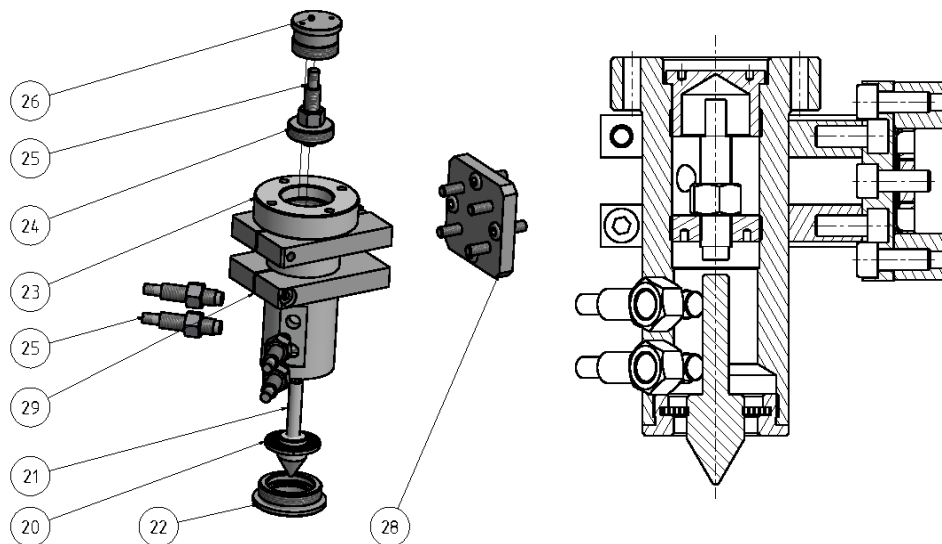
5.3.5 Popis konstrukce

Nosným prvkem orientačního ústrojí dle varianty V3 je základna (5). Tvar základny (5) je vymodelován tak, aby byl jasný princip – z hlediska technologie výroby (předpokládá se technologie odlévání) nebyl řešen do nejmenších podrobností. Stejně tak způsob uchycení k robotu není řešen. Základna (5) má dva pracovní prostory, v nichž jsou uloženy dva šnekové převody, ovládající rotační osu „A“. Pohon osy „A“ celkově sestává ze šnekového kola (10), pastorku se šnekem (2), kuličkových ložisek (18) s kosoúhlým stykem 7200 BE, pružné spojky (16) a krokového motoru (6) Microcon SX23 1414. Šnekové kolo (10) je řešeno jako bronzový věnec nalisovaný přímo na hřídeli první osy (3). Pastorek se šnekem (2) je řešen jako jedna součást zhotovená soustružením, přičemž má broušený povrch šroubovice šneku i čepy k uložení ložisek (18). Šnek je vyroben s proměnlivým stoupáním šroubovice kvůli předepnutí šnekového převodu. Pastorek se šnekem (2) je na ložiskách (18) uložen v průchozím otvoru základny (5), přičemž tento otvor je na obou jeho koncích opatřen závity s jemným stoupáním. V horním závitu je našroubovaná příruba krokového motoru (7). Čelní čtvercová plocha příruby krokového motoru (7) s kruhovým vybráním slouží k přesnému uložení a upevnění krokového motoru (6). Čelní mezikruhová plocha příruby krokového motoru (7) na opačném konci zase tvoří opěrnou plochu pro vnější kroužek ložiska (18) uloženého na pastorku se šnekem (2). Ve spodním závitu otvoru pro uložení pastorku se šnekem (2) základny (5) je zašroubováno víčko šneku (17). Díky závitům je možné uložení pastorku se šnekem předepnout pro dosažení větší stykové tuhosti. Závitový spoj je s přesahem, aby nedošlo k uvolnění víčka šneku (17) nebo příruby krokového motoru (7).

Hřídel první osy (3) prochází oběma pracovními prostory základny (5). Tvarově složitá součást je dutá (kvůli dosažení co nejnížší hmotnosti a momentu setrvačnosti), osově i plošně symetrická a má několik osazení pro uložení věnce šnekového kola (10) a kuličkových ložisek (4) s kosoúhlým stykem 7207 BE. Střední část s maximálním průměrem je opatřena rovnobokým drážkováním pro uložení mezikusu (1). Hřídel první osy (3) je tedy uložena v základu (5) prostřednictvím ložisek (4). Otvory pracovního prostoru



základu (5) jsou na vnějších stranách opatřeny závity s jemným stoupáním. V závitech jsou uloženy vymezovací kroužky (8), pomocí nichž se předepíná rotační uložení základu (5) a hřídele první osy (3). Závitové spojení vymezovacích kroužků (8) a základu (5) je opět uloženo s přesahem. Pracovní prostor základu (5) je uzavřený jedním krytem (9) z každé strany.



Obr. 5.3.4: Zobrazení snímače polohy s měřicí jehlou varianty V3

Mezikus (1) je k hřídeli první osy (3) nalisován při montáži. Má tvar představce, jehož vnitřní pracovní prostor je uzpůsoben uložení šnekového převodu pohonu osy „B“. Pracovní prostor mezikusu (1) je koncipován podobně jako pracovní prostory základu (5) s tím rozdílem, že jeho vnitřní průměr není určen k uložení ložisek (tudíž se nevyžaduje broušení). Pohon osy „B“ je řešen stejným způsobem jako pohon osy „A“, má stejné prvky, ale na rozdíl od pohonu osy „A“ je pohon osy „B“ zajištěn jedním krokovým motorem (6) a jedním šnekovým soukolím. Věnc šnekového kola pohonu osy „B“ je nalisovaný na hřídeli druhé osy (13). Hřídel druhé osy (13) je rotační duté těleso a má přírubu pro možnost upevnění válce s přírubou (23). Vnitřní dutina hřídele druhé osy (13) má dvě zahloubení pro uložení kuličkových ložisek (12) s kosoúhlým stykem 7203 BE. Ta jsou vnitřními kroužky nasazena na čepu druhé osy (11), který je zašroubován v mezikusu (1). Druhý konec čepu druhé osy (11) je opatřen závitem pro zašroubování matice (14), která předepíná rotační uložení hřídele druhé osy (13) a mezikusu (1) pro dosažení co největší stykové tuhosti. Vnitřní prostor hřídele druhé osy (13) je krytý víčkem (15).

Trubka s přírubou (23) je k přírubě hřídele druhé osy (13) upevněna pomocí držáku sestávajícího z plechu držáku (28) a dvou objímek příruby (29). Trubka s přírubou (28) je válcové těleso, které kromě upevnění koncového efektoru slouží jako kompenzační hardware k vyhodnocování polohových i úhlových úchylek. Uvnitř je prostor pro měřicí jehlu (21) a analogového indukčního snímače (25) našroubovaného na držáku snímače (24). Tento snímač zjišťuje polohovou úchylku ve směru osy „z.“ Shora je vnitřní prostor válce s přírubou krytý víkem příruby (26). Měřicí jehla (21) je k vnitřnímu prostoru válce s přírubou (23) uložena poddajně ve spirálové pružině (20). Spirálová pružina je uchycena v misce snímače (22) a ta je přišroubována ze spodní strany válce s přírubou (23). Na vnější ploše válce s přírubou (23) lze spatřit zfrézované plochy s otvory s vnitřními závity, do kterých se šroubují analogové indukční snímače (25).



Tvar měřicí jehly je uzpůsoben tak, aby její těžiště bylo v místě uložení ve spirálové pružině (20). Tímto lze považovat snímání úchylek za senzoričky aktivní, protože v případě vodorovné nebo obecné montáže nedochází k úhlovému vychýlení měřicí jehly (21) vlivem tíhové síly.

Vzhledem k malým úhlovým rychlostem os je orientační ústrojí podle varianty V3 navrženo pro mazání vzájemně pohyblivých os plastickým mazivem.

Výhody varianty V3

- integrované polohové i úhlové kompenzace
- snadné řízení orientačních os
- velmi vysoký stupeň adaptivity – kompenzace je možné provádět i v rozsahu několika mm a až do úhlu cca 10° , takže lze kombinovat s méně kvalitním kamerovým systémem pro automatické navádění koncového efektoru robotu do montážní díry
- velká spolehlivost adaptivity
- rozsah pracovních úhlů – rozsah orientační osy „A“ je zhruba $\pm 90^\circ$ a rozsah orientační osy „B“ je teoreticky neomezený.
- umístění zásobníku spojovacího materiálu – díky velkým rozsahům orientace je větší prostor k projektování zásobníku.

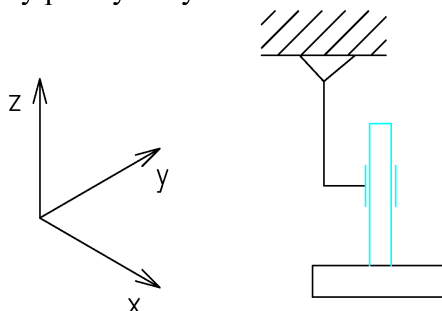
Nevýhody varianty V3

- Typ kompenzace lze aplikovat i na šestiosý angulární robot se slabějšími pohony os 5 a 6, protože při zachování konstrukce je vektor utahovacího momentu při šroubování kolmý na poslední osu a je nerovnoběžný s pátoú osou, takže utahovací moment nenamáhá osy robotu. Tím pádem ztrácí konstrukce smysluplnost
- Aktivně senzorická adaptace vyžaduje přesný robot s velkou přesností, protože kompenzace probíhá přímo v kinematickém řetězci robotu.
- Nevýhodný pracovní cyklus – pracovní cyklus je prodloužen měřením skutečné polohy díry měřicí jehlou.

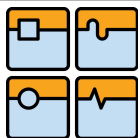
5.4 Varianta V3a

5.4.1 Kinematické schéma

Varianta V3a vychází z varianty V3. Jedná se o koncový efektor bez upínacího systému na spojovací materiál (bez sklíčidla). Koncový efektor podle varianty V3a je určený na angulární pětiosý nebo šestiosý průmyslový robot.



Obr. 5.4.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V3a



5.4.2 Princip funkce

Zařízení podle varianty V3a pracuje na podobném principu jako zařízení podle varianty V3. Řídicí systém robotu napolohuje koncový efektor do požadované polohy, přičemž poslední osa robotu je přepolohována o 180° . Tím pádem dojde k najetí měřicí jehly do montážního otvoru. Při polohových úchylkách změny měřicí osa polohu vzhledem k trubce s přírubou. Změna polohy je zaznamenána pěticí analogových indukčních snímačů, které po zpracování signálu pošlou informaci do řídicího systému robotu. Řídicí systém následně přepolohuje robot, aby došlo k odstranění polohových a úhlových odchylek. Tuto polohu si řídicí systém průmyslového robotu zapíše do paměti, vyjede z pozice, přepolohuje poslední osu zpět o 180° a vloží spojovací materiál do montážního otvoru.

Na rozdíl od varianty V3a je toto řešení opatřeno poddajností v ose „z.“ Díky tomu není zapotřebí řízenou osu „C“ při montáži šroubů.

5.4.3 Pracovní cyklus

Pracovní cyklus u koncového efektoru podle varianty V3a je obdobný jako u orientačního zařízení u varianty V3.

5.4.4 Přehled nákresů a legenda

Nákres varianty V3a je na obr. 5.4.2.

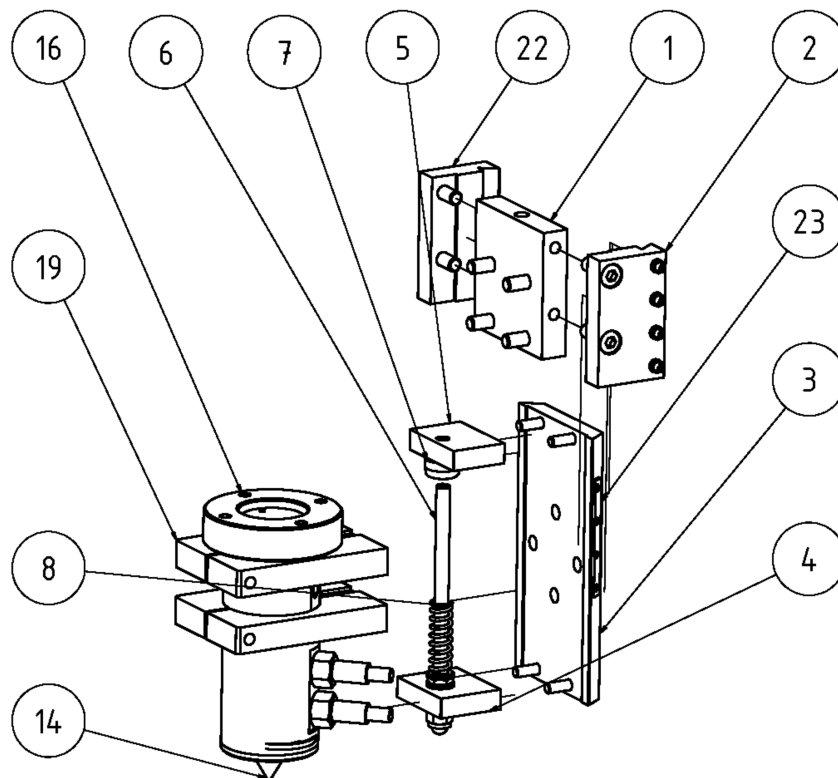
1 Plech držáku příruby	6 Vodicí tyč pružiny	16 Válec s přírubou
2 Bočnice plechu držáku	7 Silentblok	19 Objímka
3 Základní deska	8 Pružina	22 Bočnice plechu držáku
4 Horní deska	14 Měřicí jehla	23 Opěrná lišta
5 Spodní deska		

5.4.5 Popis konstrukce

Komponenty, které obsahuje válec s přírubou (16), včetně válce s přírubou (16), jsou totožné s díly ve variantě V3. Tato montážní skupina je upevněna ve dvou objímkách (19), což jsou rovněž totožné díly jako v případě varianty V3. Každá objímka je upevněna dvěma šrouby k plechu držáku příruby (1). Plech držáku je součástí tvaru desky se čtyřmi neprůchozími děrami s vnitřními závity pro montáž bočnic plechu držáku (2) a (22). Bočnice plechu držáku (2) a (22) jsou plošně symetrické součásti s tím rozdílem, že pravá bočnice plechu držáku (2) oproti levé bočnici plechu držáku (22) je opatřena čtyřmi průchozími otvory s vnitřními závity M4 pro ustavení opěrné lišty (23) čtyřmi stavěcími šrouby ISO 4027. Obě bočnice plechu držáku (2) a (22) jsou dále opatřeny drážkou s broušeným povrchem pro zajištění posuvu v ose „z.“ Plochy svírají úhel 55° a tvoří část rybinového vedení společně s funkčními plochami základní desky (3). Základní deska (3) tvoří základní díl konstrukčního návrhu podle varianty V3a a je určena k montáži na přírubu koncového šestiosého angulárního robotu. K základní desce je upevněna horní deska (4) a spodní deska (5). Pryžový silentblok (7), přišroubovaný k spodní desce (5), tvoří dosedací plochu pro plech držáku příruby (1). Pozice při dosednutí plechu držáku příruby (1) na plochu pryžového silentbloku (7) je polohou výchozí. K horní desce (4) je upevněna vodicí



tyč pružiny (6), jejíž část prochází průchozím otvorem plechu držáku příruby (1). Na vodící tyči pružiny (6) je nasazena pružina (8). Ta tvoří poddajný prvek osy „z.“



Obr. 5.4.2: Nákres varianty V3a

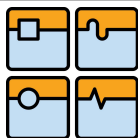
Výhody varianty V3a

- velmi vysoký stupeň adaptivity – kompenzace je možné provádět i v rozsahu několika mm a až do úhlu cca 5°, takže lze kombinovat s méně kvalitním kamerovým systémem pro automatické navádění koncového efektoru robotu do montážní díry
- velká spolehlivost adaptivity
- rozsah pracovních úhlů – rozsahy orientačních os jsou dány možnostmi angulárních robotů
- umístění zásobníku spojovacího materiálu – díky velkým rozsahům orientace je větší prostor k projektování zásobníku.

Nevýhody varianty V3a

- Aktivně senzorická adaptace vyžaduje přesný robot s velkou přesností, protože kompenzace probíhá přímo v kinematickém řetězci robotu.
- Nevýhodný pracovní cyklus – pracovní cyklus je prodloužen měřením skutečné polohy díry měřicí jehlou.

Protože konstrukční návrh varianty V3a neplní zadání diplomové práce, nebude figurovat ve výběru varianty.



5.5 Varianta V4

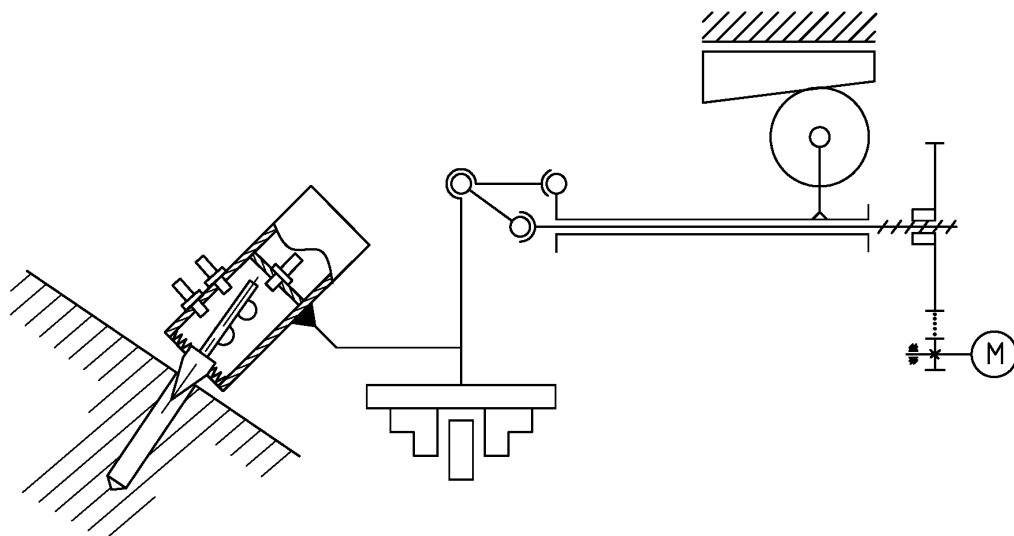
5.5.1 Kinematické schéma

Topologie orientačního ústrojí podle varianty V4 je zobrazena na obr. 5.5.1. Varianta V4 má aktivní senzorické kompenzace polohy i orientace. Orientační ústrojí má 2 stupně volnosti v osách „A“ a „B“ souřadnicového systému koncového efektoru. Orientační kompenzace jsou nastaveny v osách shodných s osami orientace a polohové kompenzace obstarává robot.

5.5.2 Princip funkce

Orientace osy „B“ u varianty V4 je řízeno pomocí axiální vačky a dvou protilehlých rolen. Rotací axiální vačky dochází vlivem účelně tvarovaného čela k naklápění rolen, které jsou uloženy na čepech řídicí trubky. Středem osy „B“ prochází řídicí tyč pro ovládání osy „A.“ Posuv řídicí tyče pro ovládání osy „A“ je dosažen pomocí kinematické dvojice šroubu a matice, přičemž matice je hnaná. Šroub je součástí řídicí tyče pro ovládání osy „A“ a má vzhledem k řídicí trubce jeden posuvný stupeň volnosti ve směru osy „y.“ Posuvem řídicí tyče pro ovládání osy „A“ je přes táhlo, rotačně uložené k řídicí tyči pro ovládání osy „A“ naklápěna řízená deska. Řízená deska je na jednom konci rotačně uložena k řídicí trubce a na druhém konci je rotačně uložena k táhlu. Na řídicí desce je upevněna příruba pro montáž koncového efektoru a měřicí jehla. Měřicí jehla je kvůli menšímu rozsahu (než u varianty V3) přesazena vzhledem k přírubě pro montáž koncového efektoru o 45° . Kompenzace probíhá obdobným způsobem jako v případě varianty V3, s tím rozdílem, že orientační ústrojí je naprogramováno tak, aby osa „A“ byla přepolohována o 45° .

Osa „A“ je poháněná servomotorem. Servomotor přes synchronní řemenový převod (do pomala) pohání matici, jejíž rotace pak způsobuje translaci řídicí tyče. Osa „B“ nemá samostatný pohon, ale na rozdíl od variant V1, V2 a V3 využívá pohon svislé orientační osy paletizačního robotu. Na montážní ploše pohonu orientační osy je upevněna axiální vačka, jejíž rotace ovládá osu „B.“



Obr. 5.5.1: Náhradní kinematické schéma varianty V4

5.5.3 Pracovní cyklus

Pracovní cyklus varianty V4 odpovídá pracovnímu cyklu varianty V3. Varianty V4 se nedočkala konstrukčního vyhotovení, protože se ukázala jako konstrukčně nepřilíš smysluplná.

Výhody varianty V4

Výhody použití varianty V4 jsou obdobné jako u varianty V3. Navíc lze zde považovat za výhodu využití pohonu orientační osy paletizačního robota pro ovládání osy „B.“

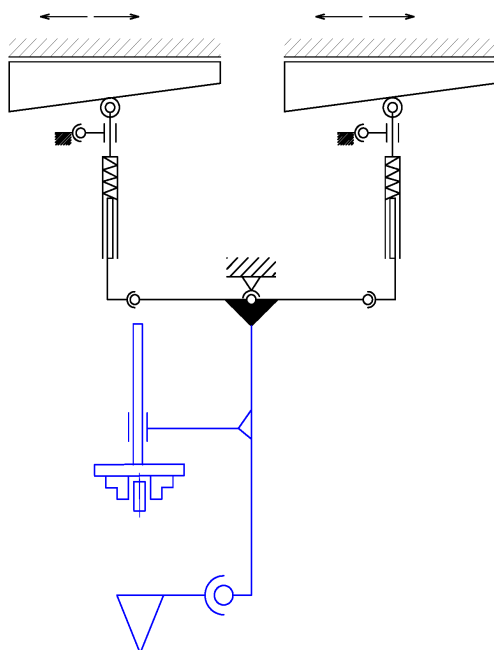
Nevýhody varianty V4

Nevýhody použití varianty V4 jsou obdobné jako u varianty V3. Za další nevýhodu lze považovat konstrukční složitost axiální vačky, jejíž výroba může cenově znevýhodnit variantu V4 oproti jiným variantám.

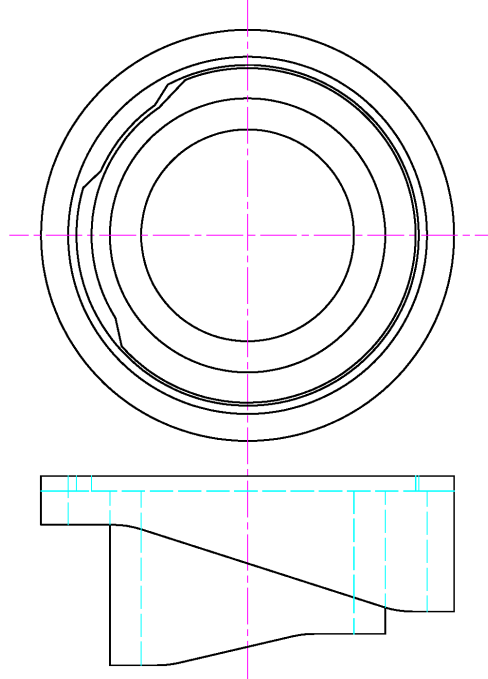
5.6 Varianta V5

5.6.1 Kinematické schéma

Topologie orientačního ústrojí podle varianty V5 je zobrazena na obr. 5.6.1. Varianta V5 počítá s aktivní mechanickou adaptivitou. Orientační ústrojí má dva stupně volnosti v osách „A“ a „B.“ Přestože integrovaná kompenzace je u varianty V5 řešena stejným způsobem jako u varianty V4, jedná se zde o polohovou orientaci. Je to dáno větší vzdáleností orientačních os od koncového efektoru. Varianta V5 nemá integrované orientační kompenzace. Úloha orientační kompenzace je přesunuta na koncový efektor.



Obr. 5.6.1: Náhradní kinematické schéma varianty V5



Obr. 5.6.2: Schéma axiálních vaček varianty V5

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 46
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

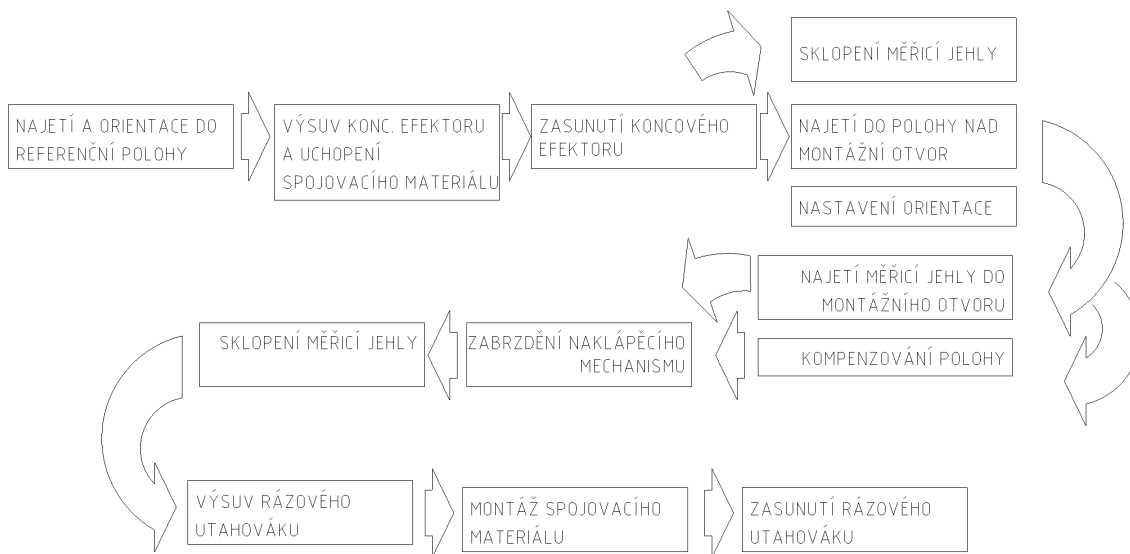
5.6.2 Princip funkce

Orientace os u varianty V5 je řízená vačkami. Vačky řídí svislý posuv rolen, které jsou rotačně uloženy v táhlech. Táhla je rotačně uložena k naklápěcímu mechanismu, takže svislý posuv táhel vyvolá naklopení naklápěcího mechanismu. K naklápěcímu mechanismu jsou upevněna celkem 4 táhla, přičemž vždy dvě táhla naproti sobě ovládají jednu rotační osu. Na obr. 5.6.1 je právě zobrazeno kinematické schéma jedné osy. Kinematické schéma druhé osy je obdobné. K naklápěcímu mechanismu je dále upevněn koncový efektor, který obsahuje rázový utahovák s hlavou pro uchycení montážních šroubů nebo čepů, a měřicí jehlu. Měřicí jehla aktivně kompenzuje polohovou úchylku. V okamžik kompenzace je měřicí jehla aretována vzhledem k naklápěcímu mechanismu a díky poddajnosti táhel je požadovaným naklopením naklápěcího mechanismu kompenzovaná polohová úchylka. Po provedení kompenzace se poloha naklápěcího mechanismu zabrzdí, měřicí jehla na koncovém efektoru se sklopí a dojde k montáži spojovacího materiálu do montážního otvoru.

Orientační ústrojí podle varianty V5 nemá vlastní pohon. Na rozdíl od variant V1, V2 a V4 se uvažuje ponechání pohonu svislé orientační osy paletizačního robotu pro ovládání pohonu obou os orientačního ústrojí. Návrh počítá se dvěma axiálními vačkami se svislou osou rotace (na obr. 5.6.1 je z důvodu přehlednosti schématu znázorněna posuvná vačka), přičemž každá vačka řídí jednu orientační osu a zároveň po každé vačce se odvalují dvě rolly. Rolly jsou s vačkami v kontaktu na čelní (účelně tvarované) ploše a rotací vaček dochází k svislému posuvu rolen. Vnitřní vačka je upevněna k montážní ploše pohonu orientační osy paletizačního robotu. Vnější vačka je uložena rotačně vzhledem k montážní ploše pohonu orientační osy paletizačního robotu. Při nastavení polohy (orientaci) je vnitřní vačka pohonem orientační osy paletizačního robotu natočena do krajní polohy, kde dojde ke kontaktu unášeců obou vaček. Dalším pokračováním natáčení vnitřní vačky dochází k unášení vnější vačky, která se tímto ustaví do požadované polohy. Vnější vačka je ve své poloze brzděna. Ustavení vnitřní vačky do požadované polohy dojde jejím zpětným natočením.

5.6.3 Pracovní cyklus

Při návrhu orientačního ústrojí podle varianty V5 se předpokládalo, že měřicí jehla jakožto prvek adaptivity samotného orientačního ústrojí bude součástí koncového efektoru a že orientační ústrojí bude schopno pouze polohové adaptivity, přičemž adaptivita orientace bude úlohou koncového efektoru. Koncový efektor rovněž bude mít možnost výsuvu v ose montážního otvoru, což zjednoduší řízení robotu. Pracovní cyklus varianty V5 lze zobrazit ve schématu na obr. 5.6.3.



Obr. 5.6.3: Pracovní cyklus varianty V5

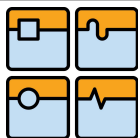
5.6.4 Přehled nákresů a legenda

Zobrazení konstrukčního návrhu je uvedeno v přílohách 6 a 7.

1 Těleso kardanu	12 Horní část brzdy	24 Vnitřní vačka
2 Kostka kardanu	13 Vzduchový válec	25 Vnější vačka
3 Držák kardanu	14 Spodní část brzdy	26 Táhlo kardanu
4 Kostka kardanu	15 Čep táhla brzdy	27 Tyč brzdy
5 Táhlo kardanu	17 Držák robotu	28 Držák brzdy
6 Držák tyče	18 Čep rolny	29 Kluzné ložisko
7 Tyč	19 Rolna	30 Čep
8 Lineární vedení	20 Kroužek rolny	31 Čep
9 Kulový kloub	21 Tyč držáku	32 Pružina brzdy
10 Uložení kulového kloubu	22 Vodič táhla	34 Kostka upevnění držáku robotu
11 Táhlo brzdy	23 Vodič táhla	

5.6.5 Popis konstrukce

Model není opatřen spojovacím materiálem a vzhledem ke zjednodušení zde není znázorněna poddajnost táhel kardanu (5) a (26). Nosným prvkem orientačního ústrojí dle varianty V5 je držák robotu (17). Držák robotu (17) je svarová podsestava tvořená tenkostěnnou trubkou, sloužící k nasunutí na robot, kruhovým plechem, sloužícím k upevnění tyčí držáku (21) a držáku brzdy (28). Dále je držák robotu (17) tvořen dvěma kostkami, opatřenými otvory s vnitřními závity pro zašroubování upevňovacích šroubů. Z vnitřní strany držáku robotu (17) jsou uloženy kostky upevnění držáku robotu (34). Dotahováním upevňovacích šroubů se vyvíjí tlak na montážní plochy robotu, čímž je



dosaženo pevného spojení. Držák robotu (17) je ze spodní strany dále opatřen silnostěnnou trubicí s vnitřní kuželovou plochou.

Tyče držáku slouží k fixaci držáku kardanu (3) a vodičů táhla (23). Držák kardanu (3) je svarová podsestava, která slouží k omezení stupňů volnosti tělesa kardanu (1) a na potřebné dva rotační stupně volnosti. Na jednom konci je opatřen tvarovým plechem, který je právě uzpůsoben k jeho upevnění k tyčím držáku (21) a dále je uzpůsoben k upevnění vodičů táhla (22). Druhý konec držáku kardanu (3) tvoří třmen s kolmo vrtanou průchozí dírou pro rotační uložení kostky kardanu (2). Kostka kardanu (2) má dvě kolmo vrtané díry pro dosažení dvou ortogonálních rotačních vazeb. Tím pádem je umožněno, aby těleso kardanu (1), které je rotačně spojené s kostkou kardanu (2), mohlo být naklápěno vzhledem k držáku robotu (17) i k držáku kardanu (3) ve dvou vzájemně kolmých rotačních osách. K tělesu kardanu (1) je přišroubován držák tyče (6) a tyč (7). Tyto tři prvky tvoří naklápěcí mechanismus varianty V5. Držák tyče (6) má pouze jedinou funkci, a sice upevnění tyče (7). Tyč (7) je upevněna v otvoru držáku tyče (7) s přesahem a zajištěna kolíkem (není v nákresu). Její druhý konec slouží k upevnění koncového efektoru.

Pohyb tělesa kardanu je ovládaný táhly kardanu (5) a (26). Táhla kardanu (5) a (26) se od sebe liší pouze délkou. Konce táhel kardanu (5) a (26) jsou opatřeny třmeny s kolmými děrami pro rotační spojení s kostkami kardanu (4), které jsou dále rotačně spojeny s tělesem kardanu (1). Opačné konce táhel kardanu (5) a (26) jsou opatřeny dírou s vnitřním závitem pro uložení čepu rolly (18). Na každém čepu rolly je rotačně uložena rolka (19) a kroužek rolly (20). Vnější obvod kroužku rolly (20) je přizpůsoben vzájemnému pohybu rolly (19) a příslušné axiální vačky.

Táhla kardanu (5) a (26) konají vzhledem k držáku robotu (17) obecný pohyb. Kromě svislého posuvu zde dochází rovněž k rotaci v ose otvoru jeho třmenu, i když ve velmi malém rozsahu. Proto jsou táhla kardanu (5) a (26) vedena ve vodičích táhel (22) a (23).

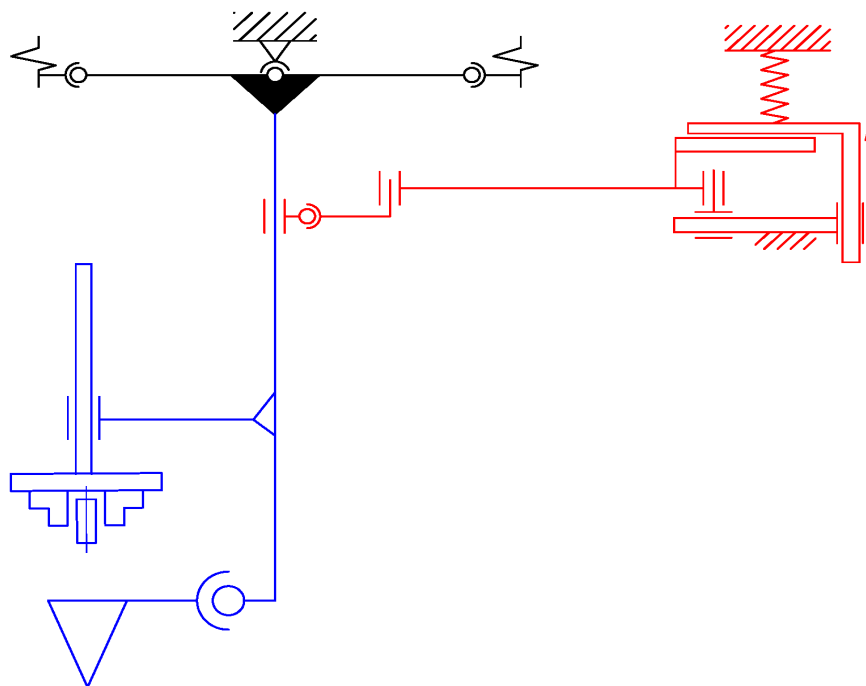
Vnitřní vačka (24) je svarová podsestava tvořená trubicí s účelně tvarovaným čelem a kruhovým plechem. Kruhový plech je opatřen šesti otvory pro upevnění vnitřní vačky (24) k montážní ploše pohonu orientační osy robotu. Vnější obvod kruhového plechu je uzpůsoben k unášení vnější vačky (25).

Vnější vačka (25) je rovněž řešena jako svařenec. Stejně jako v případě vnitřní vačky (24) je vnější vačka (25) tvořena tenkostěnnou trubicí s účelně tvarovaným čelem. Vnější vačka (25) obsahuje kruhové plechy. Větší kruhový plech, přivařený k tenkostěnné trubce s účelně tvarovaným čelem slouží pouze k spojení trubek, menší kruhový plech má vnitřní vyříznutí s uzpůsobením pro unášení vnější vačkou (25). Posledním dílem vnější vačky (25) je tenkostěnná trubka s vnější kuželovou plochou. Ta je uložena ve vnitřní kuželové ploše držáku robotu (17). Toto uložení zajišťuje nejen rotační vazbu, ale i samosvornost vnější vačky (25). Samosvornost drží vnější vačku v nastavené poloze.

Posledním důležitým prvkem varianty V5 je brzda. Brzda slouží k aretaci naklápěcího mechanismu v žádané poloze. Základními prvky brzdy jsou horní část brzdy (12) a spodní část brzdy (14). Horní část brzdy (12) je řešena jako svařenec, sestávajícího z plechu tvaru poloviny mezikruží a výztuhou. Plech horní části brzdy (12) je opatřen otvory pro upevnění vzduchových válců (13) a pro vedení pístních tyčí vzduchových válců (13) a otvory pro vedení tyčí brzdy (27). Spodní část brzdy (14) je řešena podobně jako horní část brzdy (12) s tím rozdílem, že neobsahuje otvory pro upevnění vzduchových válců (13). Navíc má drážky pro vedení čepů táhel brzdy (15). V prostoru mezi horní částí brzdy (12) a spodní částí brzdy (14) je prostor pro táhla brzdy (11). Jeden konec táhla brzdy (11) je rotačně uložen v držáku uložení kulového kloubu (10) a druhý konec je posuvně rotačně uložen ve spodní části brzdy (14) skrz čep táhla brzdy (15). Brzda obsahuje dvě uložení kulového



kloubu (10) s vnitřní půlkulovou plochou. Ve vnitřních půlkulových plochách je uložen kulový kloub (9), v jehož středovém otvoru je uloženo kompaktní lineární vedení (8).



Obr. 5.6.4: Schéma brzdy varianty V5

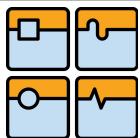
Brzda je díky tlačným pružinám (32) ve výchozím stavu zabrzděná. Zabrzdění je dosaženo tím, že horní část brzdy (12) a spodní část brzdy (14) svírají táhla brzdy, která vzhledem k horní části brzdy (12), spodní část brzdy (14) a tím pádem i k držáku robotu (17) ztrácejí veškeré stupně volnosti. Zabrzdění má za následek ztrátu stupňů volnosti i naklápěcího mechanismu, protože držáky uložení kulového kloubu (10) jsou přes kulový kloub (9) a kompaktní lineární vedení (8) posuvně rotačně uloženy na tyči (7), která je součástí naklápěcího mechanismu. Při polohování naklápěcího mechanismu dojde k odbrzdění brzdy vzduchovými válci (13).

Výhody varianty V5

- Jednoduchá varianta bez potřeby vlastního pohonu
- Velmi vysoký stupeň polohové adaptivity - kompenzace je možné provádět i v rozsahu několika mm, takže lze kombinovat například s méně kvalitním kamerovým systémem pro automatické navádění koncového efektoru robotu do montážní díry
- Menší požadavky na přesnost polohování robotu – nepřesnost se kompenzuje mechanicky, nikoliv senzoricky za použití polohovacích os robotu. Tím pádem může mít robot menší přesnost polohování.

Nevýhody varianty V5

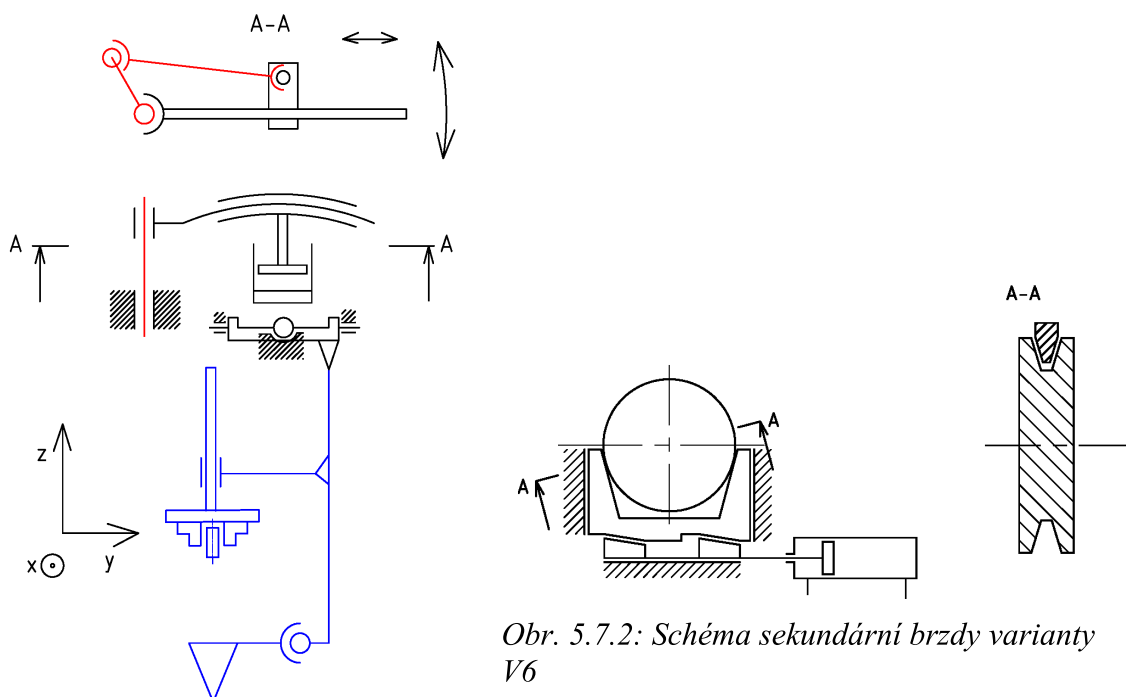
- Dlouhý pracovní cyklus z důvodu řízení dvou os jedním pohonem
- Nákladná výroba axiálních vaček
- Velké rozměry



5.7 Varianta V6

5.7.1 Kinematické schéma

Topologie orientačního ústrojí podle varianty V6 je zobrazena na obr. 5.7.1. Varianta V6 počítá s mechanickou aktivní adaptivitou, řešenou obdobně jako u varianty V5. Orientace os, jejich kompenzace i řešení kompenzace poloh je stejná jako v případě varianty V5.



Obr. 5.7.1: Náhradní kinematické schéma varianty V6

Obr. 5.7.2: Schéma sekundární brzdy varianty V6

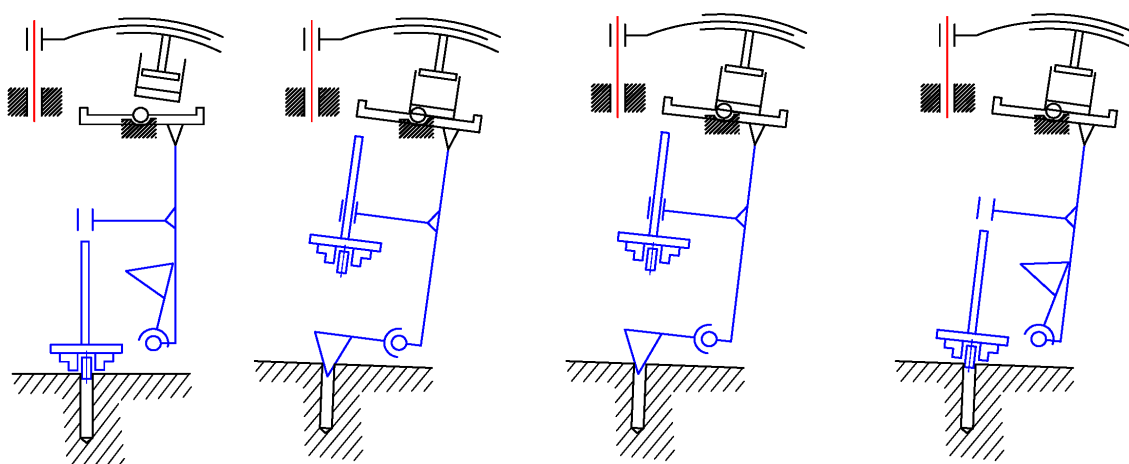
5.7.2 Princip funkce

Varianta V6 nemá vlastní pohon. Varianta V6 počítá se dvěma orientačními mechanismy. Primární orientační mechanismus je poháněn pohonem orientační osy paletizačního robotu. Primární orientační mechanismus má rotační osy ve směru os „C“ a „A.“ Nastavení orientace v ose „C“ probíhá takto: Rotační část primárního orientačního mechanismu má na sobě upevněny dvě brzdy. První brzda má za úkol brzdit rotační část primárního orientačního mechanismu vzhledem k ploše pohonu orientační osy paletizačního robotu. Druhá brzda má za úkol brzdit rotační část primárního orientačního mechanismu vzhledem k rámu robotu. Při nastavení rotační části primárního mechanismu je první brzda zabrzděna a druhá brzda odbrzděna. Po dokončení orientace osy „C“ primárního orientačního mechanismu dojde k zabrzdění i druhé osy. Nastavení orientace v ose „C“ probíhá takto: Součástí naklápění primárního orientačního mechanismu (osy „A“) je táhlo, jehož jeden konec je rotačně uložen k ploše pohonu orientační osy paletizačního robotu a druhý konec je rotačně spojen s ozubeným hřebenem. Při nastavování naklopení primárního orientačního mechanismu, tedy orientace v ose „A“, zabrzdí druhá brzda rotační část, dále dojde k odbrzdění první brzdy a další rotaci pohonu orientační osy paletizačního robotu dochází přes táhlo k přesunutí ozubeného hřebene. Ozubený hřeben je dále v záběru



s ozubeným segmentem. Střed roztečné kružnice ozubeného segmentu leží v průsečíku rotačních os sekundárního orientačního mechanismu.

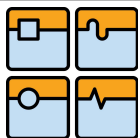
Na sekundárním orientačním mechanismu je upevněn koncový efektor. Sekundární orientační mechanismus má rotační osy ve směru „A“ a „B.“ Rotační osou „B“ je uložen k držáku sekundárního orientačního mechanismu. Naklápění v ose „A“ koná spolu s držákem sekundárního orientačního mechanismu, který je rotačně uložen v držácích naklápěcího mechanismu. Držák sekundárního orientačního mechanismu má na sobě upevněny brzdy, které po nastavení sekundárního orientačního mechanismu zabrzdí jeho polohu. Ustavení sekundárního orientačního ústrojí probíhá vysunutím pístnice pneumatického válce, který je upevněn na primárním orientačním ústrojí. Kompenzace polohy je možná díky poddajnosti dosedací kruhové desky upevněné na konci pístnice pneumatického válce.



Obr. 5.7.3: Princip funkce varianty V6

5.7.3 Pracovní cyklus

Při návrhu orientačního ústrojí podle varianty V6 se předpokládalo, že měřicí jehla bude součástí koncového efektoru a že orientační ústrojí bude schopno pouze polohové adaptivity, přičemž adaptivita orientace bude úlohou koncového efektoru. Koncový efektor rovněž bude mít možnost výsuvu v ose montážního otvoru. Tyto předpoklady jsou stejné jako v případě varianty V5. Pracovní cyklus orientačního ústrojí podle varianty V6 je jiný než u varianty V5. Varianty V6 obsahuje dva orientační mechanismy. Primární orientační mechanismus nastavuje svou orientaci již při montáži spojovacího materiálu při předchozím cyklu. Díky tomu dochází ke zkrácení pracovního cyklu, protože při přesunutí paletizačního robotu do pozice nad další montážní otvor je již primární orientační mechanismus zorientován dle programu robotu a k orientaci sekundárního orientačního mechanismu dojde bleskově vysunutím pístnice pneumatického válce upevněného k primárnímu orientačnímu ústrojí. K orientaci sekundárního orientačního mechanismu dochází srovnáváním úhlu dosedací kruhové desky válce k dosedací kruhové desce sekundárního orientačního mechanismu. Pracovní cyklus varianty V5 lze zobrazit ve schématu na obr. 5.7.4 a na obr. 5.7.3.



Obr. 5.7.4: Pracovní cyklus varianty V5

5.7.4 Přehled náskresů a legenda

Zobrazení konstrukčního návrhu je uvedeno v přílohách 8 a 9 a na obrázcích 5.7.5 a 5.7.6.

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1 Držák robotu | 7.8 Držák ozubeného segmentu |
| 2 Držák naklápěcího mechanismu | 7.9 Vedení ozubeného segmentu |
| 3 Držák naklápěcího mechanismu | 7.10 Příložka |
| 4 Držák sekundárního naklápěcího mechanismu | 7.11 Úhlová příložka válce |
| 5 Držák mechanismu | 7.12 Válec |
| 6 Sekundární orientační mechanismus | 7.13 Dosedací deska |
| 7 Primární orientační mechanismus | 7.14 Pístnice |
| 8 První brzda primárního orientačního ústrojí | 7.15 Vodicí tyč válce |
| 9 Brzda sekundárního orientačního ústrojí | 8.1 Bočnice brzdy |
| 10 Druhá brzda primárního orientačního ústrojí | 8.2 Levá brzdová destička |
| 5.1 Držák axiálních ložisek | 8.3 Pravá brzdová destička |
| 5.2 Svařenec diskového tvaru | 8.4 Táhlo ovládání brzdy |
| 5.3 Čep táhla | 8.5 Válec |
| 6.1 Svařenec | 9.1 Držák třmenu brzdy |
| 6.2 Kruhová dosedací deska | 9.2 Vodicí tyč |
| 6.3 Brzdový disk | 9.3 Deska třmenu brzdy |
| 6.4 Tyč pro upevnění koncového efektoru | 9.4 Třmen brzdy |
| 7.1 Vedení ozubeného hřebenu | 9.5 Brzdová destička |
| 7.2 Lišta | 9.6 Držák válce |



7.3 Ozubený hřeben

7.4 Držák čepu táhla

7.5 Čep táhla

7.6 Táhllo

7.7 Ozubený segment

9.7 Deska válce brzdy

9.8 Pneumatický válec

9.9 Táhllo brzdy

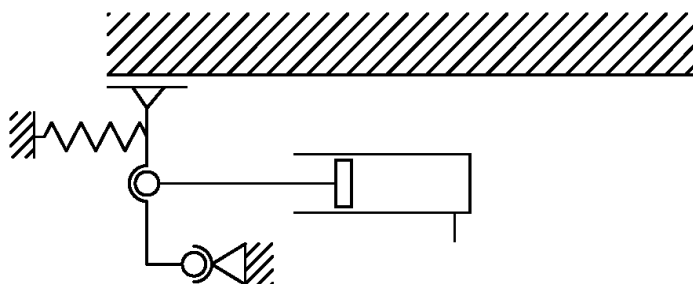
9.10 Brzdný klín

9.11 Závitová tyč

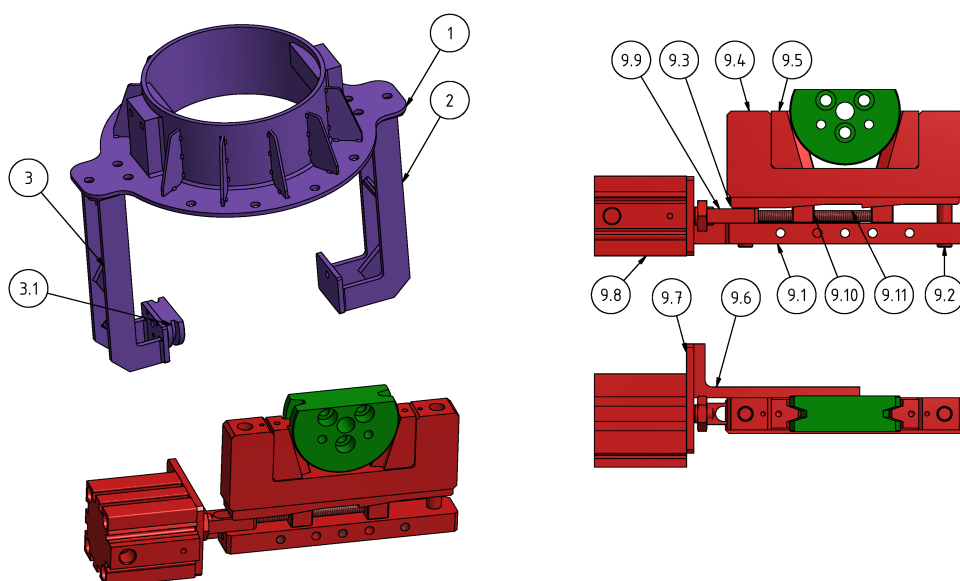
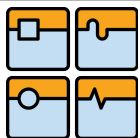
5.7.5 Popis konstrukce

Základem konstrukce je držák robotu (1). Jedná se o svařenec sestávající z tenkostěnné trubky, která je vnitřním průměrem uložena k rámu robotu. Držák robotu (1) dále sestává ze spodního plechu, který je přivařen k tenkostěnné trubce. K vnější válcové ploše tenkostěnné trubky a spodnímu plechu jsou dále přivařeny kostky s otvory s průchozími vnitřními závitami pro zašroubování upevňovacích šroubů. Utahováním upevňovacích šroubů se vyvíjí tlak na kostky upevnění držáku robotu a tím se dosahuje pevného spojení (analogie s variantou V5). Na rozdíl od varianty V5 je držák robotu (1) dále opatřen žebrováním z důvodu zvýšení tuhosti. K spodnímu plechu držáku robotu jsou upevněny držáky naklápěcího mechanismu (2) a (3). Držák naklápěcího mechanismu (3) má na montážní ploše v místě rotačního uložení držák sekundárního orientačního mechanismu (4) upevněn brzdý disk (3.1). Držák sekundárního orientačního mechanismu (4), uložený rotačně na držácích naklápěcího mechanismu (2) a (3), je řešen jako svarová podsestava s následným opracováním (broušením, frézováním) funkčních ploch a vrtáním (popřípadě vystružováním) montážních otvorů.

Držák sekundárního orientačního mechanismu (4) je dále opatřen držáky brzd sekundárního orientačního mechanismu (9). Uvnitř držáku sekundárního orientačního mechanismu (4) je rotačně uložen sekundární orientační mechanismus (6). Ten sestává ze svařence (6.1), kruhové dosedací desky (6.2), tyče pro upevnění koncového efektoru (6.4) a brzdého disku (6.3). Svařenec (6.1) je konstruován tak, aby osa otvorů sloužících k rotaci kolem osy „B“ ležela v rovině dosedací kruhové desky (6.2). Tímto je dosaženo co nejmenší míry smýkání kontaktních ploch dosedacích kruhových desek (6.2) a (7.13).



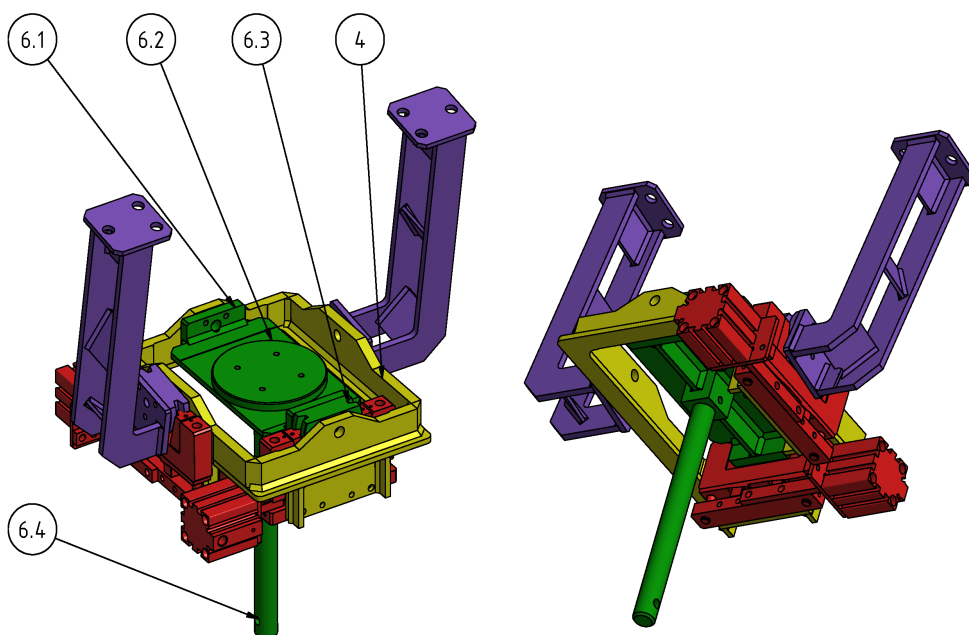
Obr. 5.7.5: Náhradní kinematické schéma brzd primárního orientačního ústrojí



Obr. 5.7.6: Rám a brzdy varianty V6 ve 3D zobrazení

Primární orientační mechanismus (7) je držen držákem mechanismu (5). Ten je tvořen svařencem diskového tvaru (5.2) a držákem axiálních ložisek (5.1). Svařenec (5.1) je tvořen kruhovým diskem, který slouží k upevnění držáku mechanismu (5) k ploše pohonu pohonu orientační osy paletizačního robota pěti šrouby M10 a jedním čepem táhla (5.3). Svařenec (5.2) je dále tvořen silnostěnnou tvarovou trubkou, jejíž horní vnější válcová plocha slouží k ustavení držáku mechanismu (5) na robot. Ke spodní čelní ploše této trubky dosedá držák axiálních ložisek (5.1), v němž jsou uloženy kroužky axiálních ložisek osy „C“ primárního orientačního mechanismu (7). Konstrukce umožňuje zajistit předepnutí ložisek pro zvýšení stykové tuhosti.

Primární orientační mechanismus (7) sestává z vedení ozubeného hřebenu (7.1). Tato svarová podestava má několik funkcí. Horní části svařence dominuje čep, jehož broušený vnější obvod slouží k uložení axiálních ložisek a našroubování kruhové matice KM6. Čep je z technologických důvodů opracován předem. Při přivařování k horní desce je tedy nutné volit svar tak, aby nezpůsobil deformace funkční válcové plochy. Horní deska a bočnice vedení ozubeného hřebenu (7.1) jsou vyztuženy žebra. Žebra jsou tvarována pro možnost navaření desky pro upevnění pneumatických válců (8.5) první brzdy primárního orientačního ústrojí (8) a druhé brzdy primárního orientačního ústrojí (10). Na opačném konci je otvor pro uložení osky brzd (8) a (10). Ke spodní části bočnice vedení ozubeného hřebenu (7.1) je přivařena kostka, která slouží k připevnění vedení ozubeného segmentu (7.9). Technologie obrobení funkčních ploch a montážních děr vedení ozubeného hřebenu (7.1) počítá s výrobou přípravku, který bude držet vedení ozubeného hřebenu (7.1) za funkční plochy čepu. Po funkčních plochách vedení ozubeného hřebenu (7.1) se posouvá ozubený hřeben (7.3). Lineární vedení počítá s odvalováním jehlových těles mezi funkčními plochami (není zobrazeno v modelu). Opěrnou plochu lineárního vedení ozubeného hřebenu (7.3) zajišťuje lišta (7.2). Předpětí lineárního vedení lze docílit při montáži; předepnutí se provede pomocí přípravku a až po vyvinutí předpětí přípravkem dojde k sešroubování lišty (7.2) k vedení ozubeného hřebenu (7.1). Nevýhodou tohoto způsobu předepnutí je, že po montáži se předpětí sníží o míru pružné deformace dílů.



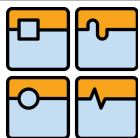
Obr. 5.7.7: Pohledy na sekundární orientační mechanismus

K ozubenému hřebenu (7.3) je připevněn držák čepu táhla (7.4), v němž je dále našroubován čep táhla (7.5). Čep táhla (7.5) tvoří rotační vazbu pro táhlo (7.6). Posledním dílem, připevněným k ozubenému hřebenu (7.3) je vymežovací ozubený hřeben (7.16), sloužící k vymezení vůle v ozubeném převodu. Ozubený segment (7.7) je v záběru s ozubeným hřebem (7.3). Je uzpůsoben pro posuv na vedení ozubeného segmentu (7.9). Valivé vedení předpokládá použití kuliček jakožto valivých těles. Ozubený segment (7.7) je upevněn k držáku ozubeného segmentu (7.8), k němuž je rovněž upevněna příložka (7.10). Horní plocha příložky (7.10) je zakřivená a podobně jako u ozubeného segmentu (7.7) je opatřena drážkami pro odvalování kuličkových ložisek. Sestava ozubeného segmentu (7.7), držáku ozubeného segmentu (7.8) a příložky (7.10) tvoří v záběru s vedením ozubeného segmentu (7.9) uzavřené lineární vedení.

Úhlová příložka válce (7.11), válec (7.12), pístnice (7.14), vodící tyče válce (7.15), kruhová dosedací deska (7.13) a píst (7.17) tvoří sestavu pneumatického válce, který ovládá sekundární orientační mechanismus (6).

Posledními funkčními celky jsou brzdy. První brzda primárního orientačního mechanismu (8) a druhá brzda primárního orientačního mechanismu (10) jsou velmi podobné díly. Náhradní kinematické schéma brzd je na obr. 5.7.5. Charakteristickými díly brzd jsou levá brzdová destička (8.2), pravá brzdová destička (8.3), bočnice brzdy (8.1), táhlo ovládání brzdy (8.4) a pneumatický válec (8.5). Brzdy jsou v klidové poloze zabrzděné, vysunutím válce (8.5) dochází k odbrzdění.

Brzda sekundárního orientačního mechanismu (9) sestává z držáku třmenu brzdy (9.1), vodících tyčí (9.2), třmenu brzdy (9.4), brzdových destiček (9.5), desky třmenu brzdy (9.3), dvou brzdových klínů (9.10), závitové tyče (9.11), táhla brzdy (9.9), držáku válce (9.6) a desky válce brzdy (9.7). Na desce válce brzdy (9.7) je upevněn dvojčinný pneumatický válec (9.8). Vysunutím pístnice dochází k odbrzdění, zasunutím pístnice dochází k zabrzdění válce. Brzdy sekundárního orientačního ústrojí (9) jsou navrženy tak, aby při poměrně malém ovládacím tlaku byly schopny vyvinout co největší brzdny moment.

**Výhody varianty V6**

Výhody varianty V6 se shodují s výhodami uvedenými v případě varianty V5. Dlouhý pracovní cyklus varianty V5 je eliminován použitím dvou orientačních mechanismů a rovněž zde odpadá výroba váček.

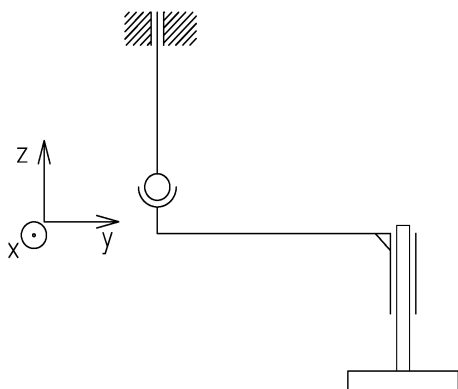
Nevýhody varianty V6

Nevýhodou jsou velké rozměry a značná komplikovanost zařízení.

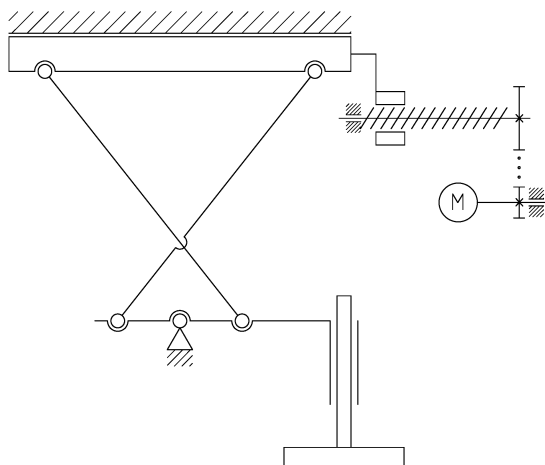
5.8 Varianta V7

5.8.1 Kinematické schéma

Topologie orientačního ústrojí podle varianty V7 je zobrazena na obr. 5.8.1. Varianta V7 počítá s sensorickou aktivní adaptivitou, řešenou obdobně jako u varianty V3. Samotné orientační ústrojí má pouze jednu orientační osu „A.“ Na nastavení orientace v ose „C“ je využita svislá orientační osa paletizačního robotu. Kompenzace polohy i orientace probíhá z větší části. Kompenzace probíhá současně všemi osami robotu i orientační osou orientačního ústrojí.



Obr. 5.8.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V7



Obr. 5.8.2: Náhradní kinematické schéma varianty V7

5.8.2 Princip funkce

Orientační ústrojí podle varianty V7 používá k pohonu své osy elektrický servomotor. Pohon druhé osy je realizován robotem. Osa „A“ orientačního ústrojí je rotační, je ovládaná přes Čebyševův mechanismus ([20], str. 536, obr. 1672) posuvným pohybem. Posuvný pohyb obstarává matice kuličkového šroubu, která transformuje rotační pohyb kuličkového šroubu. Kuličkový šroub je poháněn synchronní řemenicí prostřednictvím synchronního převodu. Hnací řemenice synchronního převodu je uložena na hřídeli servomotoru. Výhoda použití Čebyševova mechanismu spočívá v tom, že lze dosáhnout přímé transformace translačního pohybu na rotační. Podstatnou výhodou je také možnost jeho předepnutí pro odstranění vůlí v rotačních vazbách a pro zvýšení stykové tuhosti.

Orientační ústrojí podle varianty V7 je opatřeno taktilním senzorem pro odečítání polohových i úhlových úchylek. Princip je obdobný jako u varianty V3. Na rozdíl od varianty V3 se ale nepočítá s nutností použít řízenou osu „C“ pro montáž šroubů. Koncový



efektor v použití rázového utahováku je uložen s mechanickou poddajností v ose „z“ vzhledem k orientačnímu ústrojí.

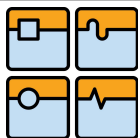
5.8.3 Pracovní cyklus

Při návrhu varianty V7 se předpokládá, že zařízení pro měření kompenzací nemusí být přímo součástí orientačního ústrojí. Zároveň se předpokládá nejen kompenzace úchylky díry, ale i samotného robotu. Pracovní cyklus je totožný s pracovním cyklem varianty V2 (obr. 5.2.3).

5.8.4 Přehled nákresů a legenda

Přehled nákresů je v přílohách 10 a 11.

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Příruba | 27. Kuličkový šroub |
| 2. Držák osy | 28. Ložiskový domek |
| 3. Lišta mechanismu | 29. Kryt |
| 4. Lineární vedení | 30. Ložisko kuličkového šroubu |
| 5. Vozík lineárního vedení | 31. Kuličkové ložisko |
| 6. Naklápěcí kostka | 32. Nákrůžek |
| 7. Táhl | 33. Hnací řemenice synchronního převodu |
| 8. Distanční trubka táhel | 34. Hnaná řemenice synchronního převodu |
| 9. Inkrementální rotační enkodér | 35. Pojistná matice |
| 10. Profil 250 | 36. Pojistná podložka |
| 11. Profil 75 | 37. Servomotor |
| 12. Profil 350 | 38. Držák motoru |
| 13. Profil 230 | 39. Koncový spínač |
| 14. Profil 275 | 40. Držák koncového spínače |
| 15. Profil 395 | 41. Předepínací kostka |
| 16. Profil 400 | 42. Závitová tyč M4 |
| 17. Profil 370 | 43. Koncový efektor |
| 18. Profil 230 | 44. Držák koncového efektoru |
| 19. Profil 200 | 45. Plech držáku koncového efektoru |
| 20. Konzola | 46. Lineární vedení koncového efektoru |
| 21. Vnitřní konzola | 47. Konzola pružiny |
| 22. Vnitřní konzola pravá | 48. Kostka |
| 23. Profilová záslepka | 49. Vodicí tyč pružiny |
| 24. T- matice | 50. Pružina |
| 25. Držák matice | 51. Držák enkodéru |
| 26. Matice kuličkového šroubu | 52. Rameno enkodéru |



5.8.5 Popis konstrukce

Základ konstrukčního návrhu je tvořen přírubou (1). Příruba (1) je plech čtvercového průřezu s kruhovým osazením pro vystředění při montáži na montážní plochu orientační osy paletizačního robota. Dále je opatřen množstvím průchozích otvorů pro montáž vozíku lineárního kolejnicového vedení (5) a pro montáž hliníkových profilů (16) a (17) rámu orientačního ústrojí. Lineární kolejnicové vedení (4) je použito pro přesné vedení Čebyševova mechanismu. Mechanismus sestává kromě lineárního vedení (4) z lišty mechanismu (3), čtyř táhel (7) a naklápěcí kostky (6). Lišta mechanismu (3) je šesti šrouby upevněna k lineárnímu vedení (4) a je opatřena otvory pro rotační uložení táhel (7). Táhla jsou uložena na kalených čepech, které jsou dále uloženy v kluzných teflonových pouzdrech. Naklápěcí kostka (6) je součást tvarově podobná liště mechanismu (3). Je opatřena otvory pro rotační uložení opačných konců táhel (7), dále otvorem pro uložení čepu pro dosažení vlastní rotace a dvěma otvory s vnitřními závity pro upevnění profilu (10). Profily (10) a (19) tvoří základ držáku koncového efektoru. Držák koncového efektoru dále sestává z lineárního vedení (46), které je upevněno na profilu (19) a spolu s vozíkem (5) tvoří lineární neřízenou (poddajnostní) osu „z.“ K vozíku (5) je šesti šrouby upevněn plech držáku koncového efektoru (45) a na něm je dvěma šrouby upevněn držák koncového efektoru (44). K plechu držáku koncového efektoru (45) je dále přišroubovaná konzola pružiny (47), jejíž spodní plocha dosedá na silentblok upevněný na kostce (48). Na horní plochu plechu držáku koncového efektoru (45) tlačí pružina (50), uložená na vodící tyči pružiny (49). Za koncový efektor (43) je považován rázový utahovák.

Lineární část mechanismu je poháněna pomocí kuličkového šroubu (27) a matice (26). Matice (26) je uložena a upevněna v držáku matice (25). Držák matice je upevněn k liště mechanismu (3) celkem čtyřmi šrouby. Konce kuličkového šroubu (27) jsou pak uloženy v ložiskách (30) speciálně navržených pro uložení kuličkových šroubů. Díky vnějším závitům, jimiž jsou opatřeny úložné konce kuličkového šroubu (27), a pojistným maticím řady KM (35), je správným utažením matic (35) dosaženo předpětí kuličkového šroubu (27). Matice jsou pojištěné podložkami řady MB (36) proti pootočení. Ložiska kuličkových šroubů (30) a kuličkové ložisko (31) jsou uloženy v domcích (28). K domkům (28) jsou upevněny kryty (29), které slouží pouze na axiální zajištění ložisek (30). Z technologického hlediska je toto řešení výhodné. Domky (28) jsou upevněny na profilu (17) rámu orientačního ústrojí. Na vnější válcové ploše s nejmenším průměrem kuličkového šroubu (27) je uložena hnaná řemenice (34) synchronního převodu. Konstrukční návrh předpokládá použití řady HTD o rozteči 5 mm.

Na profilu (16) je upevněn držák servomotoru (38), k němuž je upevněn servomotor (37). Na hřídeli servomotoru je upevněna hnací řemenice (33) synchronního převodu.

Rám orientačního ústrojí sestává z hliníkových profilů o délce strany 45 mm. Profily (12), (13), (14) a (15) slouží k uchycení držáku osy (2). Jsou smontovány se základními profily (16) a (17). Profily (14) a (15) jsou k profilu (17) upevněny na boční ploše a smontovány šrouby procházejícími skrz profily. Tímto tvarovým spojem je dosaženo vyšší spolehlivosti spoje. Profily (11) a (18) slouží pouze k navýšení tuhosti rámu. Spojení profilů rámu je dosaženo vnějšími konzolami (20), popřípadě vnitřními konzolami (21) a (22).

Držák osy (2) slouží k rotačnímu uložení naklápěcí kostky (6) a k upevnění držáku enkodéru (51), na kterém je upevněn inkrementální rotačního enkodér (9). Rotační pohyb orientačního ústrojí je na enkodér (9) přenášen prostřednictvím ramena enkodéru (52). O bezpečnost orientačního ústrojí se starají dva koncové spínače (39), zabírající přejezdu lišty mechanismu (3) mimo pracovní rozsah. Koncové spínače (39) jsou upevněny dvěma šrouby na držácích koncového spínače (40), což jsou díly vyrobené z polyamidového materiálu.



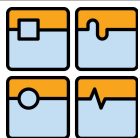
Konstrukční návrh počítá s vymezením vůlí mechanismu. K vymezení vůlí na mechanismu jsou na profilech (12), (13), (14) a (15) upevněny dvěma šrouby procházejícími skrz profily (aby se předešlo nežádoucímu posunutí) předepínací kostky (41). V každé předepínací kostce je uložena vždy jedna závitová tyč M4 (42), procházející na jejím druhém konci průchozím otvorem držáku osy (2). Dotahováním kontra matic dochází k vzniku předpětí celého mechanismu.

Výhody varianty V7

- Velká přesnost polohování
- Jednoduchá konstrukce
- Nenáročná technologie výroby
- Detailní zpracování

Nevýhody varianty V7

- Větší množství montážních dílů
- Senzorická adaptivita částečně závislá na přesnosti robotu
- Větší rozměry



6 Výběr nejoptimálnější varianty řešení

Výběr optimální nejoptimálnější varianty z uvedených návrhů bude proveden pomocí bazické bodovací metody [17], patřící do skupiny multikriteriálních metod. Porovnávání jednotlivých variant probíhá po technické i ekonomické stránce. Z porovnání bude vyřazena varianta V4, protože nebyl zhotoven konstrukční návrh, a varianta V3a, protože se nejedná o orientační ústrojí.

Postup pro porovnání variant je následující:

- Zavede se reprezentativní výběr parametrů
- Stanoví se bodovací stupnice
- Určí se významnost parametrů
- Ohodnotí se každá varianta a následně se vypočítá hodnocení

6.1 Reprezentativní výběr parametrů

- T1: Míra adaptivity** – v souladu s teorií adaptivity v kapitole 3 lze zavést 3 kategorie: Schopnost orientačního ústrojí kompenzovat polohu v desetinách milimetru maximálně do 0,5 mm, od 0,5 mm do 1 mm, 1 mm až 5 mm. Míra adaptivity závisí na konstrukci a principu fungování adaptivity.
- T2: Přesnost adaptivity vzhledem k přesnosti polohování robotu** – bude stanovena odhadem na základě konstrukce a hlavně závislosti polohové kompenzace na opakovatelné přesnosti polohování robotu.
- T3: Spolehlivost** – jedná se o spolehlivost kompenzace, závisí na kinematické struktuře orientačního ústrojí a jeho celkové konstrukci.
- T4: Přesnost orientačního ústrojí** – bude stanovena odhadem na základě množství kinematických dvojic a jejich přesnosti dané konstrukčním návrhem, popřípadě možnost předepnutí a vymezení vůlí.
- T5: Pohon orientačního ústrojí** – hydraulický, pneumatický, elektrický, bez vlastního pohonu
- T6: Délka časového cyklu montáže** – bude stanovena na základě odhadu podle grafů pro každou variantu řešení.
- T7: Náklady na vývoj** – odhad nákladů na vývoj dle jeho časové náročnosti
- T8: Náklady na výrobu** – odhad nákladů na výrobu v závislosti na počtu a složitosti vyráběných komponent a ceny nakupovaných dílů
- T9: Míra funkčnosti** – jedná se o míru schopnosti orientačního ústrojí vykonávat všechny funkce popsané v kapitole teorie. Neřeší přesnost orientačního ústrojí.



6.2 Bodovací stupnice

Bodovací stupnice bude je definována jako HBS v oboru od $0,1 \div 1$ s dělením po desetinách. Celkem je k dispozici 10 hodnot. Parametry T1, T2 a T5 mají uvedené konkrétní položky, kterým je nutné přidělit konkrétní hodnotu z bodovací stupnice. Konkrétní hodnoty jsou přiděleny v tabulce 6.2.1:

Tabulka 6.2.1: Přidělení konkrétních hodnot bodovací stupnici

Parametr	Přidělení hodnoty v bodovací stupnici a zdůvodnění
T1	Pro schopnost orientačního ústrojí kompenzovat polohu v desetinách milimetru maximálně do 0,5 mm je přiřazena $HBS1 = 0,2$, pro schopnost orientačního ústrojí kompenzovat polohu od 0,5 mm do 1 mm je přiřazena $HBS1 = 0,5$ a pro schopnost orientačního ústrojí kompenzovat polohu od 1 mm do 5 mm je přiřazena $HBS1 = 0,9$.
T2	Parametr může nabývat dvou hodnot. Buď je polohová adaptivita závislá na přesnosti robotu (což je u senzorické adaptivity) a pak je přiřazena hodnota $HBS2 = 0,2$, nebo je nezávislá na přesnosti robotu a pak je přiřazena hodnota $HBS2 = 1$. Důvod zavedení parametru spočívá v tom, že při nezávislosti na přesnosti robotu je orientační ústrojí použitelné i pro méně přesné roboty nebo manipulátory.
T5	Pro hydraulický pohon přísluší hodnota $HBS5 = 0,2$ z důvodu nutnosti opatřit robot hydraulickým agregátem. Pro pneumatický robot přísluší hodnota $HBS5 = 0,6$, pro elektrický pohon je přiřazena hodnota $HBS5 = 0,8$ a pro řešení bez vlastního pohonu přísluší hodnota $HBS5 = 1$. V případě kombinace pohonů se provede jejich součin.

6.3 Významnost parametrů

Významnost parametrů bude stanovena na základě bodovací stupnice VP v oboru od 0 do 1 s dělením po 0,2. Celkem je tedy k dispozici 6 hodnot. Přidělení významnosti parametrů je zdůvodněno v tabulce 6.3.1.

Tabulka 6.3.1: Významnost parametrů

Parametr	Významnost parametru	Zdůvodnění určení významnosti parametru
T1	$VP_1 = 0,8$	Parametr hodnotí míru kvality orientačního ústrojí.
T2	$VP_2 = 0,4$	Parametr z menší části hodnotí míru kvality orientačního ústrojí.
T3	$VP_3 = 1$	Parametr hodnotí míru kvality orientačního ústrojí a přímo míru samotné funkčnosti orientačního ústrojí.
T4	$VP_4 = 0,8$	Parametr hodnotí míru kvality orientačního ústrojí.
T5	$VP_5 = 0,6$	Parametr má vliv na ekonomiku provozu i na výrobní náklady.
T6	$VP_6 = 0,6$	Parametr má přímý vliv na produktivitu práce, proto je poměrně důležitý.
T7	$VP_7 = 0,4$	Při sériové výrobě orientačního ústrojí se náklady podělí na počet výrobků. Na každý výrobek tedy bude mít velikost nákladů na vývoj poměrně malý vliv.
T8	$VP_8 = 0,8$	Parametr z velké části zastupuje konkurenceschopnost výrobku.
T9	$VP_9 = 1$	Parametr hodnotí míru kvality orientačního ústrojí.

6.4 Výpočet hodnocení varianty V1

Ohodnocení varianty V1 dle parametrů a zdůvodnění ohodnocení je v tabulce 6.4.1:

Tabulka 6.4.1: Ohodnocení varianty V1

Parametr	Hodnocení parametru	Zdůvodnění hodnocení parametru
T1	$HBS_{11} = 0,2$	Pasivní mechanická kompenzace
T2	$HBS_{12} = 1$	Pasivní mechanická kompenzace, není závislá na přesnosti robotu
T3	$HBS_{13} = 0,3$	Pasivní mechanická kompenzace s nevýhodnou strukturou kompenzačních stupňů volnosti
T4	$HBS_{14} = 0,4$	Malý počet kinematických dvojic, ale velký krok krokového motoru
T5	$HBS_{15} = 0,8$	Elektrický pohon
T6	$HBS_{16} = 0,8$	Rychlý pracovní cyklus
T7	$HBS_{17} = 0,1$	Nutný vývoj kluzných materiálů kulového kloubu v kombinaci s přítomností magnetů
T8	$HBS_{18} = 0,5$	Malý počet součástí, ale jejich výroba je náročná.
T9	$HBS_{19} = 0,6$	Schopnost orientace, polohových i úhlových kompenzací



Konečná technicko- ekonomická hodnota varianty V1 je dána vztahem

$$\tau_1 = \frac{VP_1 \cdot HBS_{11} + VP_2 \cdot HBS_{12} + VP_3 \cdot HBS_{13} + VP_4 \cdot HBS_{14} + VP_5 \cdot HBS_{15} + VP_6 \cdot HBS_{16}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} + \frac{VP_7 \cdot HBS_{17} + VP_8 \cdot HBS_{18} + VP_9 \cdot HBS_{19}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} \quad (15)$$

$$\tau_1 = \frac{0,8 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 1 + 1 \cdot 0,3 + 0,8 \cdot 0,4 + 0,6 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,1 + 0,8 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,6}{0,8 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,8 + 1} = 0,50$$

$$\tau_1 = 0,50$$

6.5 Výpočet hodnocení varianty V2

Ohodnocení varianty V2 dle parametrů a zdůvodnění ohodnocení je v tabulce 6.5.1:

Tabulka 6.5.1: Ohodnocení varianty V2

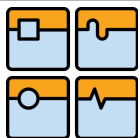
Parametr	Hodnocení parametru	Zdůvodnění hodnocení parametru
T1	HBS ₂₁ = 0,2	Pasivní mechanická kompenzace
T2	HBS ₂₂ = 1	Pasivní mechanická kompenzace, není závislá na přesnosti robotu
T3	HBS ₂₃ = 0,4	Pasivní mechanická kompenzace s výhodnější strukturou kompenzačních stupňů volnosti
T4	HBS ₂₄ = 0,5	Malý počet kinematických dvojic, předepnutá uložení, ale nevýhodné měření úhlu naklonění pomocí integrálního průtokoměru
T5	HBS ₂₅ = 0,2	Hydraulický pohon
T6	HBS ₂₆ = 0,8	Rychlý pracovní cyklus
T7	HBS ₂₇ = 0,3	Nutný vývoj hydraulické části
T8	HBS ₂₈ = 0,8	Malý počet součástí, mírně náročná výroba
T9	HBS ₂₉ = 0,6	Schopnost orientace, polohových i úhlových kompenzací

Konečná technicko- ekonomická hodnota varianty V2 je dána vztahem

$$\tau_2 = \frac{VP_1 \cdot HBS_{21} + VP_2 \cdot HBS_{22} + VP_3 \cdot HBS_{23} + VP_4 \cdot HBS_{24} + VP_5 \cdot HBS_{25} + VP_6 \cdot HBS_{26}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} + \frac{VP_7 \cdot HBS_{27} + VP_8 \cdot HBS_{28} + VP_9 \cdot HBS_{29}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} \quad (16)$$

$$\tau_2 = \frac{0,8 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 1 + 1 \cdot 0,4 + 0,8 \cdot 0,5 + 0,6 \cdot 0,2 + 0,6 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,3 + 0,8 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,6}{0,8 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,8 + 1} = 0,52$$

$$\tau_2 = 0,52$$



6.6 Výpočet hodnocení varianty V3

Ohodnocení varianty V3 dle parametrů a zdůvodnění ohodnocení je v tabulce 6.6.1:

Tabulka 6.6.1: Ohodnocení varianty V3

Parametr	Hodnocení parametru	Zdůvodnění hodnocení parametru
T1	$HBS_{31} = 0,9$	Měření kompenzace měřicí jehlou
T2	$HBS_{32} = 0,2$	Aktivní senzorická kompenzace, je závislá na přesnosti robotu
T3	$HBS_{33} = 0,8$	Aktivní kompenzace je schopna velmi přesně vyhodnotit a velmi přesně kompenzovat polohové i úhlové úchyly
T4	$HBS_{34} = 0,9$	Použití šnekového převodu s vymezenými vůlemi
T5	$HBS_{35} = 0,8$	Elektrický pohon
T6	$HBS_{36} = 0,6$	Rychlý pracovní cyklus, mírné zpomalení měřením úchylek
T7	$HBS_{37} = 0,8$	Zařízení používá z velké části standardní konstrukční prvky.
T8	$HBS_{38} = 0,5$	Středně velké množství součástí, varianta počítá s výrobou odlitků, záleží na sériovosti
T9	$HBS_{39} = 0,9$	Schopnost orientace, polohových i úhlových kompenzací a stupeň volnosti navíc ve směru osy „Z.“

Konečná technicko- ekonomická hodnota varianty V3 je dána vztahem

$$\tau_3 = \frac{VP_1 \cdot HBS_{31} + VP_2 \cdot HBS_{32} + VP_3 \cdot HBS_{33} + VP_4 \cdot HBS_{34} + VP_5 \cdot HBS_{35} + VP_6 \cdot HBS_{36} + VP_7 \cdot HBS_{37} + VP_8 \cdot HBS_{38} + VP_9 \cdot HBS_{39}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} \quad (17)$$

$$\tau_3 = \frac{0,8 \cdot 0,9 + 0,4 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,9 + 0,6 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,6 + 0,4 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,9}{0,8 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,8 + 1} = 0,75$$

$$\tau_3 = 0,75$$



6.7 Výpočet hodnocení varianty V5

Ohodnocení varianty V5 dle parametrů a zdůvodnění ohodnocení je v tabulce 6.7.1:

Tabulka 6.7.1: Ohodnocení varianty V5

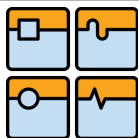
Parametr	Hodnocení parametru	Zdůvodnění hodnocení parametru
T1	$HBS_{51} = 0,9$	Měření kompenzace měřicí jehlou
T2	$HBS_{52} = 1$	Kompenzace je nezávislá na přesnosti robotu
T3	$HBS_{53} = 0,7$	Aktivní mechanická kompenzace pomocí měřicí jehly je schopna velmi přesně kompenzovat polohové úchyly, ale na jehlu může vznikat velké zatížení, což může mírně snížit spolehlivost
T4	$HBS_{54} = 0,8$	Možnost předeptnutí, ale velmi závisí na přesnosti axiální vačky.
T5	$HBS_{55} = 0,6$	Bez vlastního pohonu, brzda ovládaná pneumaticky
T6	$HBS_{56} = 0,2$	Zpomalení měřením úchylek, velmi zdlouhavé nastavení orientace
T7	$HBS_{57} = 0,5$	Je nutné zajistit správný tvar axiálních váček a jejich přesnou výrobu.
T8	$HBS_{58} = 0,3$	Středně velké množství součástí, velmi náročná výroba váček
T9	$HBS_{59} = 0,4$	Schopnost orientace a polohových kompenzací

Konečná technicko- ekonomická hodnota varianty V5 je dána vztahem

$$\tau_5 = \frac{VP_1 \cdot HBS_{51} + VP_2 \cdot HBS_{52} + VP_3 \cdot HBS_{53} + VP_4 \cdot HBS_{54} + VP_5 \cdot HBS_{55} + VP_6 \cdot HBS_{56} + VP_7 \cdot HBS_{57} + VP_8 \cdot HBS_{58} + VP_9 \cdot HBS_{59}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} \quad (18)$$

$$\tau_5 = \frac{0,8 \cdot 0,9 + 0,4 \cdot 1 + 1 \cdot 0,7 + 0,8 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,6 + 0,6 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,4}{0,8 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,8 + 1} = 0,59$$

$$\tau_5 = 0,59$$



6.8 Výpočet hodnocení varianty V6

Ohodnocení varianty V6 dle parametrů a zdůvodnění ohodnocení je v tabulce 6.8.1:

Tabulka 6.8.1: Ohodnocení varianty V6

Parametr	Hodnocení parametru	Zdůvodnění hodnocení parametru
T1	$HBS_{61} = 0,9$	Měření kompenzace měřicí jehlou
T2	$HBS_{62} = 1$	Kompenzace je nezávislá na přesnosti robotu
T3	$HBS_{63} = 0,7$	Aktivní mechanická kompenzace pomocí měřicí jehly je schopna velmi přesně kompenzovat polohové úchytky, ale na jehlu může vznikat velké zatížení, což může mírně snížit spolehlivost
T4	$HBS_{64} = 0,7$	Velké množství kinematických dvojic, ale je zajištěno vymezení vůlí.
T5	$HBS_{65} = 0,6$	Bez vlastního pohonu, brzdy ovládané pneumaticky
T6	$HBS_{66} = 0,6$	Rychlý pracovní cyklus, mírné zpomalení měřením úchylek
T7	$HBS_{67} = 0,8$	Zařízení používá z velké části standardní konstrukční prvky.
T8	$HBS_{68} = 0,4$	Velké množství dílů
T9	$HBS_{69} = 0,4$	Schopnost orientace a polohových kompenzací

Konečná technicko- ekonomická hodnota varianty V6 je dána vztahem

$$\tau_6 = \frac{VP_1 \cdot HBS_{61} + VP_2 \cdot HBS_{62} + VP_3 \cdot HBS_{63} + VP_4 \cdot HBS_{64} + VP_5 \cdot HBS_{65} + VP_6 \cdot HBS_{66} + VP_7 \cdot HBS_{67} + VP_8 \cdot HBS_{68} + VP_9 \cdot HBS_{69}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} \quad (19)$$

$$\tau_6 = \frac{0,8 \cdot 0,9 + 0,4 \cdot 1 + 1 \cdot 0,7 + 0,8 \cdot 0,7 + 0,6 \cdot 0,6 + 0,6 \cdot 0,6 + 0,4 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,4}{0,8 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,8 + 1} = 0,65$$

$$\tau_6 = 0,65$$



6.9 Výpočet hodnocení varianty V7

Ohodnocení varianty V7 dle parametrů a zdůvodnění ohodnocení je v tabulce 6.9.1:

Tabulka 6.9.1: Ohodnocení varianty V7

Parametr	Hodnocení parametru	Zdůvodnění hodnocení parametru
T1	$HBS_{71} = 0,9$	Měření kompenzace měřicí jehlou
T2	$HBS_{72} = 0,2$	Kompenzace je závislá na přesnosti robotu
T3	$HBS_{73} = 0,8$	Aktivní kompenzace je schopna velmi přesně vyhodnotit a velmi přesně kompenzovat polohové i úhlové úchyly
T4	$HBS_{74} = 0,9$	Malý počet kinematických dvojic, částečně zajištěno předemutí.
T5	$HBS_{75} = 0,8$	Bez vlastního pohonu, elektrický pohon
T6	$HBS_{76} = 0,7$	Rychlý pracovní cyklus, mírné zpomalení občasným měřením úchylek
T7	$HBS_{77} = 0,8$	Zařízení používá z velké části standardní konstrukční prvky.
T8	$HBS_{78} = 0,8$	Středně velký počet součástí
T9	$HBS_{79} = 0,6$	Schopnost orientace, polohových i úhlových kompenzací

Konečná technicko- ekonomická hodnota varianty V7 je dána vztahem

$$\tau_7 = \frac{VP_1 \cdot HBS_{71} + VP_2 \cdot HBS_{72} + VP_3 \cdot HBS_{73} + VP_4 \cdot HBS_{74} + VP_5 \cdot HBS_{75} + VP_6 \cdot HBS_{76} + \frac{VP_7 \cdot HBS_{77} + VP_8 \cdot HBS_{78} + VP_9 \cdot HBS_{79}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9}}{VP_1 + VP_2 + VP_3 + VP_4 + VP_5 + VP_6 + VP_7 + VP_8 + VP_9} + \dots \quad (20)$$

$$\tau_7 = \frac{0,8 \cdot 0,9 + 0,4 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,9 + 0,6 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,7 + 0,4 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,6}{0,8 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,8 + 1} = 0,80$$

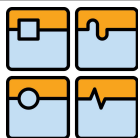
$$\tau_7 = 0,80$$

Následující tabulka rekapituluje výsledky multikriteriálního hodnocení:

Tabulka 6.9.2: Rekapitulace výsledků multikriteriálního hodnocení

Variant	V1	V2	V3	V5	V6	V7
Technicko-ekonomická hodnota	0,5	0,52	0,75	0,59	0,65	0,8

Podle výpočtů je zřejmé, že technicky a ekonomicky nejvýhodnější variantou je varianta V7.



7 Výpočet

Pro detailní zpracování konstrukce navrženého mechanismu orientačního ústrojí je nutné provést výpočet. Výpočet zahrnuje návrh osy „A“ ze statického, kinematického i dynamického hlediska a po provedení návrhu osy je provedena pevnostní kontrola nejvíce namáhaných prvků. Další část výpočtu se zabývá kinematikou polohování.

Parametry mechanismu jsou určeny kromě převodového poměru synchronního převodu. Proto bude výpočet proveden nejprve bez uvažování převodu a potom na základě průběhu otáček a momentu dojde k případnému návržení.

Předběžně je voleno použití servomotoru ESTUN EMJ 02A [36] se jmenovitým výkonem $P_{js} = 200\text{ W}$, jmenovitým momentem $M_{js} = 0,64\text{ Nm}$, špičkovým momentem $M_{maxs} = 1,92\text{ Nm}$, jmenovitými otáčkami $n_{js} = 3000\text{ min}^{-1}$ a maximálními otáčkami $n_{maxs} = 4500\text{ min}^{-1}$.

7.1 Statické hledisko

Při polohování nedochází ke vzniku zatížení vlivem technologických sil, takže jediným zdrojem statického zatížení je tíhová síla. Tíhová síla působící na soustavu mechanismu orientačního ústrojí a koncového efektoru se určí na základě hmotnosti této soustavy a těžiště. Tyto dvě hodnoty se získají ze 3D modelu v aplikaci Autodesk Inventor. Hmotnost soustavy je $m_{gsm} = 8,181\text{ kg}$ a vzdálenost těžiště od osy rotace ve směru osy „y“ je $y_{t1} = 303,229\text{ mm}$. Dalšími parametry, které byly stanoveny při návrhu konstrukce orientačního zařízení, jsou rozměr $L_{ly} = 30\text{ mm}$, průměr čepu $d_{\text{čF}} = 8\text{ mm}$, součinitel smykového tření pro čepy podle [38], str. 17, $f_F = 0,08$, vzdálenost osy lineárního vedení a osy matice $e_e = 57\text{ mm}$. Dále jsou určeny parametry podle vztahů:

$$L_T = 8 \cdot L_{ly} = 8 \cdot 30 = 240$$

$$\underline{L_T = 240\text{ mm}} \quad (21)$$

a

$$L_{Mz} = \sqrt{(8 \cdot L_{ly})^2 - (4 \cdot L_{ly})^2} = \sqrt{(8 \cdot 30)^2 - (4 \cdot 30)^2} = 207,85 \quad (22)$$

$$\underline{L_{Mz} = 207,85\text{ mm}}$$

Ke stanovení statického momentu je nutné podrobit mechanismus statickému rozboru. Mechanismus bude rozdělen na první část s Čebyševovým inverzním mechanismem a druhou část se šroubem a maticí a synchronním převodem.

První část mechanismu bude řešena podle teorie NNTN, protože zahrnutí pasivních odporů vzniklých smykovým třením v čepích by zavedlo do vztahů nelinearitu. Aby bylo tření uvažováno, provede se odhad účinnosti přenosu zatížení pro všechny čepy.

7.1.1 Statický rozbor první části mechanismu

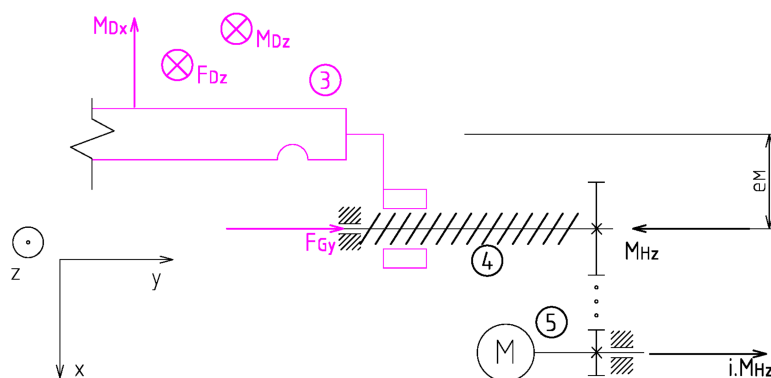
Cílem statického rozboru první části mechanismu je stanovit funkci síly F_{Gy} v závislosti na natočení úhlu α . Proto je nutné stanovit rovnice statické rovnováhy pro obecný úhel α . K tomu je zapotřebí geometricky odvodit několik vztahů podle obr. 7.1.1.

Množina neznámých parametrů je $NP = [F_{Ay}, F_{Az}, F_{By}, F_{Bz}, F_{Cy}, F_{Cz}, F_{Dz}, M_{Dx}, F_{Fy}, F_{Fz}, F_{Gy}, F_{Jy}, F_{Jz}]$. Celkem je tedy 13 neznámých parametrů. K výpočtu je určených 12 rovnic, což znamená, že soustava je staticky přeurčená a je nutné zavést podmínku. K největšímu namáhání mechanismu dochází, pokud zatížení přenáší pouze jedna skupina táhel. Proto lze zavést podmínku

$$F_{Fz} = 0 \text{ N} \quad (38)$$

Potom lze odvozením získat

$$F_{Gy} = F_{GSM} \cdot \frac{\frac{y_{Tl}}{L_{yl}} + 1}{tg \beta_R + tg \alpha} \quad (39)$$



Obr. 7.1.2: Geometrické zobrazení druhé části mechanismu

7.1.2 Statický rozbor druhé části mechanismu

Druhá část je podrobena neúplnému statickému rozboru, dostatečnému pro získání potřebných parametrů. Podle obr. 7.1.2 lze psát:

$$M_{Dz} = F_{Gy} \cdot e_M \quad (40)$$

$$M_{Hz} = \frac{F_{Gy} \cdot s_s}{2 \cdot \pi} = F_{GSM} \cdot \frac{\frac{y_{Tl}}{L_{yl}} + 1}{tg \beta_R + tg \alpha} \cdot \frac{s_s}{2 \cdot \pi} \quad (41)$$

7.1.3 Stanovení ztrát

U většiny uzlů, kde dochází ke ztrátám vlivem tření, je možné účinnost přenosu mechanické energie určit odhadem účinností z [32], str. 83. Účinnost lineárního vedení $\eta_v = 0,98$, účinnost kuličkového šroubu $\eta_s = 0,92$, účinnost jednoho ložiska kuličkového šroubu $\eta_L = 0,99$, účinnost synchronního převodu $\eta_p = 0,99$.

Nakonec je nutné odhadnout účinnost čepů. Necht' se vychází z čepu ve vazbě F. Odhad bude postaven na základě součinitele třecí síly a poměru ramena síly F_{Fz} ku polovině



průměru čepu d_{cF} . Důvodem pro stanovení ramena síly F_F je fakt, že toto rameno příslušné síly je ze všech ramen nejkratší a proto účinnost převodu zde bude nejmenší. Účinnost přenosu mechanické energie v čepu F se určí vztahem

$$\eta_{\varepsilon} = 1 - \frac{d_{cF}}{2 \cdot L_{1y}} \cdot f_F = 1 - \frac{8}{2 \cdot 30} \cdot 0,08 = 0,989 \quad (42)$$

$$\underline{\eta_{\varepsilon} = 0,989}$$

Celková účinnost pro celkem pět čepů a dvě ložiska kuličkového šroubu bez uvažování synchronního převodu se stanoví ze vzorce

$$\eta_C = \eta_{\varepsilon}^5 \cdot \eta_v \cdot \eta_s \cdot \eta_L^2 = 0,989^5 \cdot 0,98 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 = 0,838 \quad (43)$$

$$\underline{\eta_C = 0,838}$$

Pak celková potřebná statický hnací moment je

$$M_{HNS} = M_{Hz} \cdot \eta_C \quad (44)$$

7.2 Kinematické hledisko

Výsledkem výpočtu pohonu z kinematického hlediska je průběh úhlové rychlosti (především její maximální hodnota) a zrychlení servomotoru.

Vstupním požadavkem pro zahájení výpočtu z kinematického hlediska je požadovaný čas pro maximální změnu orientace osy. Tento údaj není k dispozici, proto se provede kvalifikovaný odhad. Kvalifikovaný odhad je stanoven na základě parametrů robotu ABB IRB460, pro který je zařízení konstruováno. Z technického listu [2] lze vyčíst dvě charakteristické veličiny. Jedná se o hodnotu maximálního počtu cyklů za hodinu a maximální rychlost osy „C.“ Z maximálního počtu cyklů za hodinu $n_{cyklh} = 2160$ lze získat dobu cyklu robotu pomocí vztahu

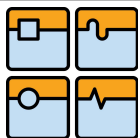
$$t_{cyklr} = \frac{3600}{n_{cyklh}} = \frac{3600}{2160} = 1,67 \quad (45)$$

$$\underline{t_{cyklr} = 1,67 \text{ s}}$$

Nyní záleží na poměru součtu časových délek montážní operace a uchopení spojovacího materiálu ku časové délce polohování a orientace robotu. Tento údaj lze spolehlivě získat pouze měřením. Proto lze určit, že odhad požadovaného času pro maximální změnu orientace osy nemá smysl určovat z maximálního počtu cyklů robotu za hodinu.

Je žádoucí, aby přepolohování obou orientačních os (to znamená svislé orientační osy robotu i naklápěcí orientační osy samotného zařízení) trvalo přibližně stejný čas. Pro spolehlivou funkci je potřebný rozsah natáčení svislé orientační osy $\pm 90^\circ$ a naklápění osy „A“ je potřebný rozsah $\pm 30^\circ$. Přitom se předpokládá svislá orientace zásobníku spojovacího materiálu. Začátek montážního cyklu vypadá tak, že robot odjede z místa montáže do referenční polohy do zásobníku spojovacího materiálu. Orientační ústrojí se uvede do referenční orientace, čemuž odpovídá úhel 0° .

Maximální úhel, který vykoná svislá osa „C“ při ustavení do referenční orientace, je tedy 90° a maximální úhel, který vykoná svislá osa „A“ při ustavení do referenční orientace je 30° . Protože úhlové zrychlení není známo, bude se uvažovat teoreticky nejnáročnější stav na pohon. Tím pádem se bude předpokládat nekonečně velké zrychlení osy „C.“ Takto lze určit teoreticky nejkratší možnou dobu orientace naklápěcí osy poměrem



$$t_{ori} = \frac{\phi_C}{\omega_{maxC}} = \frac{90}{400} = 0,225 \quad (46)$$

$$\underline{t_{ori} = 0,225 \text{ s}}$$

Pro výpočet rychlostního profilu servomotoru je nutné stanovit posunutí translačního členu mechanismu orientačního ústrojí. To se určí dosazením úhlu $\alpha = 30^\circ$ do rovnic (23) a (25):

$$\beta_F = \arcsin \left[\frac{L_{Mz} + \Delta_{LMz}}{L_T} \right] = \arcsin \left[\frac{L_{Mz} + L_{ly} \cdot \sin \alpha}{L_T} \right] = \arcsin \left[\frac{207,85 + 30 \cdot \sin 30^\circ}{240} \right] \quad (47)$$

$$\underline{\beta_F = 68,209^\circ}$$

$$\Delta_y = L_T \cdot \cos \beta_F - L_{ly} \cdot \cos \alpha = 240 \cdot \cos 68,209^\circ - 30 \cdot \cos 30^\circ = 63,11 \quad (48)$$

$$\underline{\Delta_y = 63,11 \text{ mm}}$$

Potom posunutí translačního členu pro úhel $\alpha = 30^\circ$

$$y_3(0,225) = 3 \cdot L_{ly} - \Delta_y = 3 \cdot 30 - 63,11 = 26,89 \quad (49)$$

$$\underline{y_3(0,225) = 26,89 \text{ mm}}$$

Pro dosažení hladkého průběhu úhlového zrychlení bude funkce posunutí $y_3(t)$ polynom pátého řádu [12]. Fakt lze vyjádřit funkcí

$$y_3(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 + a_5 \cdot t^5 \quad (50)$$

Pro vyřešení funkce je nutné určit její derivace. První derivace funkce

$$\frac{dy_3}{dt} = a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot t + 3 \cdot a_3 \cdot t^2 + 4 \cdot a_4 \cdot t^3 + 5 \cdot a_5 \cdot t^4 \quad (51)$$

Druhá derivace funkce

$$\frac{d^2 y_3}{dt^2} = 2 \cdot a_2 + 6 \cdot a_3 \cdot t + 12 \cdot a_4 \cdot t^2 + 20 \cdot a_5 \cdot t^3 \quad (52)$$

Třetí derivace funkce

$$\frac{d^3 y_3}{dt^3} = 6 \cdot a_3 + 24 \cdot a_4 \cdot t + 60 \cdot a_5 \cdot t^2 \quad (53)$$

Čtvrtá derivace funkce

$$\frac{d^4 y_3}{dt^4} = 24 \cdot a_4 + 120 \cdot a_5 \cdot t \quad (54)$$

Pátá derivace funkce

$$\frac{d^5 y_3}{dt^5} = 120 \cdot a_5 \quad (55)$$



Dále je nutné pro vyřešení funkce stanovit celkem šest okrajových podmínek:

$$y_3=0 \text{ pro } t=0; y_3=26,89 \text{ pro } t=0,255$$

$$\frac{dy_3}{dt}=0 \text{ pro } t=0; \frac{dy_3}{dt}=0 \text{ pro } t=0,255$$

$$\frac{d^2 y_3}{dt^2}=0 \text{ pro } t=0; \frac{d^2 y_3}{dt^2}=0 \text{ pro } t=0,255$$

Dosazením okrajových podmínek do rovnic (50), (51) a (52):

$$0=a_0+a_1 \cdot 0+a_2 \cdot 0^2+a_3 \cdot 0^3+a_4 \cdot 0^4+a_5 \cdot 0^5 \quad (56)$$

$$26,89=a_0+a_1 \cdot 0,225+a_2 \cdot 0,225^2+a_3 \cdot 0,225^3+a_4 \cdot 0,225^4+a_5 \cdot 0,225^5 \quad (57)$$

$$0=a_1+2 \cdot a_2 \cdot 0+3 \cdot a_3 \cdot 0^2+4 \cdot a_4 \cdot 0^3+5 \cdot a_5 \cdot 0^4 \quad (58)$$

$$0=a_1+2 \cdot a_2 \cdot 0,225+3 \cdot a_3 \cdot 0,225^2+4 \cdot a_4 \cdot 0,225^3+5 \cdot a_5 \cdot 0,225^4 \quad (59)$$

$$0=2 \cdot a_2+6 \cdot a_3 \cdot 0+12 \cdot a_4 \cdot 0^2+20 \cdot a_5 \cdot 0^3 \quad (60)$$

$$0=2 \cdot a_2+6 \cdot a_3 \cdot 0,225+12 \cdot a_4 \cdot 0,225^2+20 \cdot a_5 \cdot 0,225^3 \quad (61)$$

Z rovnic (56), (58) a (60) je zřejmé, že $a_0 = 0$, $a_1 = 0$ a $a_2 = 0$. Potom lze úpravou sestavit soustavu:

$$26,89=a_3 \cdot 0,225^3+a_4 \cdot 0,225^4+a_5 \cdot 0,225^5 \quad (62)$$

$$0=3 \cdot a_3+4 \cdot a_4 \cdot 0,225+5 \cdot a_5 \cdot 0,225^2 \quad (63)$$

$$0=3 \cdot a_3+6 \cdot a_4 \cdot 0,225+10 \cdot a_5 \cdot 0,225^2 \quad (64)$$

Soustava se spočítá pomocí maticového počtu zavedením matice

$$A_{kin}=\begin{pmatrix} 0,225^3 & 0,225^4 & 0,225^5 \\ 3 & 4 \cdot 0,225 & 5 \cdot 0,225^2 \\ 3 & 6 \cdot 0,225 & 10 \cdot 0,225^2 \end{pmatrix}, \text{ vektoru pravých stran } b_{kin}=\begin{pmatrix} 26,89 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ a}$$

vektoru proměnných $a_{kin}=\begin{pmatrix} a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix}$. Dosazením do vztahu

$$a_{kin}=A_{kin}^{-1} \cdot b_{kin}=\begin{pmatrix} 0,225^3 & 0,225^4 & 0,225^5 \\ 3 & 4 \cdot 0,225 & 5 \cdot 0,225^2 \\ 3 & 6 \cdot 0,225 & 10 \cdot 0,225^2 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 26,89 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} \quad (65)$$

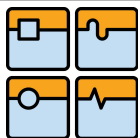
Z toho vyplývá, že $a_3 \sim 2,3607 \cdot 10^4$, $a_4 \sim -1,5738 \cdot 10^5$ a $a_5 \sim 2,7979 \cdot 10^5$.

Maximální rychlost translačního členu mechanismu se určí položením derivaci rychlosti nule:

$$\frac{d^2 y_3}{dt^2}=0=6 \cdot a_3 \cdot t+12 \cdot a_4 \cdot t^2+20 \cdot a_5 \cdot t^3 \quad (66)$$

Z rovnice je pochopitelné, že $t_1 = 0s$. Další úpravou rovnice na tvar

$$0=3 \cdot a_3+6 \cdot a_4 \cdot t+10 \cdot a_5 \cdot t^2 \quad (67)$$



lze řešením kvadratické rovnice získat poslední dva kořeny:

$$t_2 = \frac{-6 \cdot a_4 - \sqrt{(6 \cdot a_4)^2 - 4 \cdot 3 \cdot a_3 \cdot 10 \cdot a_5}}{2 \cdot 10 \cdot a_5} \quad (68)$$

$$t_2 = \frac{-6 \cdot (-1,5738 \cdot 10^5) - \sqrt{(6 \cdot (-1,5738 \cdot 10^5))^2 - 4 \cdot 3 \cdot 2,3607 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 2,7979 \cdot 10^5}}{2 \cdot 10 \cdot 2,7979 \cdot 10^5}$$

$$t_2 = 0,1125 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{-6 \cdot a_4 + \sqrt{(6 \cdot a_4)^2 - 4 \cdot 3 \cdot a_3 \cdot 10 \cdot a_5}}{2 \cdot 10 \cdot a_5} \quad (69)$$

$$t_3 = \frac{-6 \cdot (-1,5738 \cdot 10^5) + \sqrt{(6 \cdot (-1,5738 \cdot 10^5))^2 - 4 \cdot 3 \cdot 2,3607 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 2,7979 \cdot 10^5}}{2 \cdot 10 \cdot 2,7979 \cdot 10^5}$$

$$t_3 = 0,225 \text{ s}$$

Jediný kořen, který připadá v úvahu, je t_3 . Pak maximální rychlost translačního členu mechanismu se určí:

$$v_{\max} = 3 \cdot a_3 \cdot t^2 + 4 \cdot a_4 \cdot t^3 + 5 \cdot a_5 \cdot t^4 = 3 \cdot 2,360 \cdot 10^4 \cdot 0,1125^2 + 4 \cdot (-1,573 \cdot 10^5) \cdot 0,1125^3 + 5 \cdot 2,798 \cdot 10^5 \cdot 0,1125^4$$
$$v_{\max} = 224,08 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \quad (70)$$

Pro stoupání kuličkového šroubu $s_s = 5 \text{ mm}$ je maximální úhlová rychlost šroubu

$$\omega_{s\max} = \frac{v_{\max} \cdot 2\pi}{s_s} = \frac{224,08 \cdot 2\pi}{5} = 282 \quad (71)$$

$$\omega_{s\max} = 282 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

a jeho maximální otáčky

$$n_{s\max} = \frac{60 \cdot \omega_{s\max}}{2\pi} = \frac{60 \cdot 281}{2\pi} = 2689$$
$$n_{s\max} = 2689 \text{ min}^{-1} \quad (72)$$

7.3 Dynamické hledisko

Cílem dynamického výpočtu je získat průběh dynamických momentů jednotlivých částí mechanismu pro průběh zrychlení (popřípadě úhlového zrychlení) stanoveného v kinematickém výpočtu.

Momenty setrvačnosti rotujících komponent a hmotnosti posuvných komponent jsou získány z modelu.

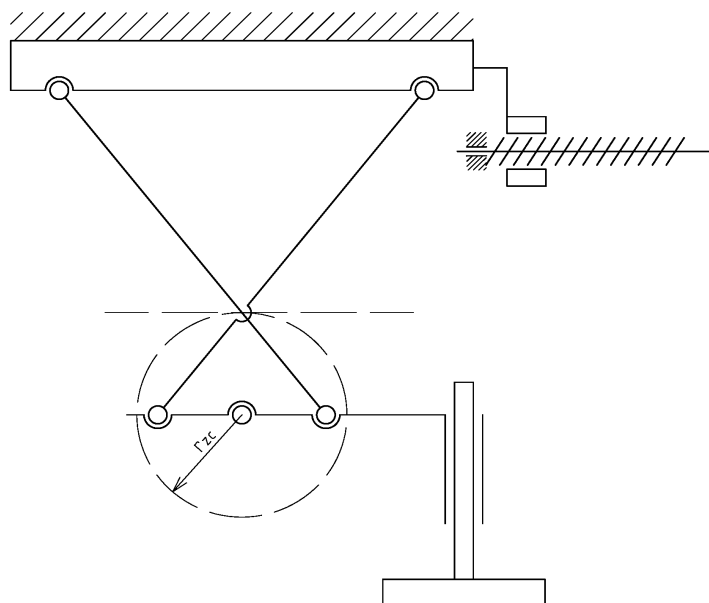
Moment setrvačnosti soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru vzhledem k jeho ose rotace $J_{\text{rot}} = 0,8804 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, Moment setrvačnosti soustavy dvou táhel $J_T = 6,943 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, moment setrvačnosti soustavy kuličkového šroubu $J_s = 2,942 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Hmotnost soustavy dvou táhel je $m_T = 0,330 \text{ kg}$, hmotnost translační části mechanismu je $m_{\text{tr}} = 1,366 \text{ kg}$.



Funkce dynamické síly na urychlení translační části se stanoví

$$F_{dyntr}(t) = m_{tr} \cdot a_{tr} = m_{tr} \cdot \frac{d^2 y_3}{dt^2} = m_{tr} \cdot (6 \cdot a_3 \cdot t + 12 \cdot a_4 \cdot t^2 + 20 \cdot a_5 \cdot t^3) \quad (73)$$

Pro získání funkce dynamického momentu na urychlení soustavy rotační části mechanismu je nutné získat funkci natočení úhlu α na posunutí y_3 . Pro určení této závislosti je výhodné vyjít z [20], str. 536, obr. 1671, kdy lze vyjít z toho, že rotační člen opisuje vzhledem k translačnímu členu inverzního Čebyševova mechanismu křivku totožnou se zkrácenou cykloidou.



Obr. 7.3.1: Odvalovací kružnice mechanismu

Poloměr rotace zkrácené cykloidy se stanoví

$$r_{zc} = \sqrt{(2 \cdot L_{1y})^2 - L_{1y}^2} = \sqrt{3} \cdot L_{1y} \quad (74)$$

Dále platí

$$\frac{o_k}{y_3} = \frac{2\pi}{\alpha} \Rightarrow \alpha = \frac{2\pi \cdot y_3}{o_k} = \frac{2\pi \cdot y_3}{2\pi \cdot r_{zc}} = \frac{y_3}{r_{zc}} = \frac{y_3}{\sqrt{3} \cdot L_{1y}} \quad (75)$$

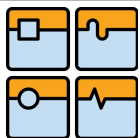
Pak funkce dynamického momentu soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru v závislosti na čase

$$M_{dynrot}(t) = J_{rot} \cdot \epsilon_{rot} = J_{rot} \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{J_{rot}}{\sqrt{3} \cdot L_{1y}} \cdot (6 \cdot a_3 \cdot t + 12 \cdot a_4 \cdot t^2 + 20 \cdot a_5 \cdot t^3) \quad (76)$$

Dynamický moment soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru působí na translační část mechanismu redukovanou silou, která se na základě geometrie stanoví

$$F_{redrot}(t) = \frac{M_{dynrot}(t)}{L_{1y} \cdot (\sin \alpha(t) + \operatorname{tg} \beta_B(t) \cdot \cos \alpha(t))} \quad (77)$$

Soustava táhel koná vzhledem k rámu orientačního ústrojí složený rovinný pohyb, který se skládá z translačního a rotačního pohybu. Funkce dynamické síly na urychlení translačního pohybu



$$F_{dynT}(t) = m_T \cdot a_T = m_T \cdot \frac{d^2 y_3}{dt^2} = m_T \cdot (6 \cdot a_3 \cdot t + 12 \cdot a_4 \cdot t^2 + 20 \cdot a_5 \cdot t^3) \quad (78)$$

Funkce dynamického momentu na urychlení soustavy táhel

$$M_{dynT}(t) = J_T \cdot \epsilon_T(t) = J_T \cdot \frac{d^2 \beta_F(t)}{dt^2} = J_T \cdot \frac{d^2 \left(\beta_F(t) - \frac{2\pi}{3} \right)}{dt^2} = J_T \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot \arcsin \left(\frac{L_{MZ}}{L_T} + \frac{\sin \alpha(t)}{8} \right) \quad (19)$$

$$M_{dynT}(t) = J_T \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot \arcsin \left(\frac{L_{MZ}}{L_T} + \frac{\sin \left(\frac{y_3(t)}{\sqrt{3} \cdot L_{ly}} \right)}{8} \right) \quad (80)$$

$$M_{dynT}(t) = J_T \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot \arcsin \left(\frac{L_{MZ}}{L_T} + \frac{\sin \left(\frac{(a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 + a_5 \cdot t^5)}{\sqrt{3} \cdot L_{ly}} \right)}{8} \right) \quad (81)$$

Tuto funkci je nutné následně transformovat na redukovanou sílu translačního členu. Práce s takovou funkcí je velmi obtížná, proto se provede její zjednodušení. Provede se lineární interpolace.

Pro úhel $\alpha(t=0s) = 0^\circ$ úhel $\beta_F(t=0s) = 60^\circ$. Pro úhel $\alpha(t=0,225s) = 30^\circ$

$$\beta_F(t=0,225s) = \arcsin \left(\frac{L_{MZ}}{L_T} + \frac{\sin \alpha}{8} \right) = \arcsin \left(\frac{207,85}{240} + \frac{\sin 30^\circ}{8} \right) = 68,21 \quad (82)$$

$$\beta_F(t=0,225s) = 68,21^\circ$$

Potom poměr úhlů

$$i_{\alpha\beta F} = \frac{\alpha(t=0,225s) - \alpha(t=0s)}{\beta_F(t=0,225s) - \beta_F(t=0,225s)} = \frac{30^\circ - 0^\circ}{68,21^\circ - 60^\circ} = 3,654 \quad (83)$$

$$i_{\alpha\beta F} = 3,654$$

Dynamický moment na urychlení soustavy táhel se pak přibližně stanoví

$$M_{dynT}(t) = J_T \cdot \epsilon_T(t) = J_T \cdot \frac{d^2 \beta_F(t)}{dt^2} = J_T \cdot \frac{d^2 \left(\frac{\alpha(t)}{i_{\alpha\beta F}} \right)}{dt^2} \quad (84)$$

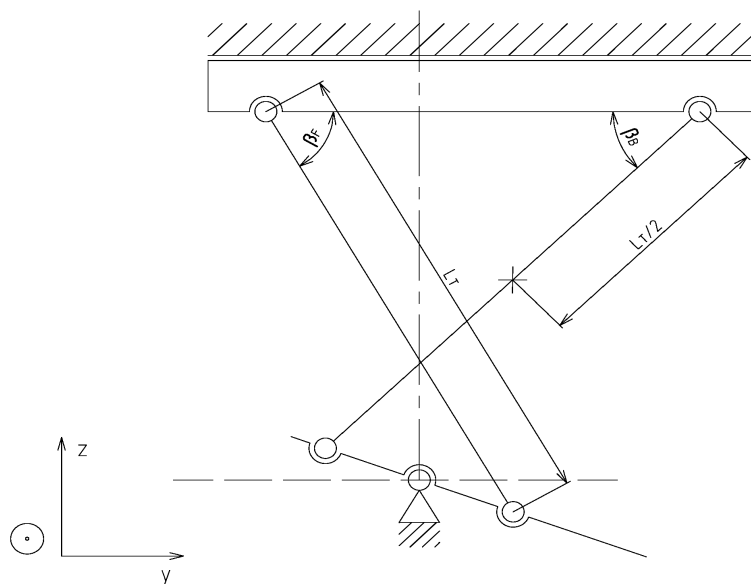
$$M_{dynT}(t) = \frac{J_T}{i_{\alpha\beta F} \cdot \sqrt{3} \cdot L_{ly}} \cdot (6 \cdot a_3 \cdot t + 12 \cdot a_4 \cdot t^2 + 20 \cdot a_5 \cdot t^3)$$



Pak redukovaná síla (obr. 7.3.2) se určí

$$F_{redT}(t) = \frac{M_{dynT}(t)}{\frac{L_T}{2} \cdot \sin \beta_F} = \frac{2 \cdot M_{dynT}(t)}{L_{Mz} \cdot \left(\frac{L_{MZ}}{L_T} + \frac{\sin \alpha(t)}{8} \right)} = \frac{2 \cdot M_{dynT}(t)}{L_{Mz} \cdot \left(\frac{L_{MZ}}{L_T} + \frac{\sin \left(\frac{(a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 + a_5 \cdot t^5)}{\sqrt{3} \cdot L_{ly}} \right)}{8} \right)} \quad (85)$$

$$F_{redT}(t) = \frac{\frac{2 \cdot J_T}{i_{\alpha\beta F} \cdot \sqrt{3} \cdot L_{ly}} \cdot (6 \cdot a_3 \cdot t + 12 \cdot a_4 \cdot t^2 + 20 \cdot a_5 \cdot t^3)}{L_{Mz} \cdot \left(\frac{L_{MZ}}{L_T} + \frac{\sin \left(\frac{(a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 + a_5 \cdot t^5)}{\sqrt{3} \cdot L_{ly}} \right)}{8} \right)} \quad (86)$$



Obr. 7.3.2: Grafické znázornění pro redukované síly

Celková dynamická síla působící na translační člen mechanismu se určí

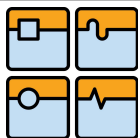
$$F_{dyntrcelk}(t) = F_{dyntr}(t) + F_{redrot}(t) + 2 \cdot F_{redT}(t) + 2 \cdot F_{dynT}(t) \quad (87)$$

Redukovaný moment na kuličkovém šroubu, který je způsoben celkovou dynamickou silou působící na translační člen mechanismu, se stanoví

$$M_{reds}(t) = \frac{F_{dyntrcelk}(t) \cdot s_s}{2\pi} \quad (88)$$

Úhlová dráha kuličkového šroubu v závislosti na posuvu y_3

$$\varphi_s(t) = \frac{y_3(t) \cdot 2\pi}{s_s} \quad (89)$$



Pokud uvažujeme, že servomotor pohání přímo kuličkový šroub, je celkový dynamický moment působící na servomotor

$$M_{dyn}(t) = M_{reds}(t) + (J_m + J_s) \cdot \epsilon_m(t) = M_{reds}(t) + (J_m + J_s) \cdot \frac{d^2 \varphi_s(t)}{dt^2} \quad (90)$$

$$M_{dyn}(t) = M_{reds}(t) + (J_m + J_s) \cdot \frac{d^2}{dt^2} \frac{y_3(t) \cdot 2\pi}{s_s} \quad (91)$$

$$M_{dyn}(t) = M_{reds}(t) + \left(\frac{(J_m + J_s) \cdot 2\pi}{s_s} \cdot (3 \cdot a_3 + 6 \cdot a_4 \cdot t + 10 \cdot a_5 \cdot t^2) \right) \quad (92)$$

Celkový moment působící na servomotor je pak

$$M_s = [M_{dyn}(t) + M_{Hy}(t)] \cdot \frac{1}{\eta_c} \quad (93)$$

Maximální hodnota momentu se určí podle výpočtového programu jako

$$M_{smax} = \max[M_s(t)] = 1445 \quad (94)$$

$$\underline{M_{smax} = 1445 \text{ Nmm} = 1,445 \text{ Nm}}$$

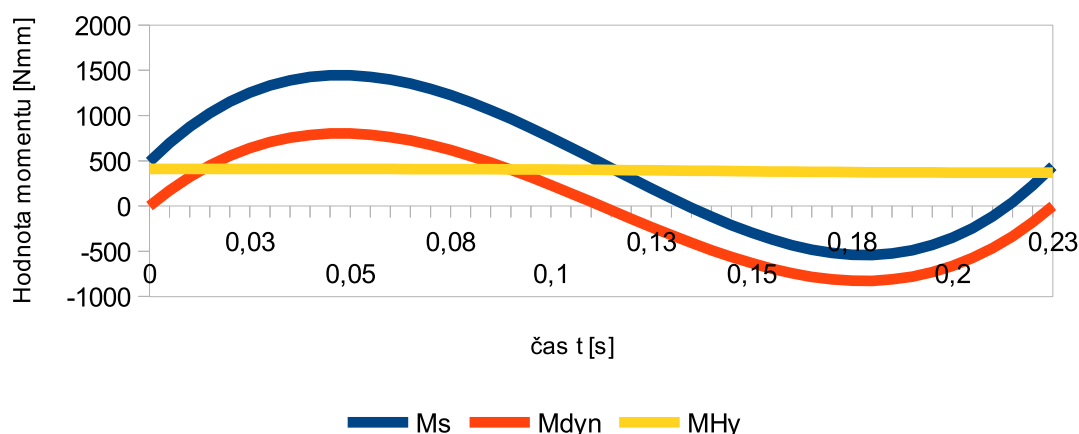
Z uvedeného výpočtu je patrné, že u orientačního ústrojí nebude použitý synchronní převod, protože

$$M_{smax} 1,92 \text{ Nm} < M_{maxs} = 1,445 \text{ Nm} \quad (95)$$

a současně

$$n_{smax} = 2689 \text{ min}^{-1} < n_{maxs} = 4500 \text{ min}^{-1} \quad (96)$$

Průběh celkového momentu, působícího na servomotor, v závislosti na čase, zobrazuje graf na obr. 7.3.3:

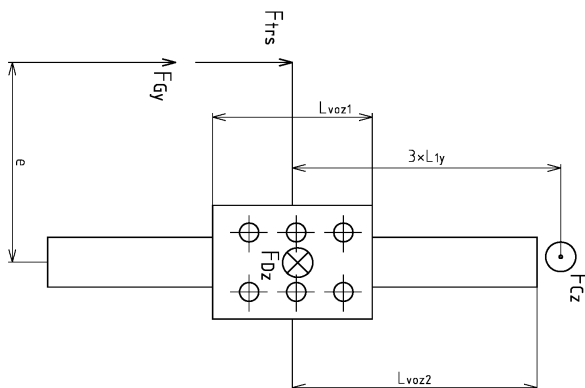


Obr. 7.3.3: Průběh momentu působícího na servomotor



7.4 Kontrolní výpočet

Tato část výpočtu se zabývá kontrolou čepů mechanismu, kuličkového šroubu, ložisek kuličkového šroubu a lineárního vedení. Základní životnost je volena $L_{hz} = 20\,000$ h.



Obr. 7.4.1 Vozík lineárního vedení

7.4.1 Kontrola lineárního vedení

Předběžně je voleno lineární vedení HIWIN RGH 25CA s úzkým válečkovým vedením.

Na lineární vedení působí největší zatížení od vazbové síly F_{Dz} a momenty, které jsou způsobeny silami F_{trc} a F_{Dz} . Pro posouzení životnosti lineárního vedení je nutné uvažovat střední hodnotu těchto silových účinků. Nejdříve je nutné stanovit funkci celkové síly působící na translační člen F_{trc} vztahem

$$F_{trc}(t) = F_{dyntrcelk}(t) + F_{Gy}(t) \quad (97)$$

Z ní se určí střední hodnota (příloha 9E) $F_{trs} = 764$ N.

Dále ze statického rozboru lze určit $F_{Cz} = F_{Dz} \wedge F_{Cz} = F_{Bz} \wedge F_{By} = F_{Cy}$

Současně lze najít vztah pro síly F_{Bz} a F_{By}

$$F_{Bz} = F_{By} \cdot \tan \beta_B \quad (98)$$

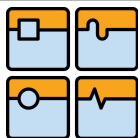
Z přílohy 9E lze vyčíst střední hodnotu pro sílu F_{Cz} $F_{Czs} = 1023$ N.

Podle [13] je ekvivalentní dynamické zatížení rovné součtu dílčích zatížení. Pak lze psát

$$P_{ev} = \frac{F_{trs} \cdot 2 \cdot e}{L_{voz1}} + \frac{F_{Czs} \cdot 2 \cdot L_{voz2}}{L_{voz1}} + F_{Czs} = \frac{764 \cdot 2 \cdot 57}{97,9} + \frac{1023 \cdot 2 \cdot 116,89}{97,9} + 1023 = 3508 \quad (99)$$

$$P_{ev} = 3508 \text{ N}$$

Podle [13] je faktor tvrdosti $f_H = 1$, faktor teploty $f_T = 1$ a faktor zatížení $f_w = 3$. Základní dynamická únosnost je $C_{dyn} = 27\,700$ N.



Potom základní dynamická životnost

$$L_{ev} = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P_{ev}} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 27700}{3 \cdot 3508} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^5 = 2,517 \cdot 10^6 \quad (100)$$

$$L_{ev} = 2,517 \cdot 10^6 m$$

základní hodinová dynamická životnost se určí z počtu cyklů robotu za hodinu

$$L_{evh} = L_{ev} \cdot \frac{1}{2 \cdot \max(y_3) \cdot 10^{-3} \cdot n_{cyklh}} = 2,517 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{2 \cdot 26,89 \cdot 10^{-3} \cdot 2160} = 21\,664 \quad (101)$$

$$L_{evh} = 21\,664 h$$

Kontrolou

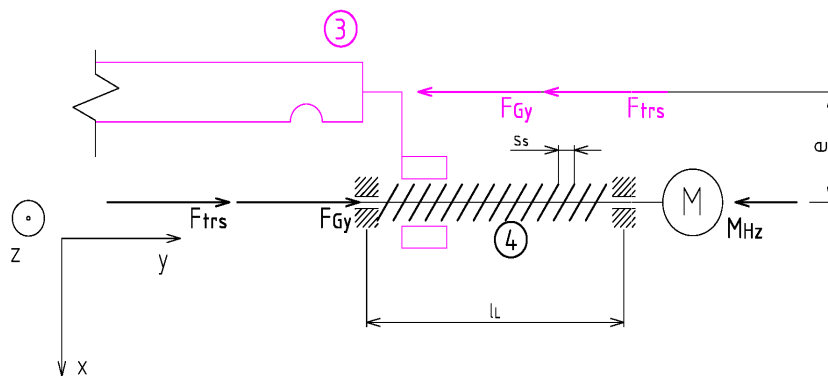
$$L_{evh} = 21\,664 > L_{hz} = 20\,000 \rightarrow VYHOVUJE \quad (102)$$

7.4.2 Kontrola ložisek kuličkového šroubu

Předběžně jsou volena kuličková ložiska s kosoúhlým stykem SKF 7302 BEP. Parametry těchto ložisek podle [26] jsou následující: Základní dynamická únosnost $C_{dynL} = 13\,000\,N$, koeficienty pro uspořádání ložisek do „O“ $X_L = 0,35$, $Y_L = 0,57$. Podle geometrie je délka $l_L = 233,5\,mm$. Radiální síla působící na ložisko se určí ze vztahu

$$F_{radL} = \frac{F_{trs} \cdot e}{l_L} = \frac{764 \cdot 57}{233,5} = 182 \quad (103)$$

$$F_{radL} = 182\,N$$



Obr. 7.4.2: Kontrola ložisek kuličkového šroubu

Předpětí ložisek je voleno $F_{PRE} = 500\,N$. Pak axiální síla

$$F_{axL} = F_{PRE} + F_{trs} = 500 + 764 = 1246 \quad (104)$$

$$F_{axL} = 1246\,N$$

Ekvivalentní dynamické zatížení se stanoví ze vztahu

$$P_L = X_L \cdot F_{radL} + Y_L \cdot F_{axL} = 0,35 \cdot 182 + 0,57 \cdot 1246 = 774 \quad (105)$$

$$P_L = 774\,N$$



Základní životnost se vypočítá

$$L_L = \left(\frac{C_{dynL}}{P_L} \right)^3 = \left(\frac{12\,700}{774} \right)^3 = 4743 \quad (106)$$

$$\underline{L_L = 4743}$$

Pro odvození základní hodinové životnosti je nutné stanovit střední otáčky šroubu. Ty jsou podle přílohy 9E $n_{ss} = 1403 \text{ min}^{-1}$. Potom základní hodinová životnost

$$L_{Lh} = L_L \cdot \frac{10^6}{n_{ss} \cdot 60} = 4743 \cdot \frac{10^6}{1403 \cdot 60} = 56\,347 \quad (107)$$

$$\underline{L_{Lh} = 56\,347 \text{ h}}$$

Kontrolou

$$L_{Lh} = 56\,347 > L_{hz} = 20\,000 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (108)$$

7.5 Kontrola kuličkového šroubu

Předběžně je volen okružovaný kuličkový šroub o jmenovitém průměru $d_s = 20 \text{ mm}$ a stoupání $s_s = 5 \text{ mm}$. Matice je volena SKF PN 20x5R NOWPR, která je vyrobena s předpětím. Základní dynamická únosnost $C_{dyns} = 8000 \text{ N}$. Koeficienty uložení jsou dány $k_d = 1,22$ a $k_k = 1,03$ [34].

Kontrola maximálních otáček se určí z empirického vztahu

$$n_{max} = \frac{0,8 \cdot d_s}{l_L^2} \cdot 10^5 \cdot k_k = \frac{0,8 \cdot 20}{233,5^2} \cdot 10^5 \cdot 1,03 = 35\,802 \quad (109)$$

$$\underline{n_{max} = 35\,802 \text{ min}^{-1}}$$

Kontrolou

$$n_{smax} = 2689 < n_{max} = 35\,802 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (110)$$

Kontrola vzpěrné tuhosti se stanoví z empirického vzorce

$$F_{kmax} = \frac{0,5 \cdot d_s^4}{l_L^2} \cdot 10^5 \cdot k_k = \frac{0,5 \cdot 20^4}{233,5^2} \cdot 10^5 \cdot 1,22 = 1,51 \cdot 10^5 \quad (111)$$

$$\underline{F_{kmax} = 1,51 \cdot 10^5}$$

Na šroub působí maximální síla F_{trcmax} , která je součtem statického a dynamického zatížení. Tato síla se stanoví vztahem

$$F_{trcmax} = \max(|F_{dyntrcelk}(t) + F_{Gy}(t)|) = 1521 \quad (113)$$

$$\underline{F_{trcmax} = 1521 \text{ N}}$$

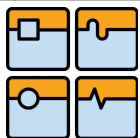
Kontrolou

$$F_{trcmax} = 1521 < F_{kmax} = 1,51 \cdot 10^5 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (114)$$

Životnost matice kuličkového šroubu se stanoví

$$L_s = \left(\frac{C_{dyns}}{F_{trs}} \right)^3 = \left(\frac{8000}{764} \right)^3 = 1235 \quad (115)$$

$$\underline{L_s = 1235}$$



Pak hodinová životnost je

$$L_{hs} = L_s \cdot \frac{10^6}{n_{ss} \cdot 60} = 1235 \cdot \frac{10^6}{1403 \cdot 60} = 14\,672 \quad (116)$$

$$\underline{L_{hs} = 14\,672 \text{ h}}$$

Porovnáním

$$L_{hs} = 14\,672 < L_{hz} = 20\,000 \rightarrow \text{NEVYHOVUJE} \quad (117)$$

Protože zvolená sestava kuličkového nevyhovuje, je nutné volit jinou matici s větší základní dynamickou únosností. Vhodným produktem je matice DFI02005-4 od firmy TBI Motion Technology, jejíž základní dynamická životnost $C_{dyns} = 15\,510 \text{ N}$ [8]. Pak životnost matice

$$L_s = \left(\frac{C_{dyns}}{F_{trs}} \right)^3 = \left(\frac{15\,510}{764} \right)^3 = 9000 \quad (118)$$

$$\underline{L_s = 9000}$$

a hodinová životnost

$$L_{hs} = L_s \cdot \frac{10^6}{n_{ss} \cdot 60} = 9000 \cdot \frac{10^6}{1403 \cdot 60} = 106\,920 \quad (119)$$

$$\underline{L_{hs} = 106\,920 \text{ h}}$$

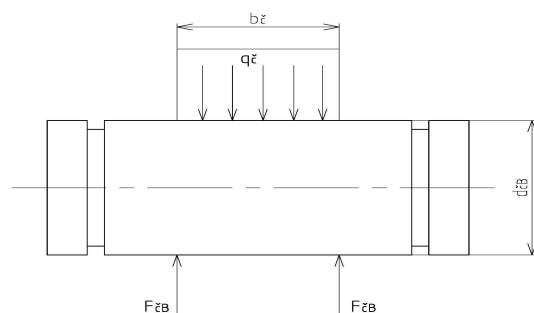
Porovnáním

$$L_{hs} = 106\,920 < L_{hz} = 20\,000 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (120)$$

7.5.1 Kontrola čepů

Materiál čepů je volen kalená ocel C45. Čepy jsou namáhány na ohyb a na smyk. Kontrola bude provedena výpočtem napětí v ohybu a porovnáním vzhledem k dovolenému napětí s bezpečností zahrnující vliv smykové napjatosti $k_{dc} = 1,4$. Dovolené napětí podle [27], str. 54 $\sigma_{Do} = 85 \text{ MPa}$. Průměr čepu je předběžně volen $d_{\check{c}B} = 10 \text{ mm}$. Kontrola je provedena vzhledem k největšímu možnému zatížení. Čep lze spočítat jako nosník zatížený spojitým zatížením. Pak síla v podpoře se stanoví ze vztahu

$$F_{\check{c}B} = \frac{F_{Bmax} + F_{Bdynmax}}{2} \quad (121)$$



Obr. 7.4.3: Namáhání čepu



Síla F_B se odvodí následujícím způsobem:

$$F_{GSM} \cdot (y_{TI} + L_{ly}) \cdot \cos \alpha = F_{By} \cdot L_{ly} \cdot \sin \alpha + F_{Bz} \cdot L_{ly} \cdot \cos \alpha \quad (122)$$

$$F_{GSM} \cdot (y_{TI} + L_{ly}) \cdot \cos \alpha = F_{By} \cdot L_{ly} \cdot \sin \alpha + F_{By} \cdot \tan \beta_B \cdot L_{ly} \cdot \cos \alpha \quad (123)$$

$$F_{GSM} \cdot \left(\frac{y_{TI}}{L_{ly}} + 1 \right) = F_{By} \cdot (\tan \alpha + \tan \beta_B) \quad (124)$$

$$F_{By} = \frac{F_{GSM} \cdot \left(\frac{y_{TI}}{L_{ly}} + 1 \right)}{\tan \alpha + \tan \beta_B} \quad (125)$$

Potom

$$F_B = \sqrt{F_{By}^2 + F_{Bz}^2} \quad (128)$$

Dále je dáno

$$F_{Bdyn} = \frac{M_{dyn}}{L_{ly} \cdot \sin(\beta_B + \alpha)} \quad (129)$$

Potom

$$F_{Bmax} = \max(F_B) = 1244 \text{ N} \quad (130)$$

a dále

$$F_{Bdynmax} = \max(F_{Bdyn}) = 1970 \text{ N} \quad (131)$$

Dosazením do původního vzorce

$$F_{\check{c}B} = \frac{F_{Bmax} + F_{Bdynmax}}{2} = \frac{1244 + 1970}{2} = 1607 \quad (132)$$

$$\underline{F_{\check{c}B} = 1607 \text{ N}}$$

Spojitě zatížení se vypočítá následovně

$$q_{\check{c}B} = \frac{2 \cdot F_{\check{c}B}}{b_B} = \frac{2 \cdot 1607}{13} = 247 \quad (133)$$

$$\underline{q_{\check{c}B} = 247 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

Maximální ohybové napětí

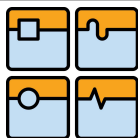
$$M_{omaxB} = \frac{q_{\check{c}B} \cdot b_B^2}{8} = \frac{247 \cdot 13^2}{8} = 5223 \quad (134)$$

$$\underline{M_{omaxB} = 5223 \text{ Nmm}}$$

Pak maximální napětí

$$\sigma_{oB} = \frac{32 \cdot M_{omaxB}}{\pi \cdot d_{\check{c}B}^3} = \frac{32 \cdot 5223}{\pi \cdot 10^3} = 53 \quad (135)$$

$$\underline{\sigma_{oB} = 53 \text{ MPa}}$$



Pak výpočtová bezpečnost

$$k_v = \frac{\sigma_{Do}}{\sigma_{oB}} = \frac{100}{53} = 1,88 \quad (136)$$

$$\underline{k_v = 1,88}$$

Porovnáním

$$k_v = 1,88 > k_{d\check{c}} = 1,4 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (137)$$

7.6 Kinematika polohování

Cílem výpočtu je stanovit odchylky vzdálenosti d_x , d_y a d_z , které vznikají při orientaci robotu. Funkce jsou důležité při řízení robotu a udávají polohu orientačního ústrojí vzhledem k průsečíku orientační osy původního robotu a montážní plochy původního robotu.

Odchylka vzdálenosti v ose x

$$d_x = [y_{kl} \cdot \cos(-\alpha_{ori}) - z_{k2} \cdot \sin(-\alpha_{ori})] \cdot \sin(-\gamma_{ori}) = [y_{kl} \cdot \cos \alpha_{ori} + z_{k2} \cdot \sin \alpha_{ori}] \cdot (-\sin \gamma_{ori}) \quad (138)$$

Odchylka vzdálenosti v ose y

$$d_y = [y_{kl} \cdot \cos(-\alpha_{ori}) - z_{k2} \cdot \sin(-\alpha_{ori})] \cdot \cos(-\gamma_{ori}) = [y_{kl} \cdot \cos \alpha_{ori} + z_{k2} \cdot \sin \alpha_{ori}] \cdot \cos \gamma_{ori} \quad (139)$$

Odchylka vzdálenosti v ose z

$$d_z = z_{kl} + z_{k2} + y_{kl} \cdot \sin(-\alpha_{ori}) - z_{k2} \cdot \cos(-\alpha_{ori}) = z_{kl} + z_{k2} \cdot (1 - \cos \alpha_{ori}) - y_{kl} \cdot \sin \alpha_{ori} \quad (140)$$

Pro stanovení odchylek v závislosti na velikostech orientačních úhlů je nutné vyjít ze skutečných, nikoliv jmenovitých délkových rozměrů z_{kl} , z_{k2} a y_{kl} . Skutečné hodnoty se získají na základě kalibrace fyzického orientačního ústrojí.

7.7 Přesnost polohování a orientace

Cílem výpočtu přesnosti orientace je zjistit velikost minimálního polohového kroku v závislosti na minimálním úhlovém kroku. Podle modelu jsou jmenovité hodnoty $z_{k2} = 91,5$ mm, $z_{kl} = 271$ mm a $y_{kl} = 340$ mm.

Určit závislost úhlu $\alpha_{ori\Delta}$ na délkovém rozměru $\Delta = 0,01$ mm je složité, proto se ve výpočtu odhadne minimální nutná velikost úhlu $\alpha_{ori\Delta}$ a provede se kontrola. Nechť je zaveden první odhad, že osu α_{ori} je zapotřebí opatřit dělit na 25 000 dílů (jedná se o maximální hodnotu pro enkodér Eltra El 40, použitý v navrhované variantě V7). Pak velikost úhlu $\alpha_{ori\delta}$

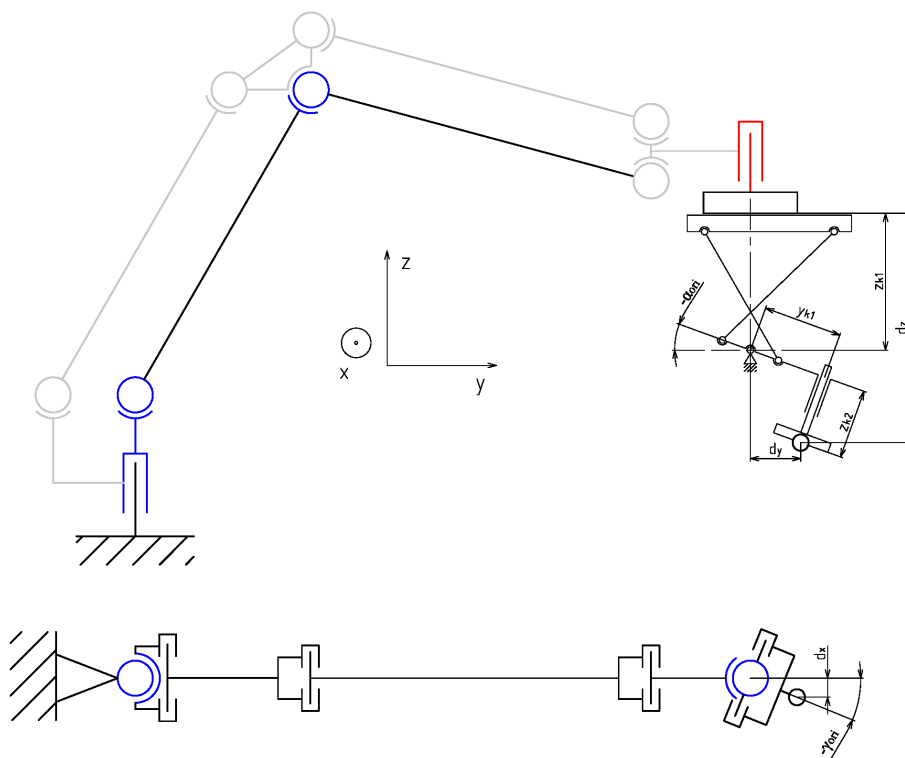
$$\alpha_{ori\delta} = \frac{360^\circ}{n_{dil\alpha}} = \frac{360^\circ}{25\,000} = 52'' \quad (141)$$

$$\underline{\alpha_{ori\delta} = 52''}$$

Při zanedbání d_z (osa z je poddajná)

$$\Delta_{pr} = [y_{kl} - y_{kl} \cdot \cos \alpha_{ori} + z_{k2} \cdot \sin \alpha_{ori}] = [340 - 340 \cdot \cos 52'' + 91,5 \cdot \sin 52''] = 0,023 \quad (142)$$

$$\underline{\Delta_{pr} = 0,023 \text{ mm}}$$



Obr. 7.7.1: Kinematické schéma systému robotu a orientačního ústrojí

Přesnost orientace osy „C“ není známá, ale lze ji vypočítat na základě daných parametrů robotu. Nejkratší rameno osy robotu má hodnotu $l_{\min} = 945$ mm. [16]. Pro opakovatelnou přesnost polohování robotu je teoreticky nejmenší možná opakovatelná přesnost orientace osy „C“

$$\delta_{osaC} = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{\Delta_{pr}}{2 \cdot l_{\min}}\right) = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{0,2}{2 \cdot 945}\right) = 44'' \quad (143)$$

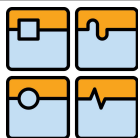
$$\delta_{osaC} = 44''$$

Potom

$$\Delta_{pr} = y_{kl} \cdot \sin \gamma_{ori} = 340 \cdot \sin 44'' = 0,07 \quad (144)$$

$$\Delta_{pr} = 0,07 \text{ mm}$$

Maximální vůle čepu a montážní díry v toleranci IT7 je 0,021 mm [27]. Maximální nepřesnost je tedy 0,07 mm, z čehož vyplývá, že soustava polohovacího ústrojí robotu, orientačního ústrojí a koncového efektoru bude při vkládání čepů do děr kromě senzorické adaptivity využívat pasivní mechanickou adaptivitu, která je umožněna poddajností koncového efektoru.



8 Prvky konstrukce

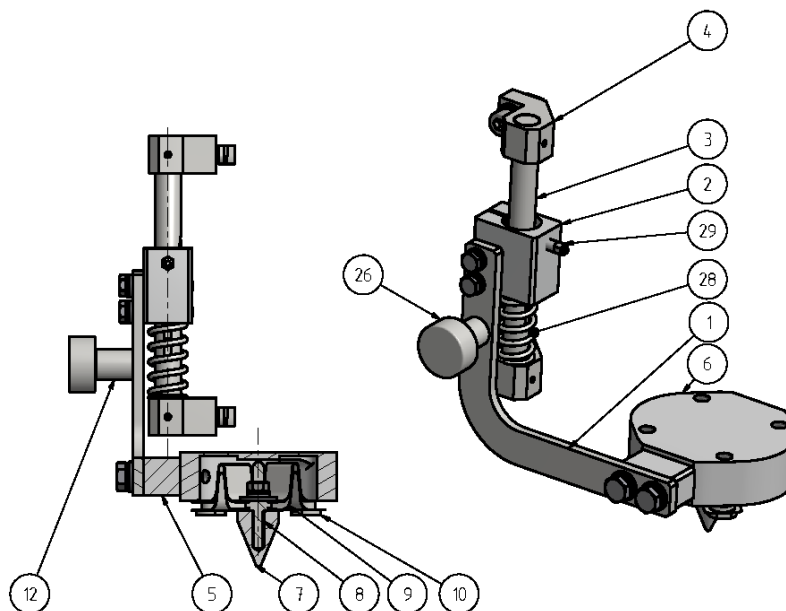
Výsledkem kapitoly 6 byl výběr konstrukčního návrhu orientačního ústrojí podle koncepčních variant. Ukázalo se, že nejvýhodnější variantou je varianta V7. Na základě výpočtu muselo dojít ke konstrukčním úpravám tohoto návrhu a dále k vypracování všech detailů nutných ke splnění funkčních i bezpečnostních požadavků. Čísla pozic uváděných ve variantě V7 nesedí s čísly pozic v této kapitole. Čísla pozic, uváděná v této kapitole, souhlasí s čísly pozic na výkrese 0-DP-000. Mezi úpravy patří:

- **Odstranění synchronního převodu:** Servomotor (94) je upevněn přímo na ložiskovém domku (6) kuličkového šroubu (23). Točivý moment je z hřídele servomotoru (94) přenášen pružnou spojkou (104). Kuličkový šroub (23) byl konstrukčně upraven na upevnění pružné spojky (104). Bylo odstraněno jedno kuličkové ložisko.
- **Výměna matice kuličkového šroubu (93):** Životnost původní matice vyšla příliš nízká, proto došlo k výměně za matici DFI02005-4, která je předepjatá. V souvislosti s tím došlo k úpravě držáku matice (10).
- **Úprava koncových spínačů:** Přední koncový spínač se mohl dostat do kolize s koncovým efektem při maximálním naklopení osy „A“. Došlo k výměně koncových spínačů (105) a k výměně držáků koncových spínačů (19).
- **Doplnění koncového spínače (105) na poddajnou osu „z“ koncového efektoru:** Koncový efektor spíná horní polohu poddajné osy „z.“ V souvislosti s doplněním koncového spínače (105) došlo k doplnění držáku koncového spínače (20). Informace o spínání horní polohy je důležitá pro zjištění, zda došlo k montáži spojovacího materiálu či nikoliv. Pokud nedojde k montáži spojovacího materiálu, koncový efektor se při snaze zasunout spojovací materiál do montážního otvoru vysune v poddajné ose „z.“ **Jedná se o další prvek adaptivity orientačního ústrojí.**
- **Doplnění krytu:** Pro zajištění bezpečnosti je orientační ústrojí opatřeno dvěma kryty (37) a (38), které chrání mechanismus a kuličkový šroub (23) od kolize s neznámými předměty.
- **Doplnění taktilního snímače (1):** Taktilní snímač (1) slouží pro zjišťování polohových a úhlových úchylek montážního otvoru.
- **Výměna ložisek kuličkového šroubu:** V původním návrhu ve variantě V7 se počítalo se speciálními ložisky BSA 202 C SKF. Tato ložiska ale vyžadují mimořádně přesné uložení, kterého podle konstrukčního návrhu není možné dosáhnout. Navíc pro použití válcovaného kuličkového šroubu (23) je použití vysoce přesných ložisek nesmyslné. V souvislosti s výměnou ložisek (86) za typ 7302 BEP došlo k úpravě ložiskových domků (5) a (6), protože vnější průměr ložisek 7302 BEP je větší než u ložisek BSA 202 C.
- **Kryt ložiskového domku:** Ložiskový domek (5) je krytován z obou stran z důvodu mazání ložisek 7302 BEP plastickým mazivem.



8.1 Konstrukce taktilního snímače

V této podkapitole je číslování převzato ze sestavního výkresu taktilního snímače. Dále je číslování použité na obr. 8.1.1.



Obr. 8.1.1: Taktilní snímač

Taktilní snímač sestává z těchto hlavních prvků:

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| 1 Držák snímače | 9 Pružina snímače |
| 2 Držák pouzdra | 10 Šroub snímače |
| 3 Tyč snímače | 11 Podložka snímače |
| 4 Držák vedení snímače | 12 Distanční kroužek snímače |
| 5 Deska snímače | 26 Rolna |
| 6 Kryt snímače | 27 Kluzné pouzdro FMT 14 |
| 7 Kužel | 28 Pružina |
| 8 Podložka kužele | 29 Západka |

Na držáku snímače (1) je přes desku snímače (5) upevněn kryt snímače (6). Kryt snímače (6) je součást tvaru kostky, která má vnitřní dutinu. V dutině jsou uloženy pružiny snímače (9), které jsou na obou jejich koncích uloženy rotačně. Na pružinách snímače (9) jsou nalepené tenzometry. Měření odchylek probíhá tak, že při zasunutí měřicího kužele (7) do montážního otvoru dojde k deformaci pružin snímače (9). Deformace je zaznamenána tenzometry, které tím pádem změni elektrický odpor. Na základě elektrického odporu každého tenzometru je vypočtena úchylka.

Druhý konec držáku snímače (1) je upevněn na držáku pouzdra (2). V držáku pouzdra je uloženo kluzné pouzdro FMT 14 (27), které jezdí po tyči (3). V držáku pouzdra (2) je zároveň našroubována západka (29). Západka (29) řídí pohyb taktilního snímače; čep západky (29) jezdí v obvodové drážce tyče snímače (3). V základní poloze je kryt snímače (6) pod spojovacím materiálem, uchopeným koncovým efektořem. Tato poloha je aretována

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 88
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

západkou (29), jejíž čep, kromě toho, že jezdí v drážce tyče snímače (3), navíc v této poloze zapadá do díry, která je vyvrtána v drážce. Po změření a kompenzaci úchylek dojde robotem k posuvu v ose „z“, čímž se vyvolá zatížení na měřicí kužel (7), potažmo na kryt snímače (6). Díky tomu dojde k vyjetí čepu západky (29) z díry v drážce tyče snímače (3) a odjetí snímače. Dráha snímače při jeho odjetí je prvně translační ve směru osy „z“ a následně kopíruje šroubovici translačním pohybem v ose „z“ a rotačním pohybem v téže ose. Po odjetí snímače nastává montáž spojovacího materiálu. Mechanická energie pro vyvolání pohybu pro odjetí snímače je vyvozena pružinou (28).

Na držáku snímače (1) je dále upevněna rolka (26). Rolka (26) slouží ke uvedení snímače do základní polohy.

8.2 Technologičnost výroby

Konstrukční návrh je zpracován s ohledem na технологиčnost výroby. Velké množství dílů je nakupované, mnoho vyráběných dílů lze vyrobit prostřednictvím malého množství operací. Drtivá většina dílů je vyráběna pomocí třískového obrábění.

Například ceý rám je sestaven z hliníkových profilů. Výsledný díl je vyroben pouze uriznutím správné délky profilu a navrtáním několika děr pro smontování šrouby. Na montáž čepů lze použít chapadla, která jsou běžně k dostání. Tvar táhel (8), výztuhy (18) a dalších plechových dílů je zhotovitelný pálením na laseru. Složitěji tvarované kryty mohou být vyrobeny vakuovým modelováním za použití ABS plastu jako konstrukčního materiálu. Pouze tři díly vyžadují broušení. Jmenovitě se jedná o držák osy (3), přírubu (2) a kuličkový šroub (23).

Výhodou konstrukce z hlediska технологиčnosti je fakt, že je určena na upevnění koncového efektoru, který se **nemusí vyvíjet speciálně pro orientační ústrojí**. 3D model v sobě zahrnuje ruční utahovák Makita 6906. Samozřejmě se jedná pouze o demonstraci, ale na montáž šroubů právě lze použít podobný, lehce upravený rázový utahovák.

8.3 Popis pracovního cyklu

Za počátek pracovního cyklu lze považovat stav, kdy koncový efektor nemá uchopený spojovací materiál a taktilní snímač (1) je ve vysunuté poloze. Grafické zpracování pracovního cyklu je v příloze 12. (Pozn.: V grafickém zpracování je z důvodu přehlednosti kinematika taktilního snímače jiná než ve 3D modelu.)

Pracovní cyklus probíhá takto:

- **Odjetí robotu do zásobníku spojovacího materiálu:** Robot napoložuje koncový efektor do místa, kde dojde k uchopení spojovacího materiálu. Obě rotační osy jsou ve výchozí poloze 0° (rovina při uchopení spojovacího materiálu je vodorovná).
- **Uchopení spojovacího materiálu**
- **Nastavení taktilního snímače do základní polohy:** Pohybem robotu dojde ke kontaktu rolky snímače s konzolou zásobníku spojovacího materiálu a dalším polohováním je vyvozen pohyb snímače do základní polohy.
- **Napoložování robotu nad montážní otvor:** Při napoložování a orientaci koncového efektoru dojde k uložení montážního kužele do montážního otvoru. Ustavením kužele v montážním otvoru dojde k zjištění případných úchylek, které jsou kompenzovány přímo osami robotu a orientačního ústrojí.
- **Odjetí snímače:** Aby bylo možné zahájit výrobu, je nutné přepoložovat taktilní snímač do polohy, ve které nebude bránit montáži. To se provede posuvem robotu v ose „z“, což uvolní aretaci snímače a umožní odjetí. Dokončení odjetí snímače je



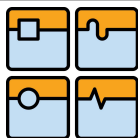
zaznamenáno tenzometry; na konci trajektorie dojde k rázu. Tím pádem dojde vlivem setrvačných sil ke krátkému vychýlení měřicího kužele taktilního snímače.

- **Montáž spojovacího materiálu:** Při montáži šroubu se uvede do pohybu koncový efektor. Robot polohuje koncový efektor ve směru osy „z“ a protože nemá informaci o otáčkách koncového efektoru, je případná odchylka při řízeném pohybu v ose „z“ kompenzována poddajnou osou „z.“ O dokončení montáže, stejně jako o případném neúspěšném provedení montáže, je robot informován sepnutím koncového spínače (105). Rozeznat úspěšnou montáž od neúspěšné montáže lze na základě času montáže a velikosti posunutí koncového efektoru v ose „z.“
- **Vyjetí koncového efektoru**

8.4 Montáž orientačního ústrojí

Orientační ústrojí je celek poměrně velkého množství dílů, takže je žádoucí uvést postup montáže, aby byla zaručena smontovatelnost celku. Montáž probíhá v těchto krocích: Paralelně lze montovat tyto prvky:

- **Rameno:** Samostatně lze smontovat profily (11) a (17) konzolou (95) a vnitřní konzolou (96). Profil (11) se upevní na naklápěcí kostku (7), naklápěcí kostka se opatří kluznými pouzdry (98). Následně se na profil (17) upevní kolejnice (91), dále spodní držák pružiny (34) a silentblok (101). K druhému držáku pružiny (34) se upevní tyč pružiny (35), nasune se pružina (103) a konzola pružiny (33). Pak se druhý držák pružiny upevní na profil (17). Dále se namontuje držák koncového spínače (20) a koncový spínač (105) pro poddajnou osu „z.“ Nakonec se na lineární vozík (92) upevní plech držáku koncového efektoru (32), držák koncového efektoru (31) a lineární vozík (92) se nasune na kolejnici (91). Posledním krokem je upevnění konzoly pružiny (33) k plechu držáku koncového efektoru (32).
- **Lineární pohon kuličkovým šroubem:** Matice (93) se upevní na držák matice (10) a tato sestava se našroubuje na kuličkový šroub (23). Na šroub se dále nasunou kryty (21). Na profil (15) se upevní ložiskový domek (6), do kterého se předem uloží ložisko (86). Do ložiska (86), které je v ložiskovém domku (6), se nasune příslušný konec kuličkového šroubu (23) a na druhý konec se uloží druhé ložisko (86). Na profil (15) se upevní ložiskový domek (5) tak, aby ložisko (86), nasunuté na druhém konci kuličkového šroubu (23), bylo uloženo uvnitř domku (5). Následně dojde k montáži krytů (21). Na konce kuličkového šroubu (23) se namontují pojistné matice (84) a podložky (85). Správným dotažením pojistné matice (84) dojde k vyvození předpětí ložisek (86). Na hřídel servomotoru (94) se našroubuje pružná spojka (104) a tato sestava se upevní k ložiskovému domku (6). Posledním krokem je utažení pružné spojky (104) na konec kuličkového šroubu (23). Manipulaci se šroubovákem umožňuje vyfrézovaná průchozí kapsa na ložiskovém domku (6).
- **Montáž příruby na robot:** Na přírubu (2) se upevní lineární vozík (92) a tato sestava se upevní na montážní plochu robotu.
- **Držáky koncových spínačů:** Na profil (16) se upevní držáky koncových spínačů (19).
- **Montáž enkodéru:** Enkodér (102) je nutno upevnit na držák enkodéru (25) a zároveň na hřídel enkodéru (102) namontovat rameno enkodéru (26).



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Další prvky je nutné montovat po dokončení předchozích montáží:

- **Montáž profilů:** Na přírubu (2), která je upevněna na robotu, se přišroubují osazené profily (15) a (16).
- **Montáž inverzního Čebyševova mechanismu:** Lišta mechanismu (4), do jejíž funkčních otvorů se nasunou kluzná pouzdra (98), se přišroubuje na kolejnici (90). Dále dojde k montáži táhel (8) jedním koncem k liště mechanismu (4) a druhým koncem k naklápěcí kostce (7). Táhla jsou zpevněna distančními kroužky (9).
- **Rám:** Nyní se smontují profily (12), (13) a (14) s použitím konzol (95) a vnitřních konzol (96). Smontují se všechny konzoly (95) kromě jedné, která by bránila montáži držáku enkodéru (102). Nakonec se na profily (13) a (14) upevní předepínací kostky (29).
- **Montáž Čebyševova mechanismu:** Kolejnice upevněná na Čebyševově inverzním mechanismu se nasune na lineární vozík (92), který je upevněný na přírubě (2).
- **Držák osy:** Nejdříve se na držák osy (3) namontuje naklápěcí kostka (7) a posléze dojde k upevnění na rám. Při montáži držáku osy (3) na rám se opatrně vymezí vůle Čebyševova inverzního mechanismu závitovými tyčemi předpětí (27) a pak se držák osy (3) přišroubuje na rám.
- **Montáž enkodéru:** Držák enkodéru (25) se s enkodérem (102) upevní na držák osy (3). Následně se rameno enkodéru (26) upevní na profil (11) a může dojít k montáži chybějící konzoly (95).
- **Taktilní snímač a ostatní:** Na profil (17) se upevní taktilní snímač (1), na držáky koncových spínačů (19) se upevní koncové spínače (105), nasunou a upevní se kryty (37) a (38), zapojí se elektrotechnické prvky a orientační ústrojí se seřídí.



9 Ekonomické zhodnocení

Cílem ekonomického zhodnocení je určit přibližné náklady na výrobu jednoho kusu. Smyslem ekonomického zhodnocení je zjistit, zda se může vyplatit vyvinout a vyrobit orientační ústrojí pro použití s robotem ABB IRB460 oproti použití samotného koncového efektoru s použitím robotu ABB IRB 6620.

Přibližná cena robotu ABB IRB 460 je 30 600 Eur a přibližná cena robotu ABB IRB 6620 je 38 000 Eur. Obecně lze tvrdit, že pokud náklady na vývoj a výrobu orientačního ústrojí včetně zisku budou menší než rozdíl v ceně robotů, je existence orientačního ústrojí ekonomicky smysluplná. Náklady na vývoj ani velikost zisku se tato kapitola nebude zabývat. Proto je pro získání představy vhodné zavést tzv. ekonomický součinitel κ_c . Ekonomický součinitel je definován jako podíl nákladů na výrobu N_v a rozdílů cen robotů N_c .

Náklady na výrobu N_v se dělí na náklady na pořízení nakupovaných dílů N_{nak} , náklady na výrobu vyráběných dílů N_{vyr} a náklady na montáž N_{mont} . Náklady na pořízení nakupovaných dílů se určí buď podle cen v internetových obchodech, nebo podle zaslání objednávky obchodním firmám (pokud není možnost zjistit cenu v internetovém obchodu). Náklady na výrobu dílů budou stanoveny přibližně na základě praxe ve výrobní firmě Ipep, a.s. Tyto náklady nelze totiž určit s přesností, protože každý výrobní podnik má odlišné výrobní náklady. Odhad na výrobu dílů bude sestávat z ceny materiálu a součtu cen jednotlivých výrobních operací. Náklady na výrobu drobných dílů, nevyžadujících složitou technologii výroby, nebudou uvažovány a jako náhrada se zavede paušální cena $N_{vyrd} = 7000$ Kč.

Ceny materiálů jsou stanovené odhadem. Cena materiálu z hliníkových slitin je odhadnutá na 200 Kč za 1 kg, cena za 1 kg polyamidu je odhadnutá na 400 Kč za 1 kg a cena materiálu z nerezavějící oceli je odhadnutá na 200 Kč za 1 kg. Vlastní skupinu tvoří hliníkové profily, jejichž cena se pohybuje okolo 400 Kč za 1 metr profilu o rozměrech 45x45 mm. Náklady na nákup materiálu jsou sepsány v příloze 13. Celková cena na nákup materiálu činí

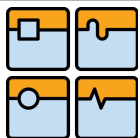
$$N_{mat} = \sum_{i=1}^n N_{mati} = 3223 \quad (145)$$
$$\underline{N_{mat} = 2332 \text{ Kč}}$$

Pro stanovení nákladů na výrobu dílů je nutné odhadnout cenu technologických operací. Ceny technologických operací jsou uvedeny v tabulce 9.1.

Rozpočet je z důvodu rozsáhlosti tabulek zobrazen v příloze 14. Z výpočtu vyplývá

$$N_{vyr} = \sum_{i=1}^n N_o + \sum_{i=1}^n N_{mat} + N_{vyrd} = 22\,645 + 2332 + 7000 = 31\,977 \quad (146)$$
$$\underline{N_{vyr} = 31\,977 \text{ Kč}}$$

Náklady na nákup dílů jsou uvedeny v tabulce 9.2.



Technologická operace	Náklady bez DPH
Dělení materiálu běžné velikosti – 1 řez	50 Kč
Vrtání otvoru	20 Kč
Zahloubení otvoru pro hlavu šroubu	40 Kč
Ruční řezání závitu do M12	30 Kč
Sražení hrany do 2x45°	10 Kč
Sražení hrany nad 2x45°	30 Kč
Vystružení otvoru	60-120 Kč (dle rozměru)
Frézování – hrubování, jemné frézování	1400 Kč / h
Soustružení – hrubování, jemné soustružení	1000 Kč / h
Broušení do $R_a = 0,4 \mu m$	3200 Kč / h
Pálení na laseru do 6 mm tloušťky materiálu běžných rozměrů	250 Kč
Pálení na laseru nad 6 mm tl. materiálu běžných rozměrů	350 Kč

Tabulka 9.2: Náklady na pořízení nakupovaných dílů

Nakupovaný díl	Množství	Cena při celkovém množství bez DPH
Ložisko 7302 BEP [6]	2 ks	891 Kč
Koncový spínač Honeywell GLCB01A2A [19]	3 ks	1762 Kč
Západka [7]	1 ks	58 Kč
Hliníková konzola 45x45	9 ks	540 Kč
Enkodér Eltra EL 40 A 25000 S 5/28 P 4 X 3 P R [15]	1 ks	4335 Kč
Vnitřní konzola	6 ks	360 Kč
Kluzné pouzdro PCM 101212 [6]	4 ks	69 Kč
Kluzné pouzdro PCMF 101212 [6]	2 ks	27 Kč
Kluzné pouzdro FMT 14	1 ks	490 Kč
Kuličková matice DFI02005-4	1 ks	3223 Kč
Kuličkový šroub válcovaný SCR02005 IT7	1 ks	1777 Kč
Kolejnice lineárního vedení RGR25R	2 ks	3120 Kč
Vozík lineárního vedení RGH25CA	2 ks	4620 Kč
Rolna KR30PP	1 ks	128 Kč
Pružná spojka LK20-C30-10/14	1 ks	314 Kč
Servomotor Estun EMJ-02A a driver pronet E	1 ks	16 990 Kč
Indukčně kalená přesná tyč pr. 10 mm	1 m	231 Kč



Ostatní drobné nakupované díly, jako šrouby, matice, podložky nebo pružiny, nebyly uvažovány v tabulce 9.1. Na tyto součásti se vztahuje odhadní cena 2000 Kč. Celkové náklady na nakupované díly jsou tedy

$$N_{nak} = \sum_{i=1}^n N_{naki} = 40\,935 \quad (147)$$
$$\underline{N_{nak} = 40\,935 \text{ Kč}}$$

Náklady na montáž se odhadují v maximální hodnotě $N_{mont} = 3000$ Kč, protože doba montáže může trvat maximálně 5 hodin a náklady na pracovní sílu nepřesáhnou 600 Kč.

Součtem dílčích nákladů se určí náklady na výrobu orientačního ústrojí

$$N_v = N_{vyr} + N_{nak} + N_{mont} = 31\,977 + 40\,935 + 3000 = 75\,912 \quad (148)$$
$$\underline{N_v = 75\,912 \text{ Kč}}$$

Rozdíl mezi přibližnými cenami robotů ABB IRB 6620 a ABB IRB 460 je k 13.3.2014

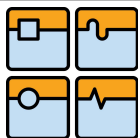
$$N_c = 38\,000 - 30\,600 = 7400 \quad (149)$$
$$\underline{N_c = 7400 \text{ Eur} \approx 200\,000 \text{ Kč}}$$

Pak ekonomický součinitel

$$\kappa_e = \frac{N_v}{N_c} = 75 \frac{912}{200\,000} = 0,38 \quad (150)$$
$$\underline{\kappa_e = 0,38}$$

Dle výsledku ekonomického zhodnocení lze předpokládat, že použití orientačního ústrojí navrženého v rámci této diplomové práce v součinnosti s robotem IRB 460 pro automatizovanou montáž čepů nebo šroubů má význam. Do výpočtu nákladů nebyly zahrnuty náklady na výrobu přípravků, usnadňujících výrobu, vývoj nebo reklamu. Tyto náklady jsou však velmi závislé na počtu vyráběných kusů. Ekonomické zhodnocení bylo provedeno pro výrobu jednoho kusu a je velmi pravděpodobné, že při výrobě více kusů klesne cena výroby i nakupovaných dílů.

Nelze vyloučit, že se na trhu najde angulární šestiosý robot s podobnou cenovkou, jakou má právě robot ABB IRB 460. Jeho podstatnou výhodou je však poměrně velký pracovní rozsah a velká rychlost orientační osy. Tento parametr do značné míry ovlivňuje délku montážního cyklu.



10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vlastní řešení orientačního ústrojí průmyslového robotu, které je určeno pro technologické operace montáže čepů a šroubů do otvorů včetně prvků adaptivity.

Úvodní kapitola krátce vymezuje rozsah zadání. V kapitole Analýza zadání je určen smysl zadání diplomové práce. Především zde byly stanoveny parametry jako maximální uvažovaný utahovací moment při montáži šroubů nebo velikost pracovního prostoru. Byla zde provedena rešerše běžně používaných kinematik a typů průmyslových robotů. Na základě výběru několika typů robotů, zjištění jejich parametrů a přibližných cen, bylo rozhodnuto, že orientační ústrojí bude konstruováno na použití s paletizačním robotem ABB IRB 460, který je oproti angulárním průmyslovým robotům podobné kategorie značně levnější. **Na základě těchto úvah se otevírá příležitost k tomu, aby zařízení, řešené v rámci této diplomové práce, nabídlo potřebné průmyslové využití za velmi zajímavou cenu.** Navíc zde bylo shledáno, že svislá montáž je v průmyslu příliš omezujícím faktorem, **proto bylo po konzultaci s vedoucím diplomové práce rozhodnuto, že dojde k rozšíření cíle rozsahu diplomové práce o požadavek montáže šroubů nebo čepů v obecné rovině, která je oproti vodorovné rovině sklopena o úhel do 30°.**

V další kapitole byla řešena teorie kinematiky robotů jakožto otevřených řetězců. Dále zde byl proveden výpočet potřebných stupňů volnosti orientačního ústrojí, určeného pro montáž čepů nebo šroubů. Došlo rovněž k určení potřebných kompenzačních stupňů volnosti. V podkapitole 3.6 Rozsah adaptivity byl vypočítán potřebný rozsah kompenzačních stupňů volnosti. V závislosti na přesnosti prvků montovaných celků je žádaný rozsah adaptivity od 0,5 mm pro nejpresnější prvky montážních celků, až po jednotky mm u běžně přesných prvků montovaných celků.

V kapitole Přehled vynálezů byly popsány vynálezy, které byly nalezeny v databázi amerického patentového úřadu.

Kapitola 5 Návrh variant řešení se zabývá konstrukcí celkem sedmi koncepčních variant. Varianty byly řešeny do fáze návrhového počítačového 3D modelu. Každá varianta obsahuje popis principu funkce i popis předpokládaného pracovního cyklu. Je zřejmé, že první dvě varianty nebyly zpracovány do nejmenších detailů, jedna varianta (varianta V4) nebyla vyřešena kompletně, protože při jejím zpracování se přišlo na to, že je konstrukčně velmi nevýhodná, a u varianty V3 byla provedena další podvarianta V3a, řešena jako koncový efektor pro spolupráci s angulárním šestiosým robotem. Výběr technicko - ekonomicky nejvíce nadějných variant byl určen pomocí bázecké metody multikriteriálního hodnocení. Ukázalo se, že technicky nejvíce nadějnou variantou je varianta V7, a to i přesto, že varianty V5 a V6 pracují bez vlastního pohonu a veškeré elektroniky.

Varianta V7 byla podrobena výpočtu. První část výpočtu se zabývá návrhem pohonu z hlediska statiky, kinematiky i dynamiky. Oproti variantě V7 navržené v rámci kapitoly 5 se ukázalo, že pohon splní kinematické požadavky i požadavky na dynamiku i bez dalšího synchronního převodu. Dle výpočtu je orientační ústrojí schopné změnit orientaci z maximální hodnoty 30° do referenční polohy (0°) za 0,225 s, což mírně převyšuje čas potřebný na změnu orientace orientační osy „C“ paletizačního robotu ABB IRB 460. V další části výpočtu byla konstrukce podrobena pevnostní kontrole. Na základě pevnostní kontroly dle požadované životnosti 20 000 hodin došlo k úpravě konstrukce, zejména co se



týká výměny ložisek a kuličkové matice. Nutno podotknout, že jednak z časových důvodů, jednak z důvodů velkého rozsahu diplomové práce nebyla pevnostní kontrola provedena pro všechny namáhané uzly.

V rámci podrobného zpracování konstrukční varianty došlo i ke zpracování konstrukce taktilního snímače, který je důležitý pro práci orientačního ústrojí. Diplomová práce se zabývala i technologií konstrukce vyráběných dílů a jejich následnou montáží.

Kapitola 9 Ekonomické zhodnocení potvrdila výhodnost použití orientačního ústrojí s robotem ABB IRB 460 oproti použití koncového efektoru s robotem ABB IRB 6620. Ukázalo se, že **náklady na výrobu jednoho orientačního ústrojí činí méně než 40% rozdílu ceny uvažovaných robotů**. Na druhou stranu ekonomické zhodnocení neuvažuje naprosto všechny náklady, proto je nutné brát hodnotu ekonomického součinitele spíš jako vodítko. Nutno ale podotknout, že v ekonomické analýze nebyly uvedeny náklady na výrobu koncového efektoru pro montáž šroubů nebo čepů v případě použití angulárního šestiosého robotu. Z toho vyplývá, že použití navrženého orientačního ústrojí pro paletizační robot ABB IRB 460 může být ještě výhodnější, než uvádí ekonomické zhodnocení.

V zadání je uvedený požadavek na zkonstruování fyzického modelu orientačního ústrojí dle možností. Protože nejsou možnosti sehnat potřebné finance na nákup robotu a na výrobu orientačního ústrojí, nelze tuto podmínku splnit.

Vývoj orientačního ústrojí včetně vyhotovení diplomové práce i výkresové dokumentace trval 310 hodin intenzivní práce.

10.1 Parametry zařízení

Orientační ústrojí bylo od začátku navrhované pro montáž šroubů nebo čepů pro velké montážní celky. Tomu napovídá i pracovní rozsah robotu ABB IRB 460, který dosahuje hodnoty okolo 2000 mm. Orientační ústrojí bylo navrženo tak, aby pracovalo se stejnými rychlostmi jako samotný robot. Pak lze psát, že systém zvládne až 2160 cyklů za hodinu. Podle [1] patří robot ABB IRB 460 k jednomu z nejrychlejších paletizačních robotů v dnešní době.

10.2 Průmyslová využitelnost

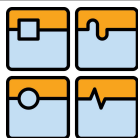
Automatizovaná montáž čepů nebo šroubů spadá do zatím nepříliš rozšířené oblasti v průmyslu. V rámci diplomové práce došlo k návrhu zařízení, které již nyní **má ambici zaplnit mezeru na trhu v oblasti automatizace výroby**.

Kompenzace orientačního ústrojí podle diplomové práce byla vyřešena použitím taktilního snímače. Potenciální zákazník má samozřejmě možnost zvolit jiné řešení zjišťování polohových nebo úhlových odchylek. Na trhu existují různé kamerové systémy nebo optoelektronické snímače, které mohou úlohu taktilního snímače plně nahradit. Velkou výhodou je, že výběr snímačů nemá vliv na konstrukci orientačního ústrojí.

Orientační ústrojí lze přizpůsobit i pro použití jiného typu robotu. Jedinou změnou v jeho konstrukci bude pouze úprava příruby pro upevnění na robot.

10.3 Možnosti pokračování

Logickou možností pokračování projektu je vyrobit orientační ústrojí a zařadit jej do výrobního systému. Dalšími možnostmi ve vývoji je navrhnout kompaktní zařízení schopné pracovat v jakkoliv nakloněných montážních rovinách i pro montáž zdola.

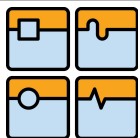


11 Seznam zdrojů

- [1] ABB Robotika [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.abb.com/product/cz/9AAC910011.aspx?country=CZ>
- [2] ABB. IRB 460: Industrial robot [online]. 2014, 2 s. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/\\$file/ROB0206EN_A_IRB%20460%20data%20sheet.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/$file/ROB0206EN_A_IRB%20460%20data%20sheet.pdf)
- [3] ABB. IRB 6620: Industrial robot [online]. 2014, 2 s. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/1696cf0d76a0e612c125772e00595590/\\$file/IRB%206620%20PR10333%20EN_R8.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/1696cf0d76a0e612c125772e00595590/$file/IRB%206620%20PR10333%20EN_R8.pdf)
- [4] ANDERSON, Mark Dennis a Mark August TOFFLE. *Robotic compliance mechanism* [patent]. Patent, US 6,234,703 B1. Uděleno 10-03-2010.
- [5] ANDRLÍK, Vladimír a Pavel JURDA. *Kulový kloub s alespoň dvěma stupni volnosti* [patent]. Patent, CZ 302298 B6. Uděleno 12-29-2010.
- [6] ARKOV, spol. s.r.o. *Široký sortiment strojních součástí* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://zbozi.arkov.cz/>
- [7] Čep s pružinou a kroužkem. ESSENTRA COMPONENTS. *Essentra Components* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.essentracomponents.cz/cep-s-pruzinou-a-krouzkem-653052>
- [8] DFI matice dvojitá předeprnutá. CNC shop s.r.o. [online]. 2010 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/sfi-matice-predepnuta>
- [9] FANUC EUROPE Corporation [online]. 2012 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.fanuc.cz/>
- [10] FLORIAN, Zdeněk, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Mechanika těles: statika*. Vyd. 7. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 182 s. ISBN 978-80-214-3440-0.
- [11] GALBA, Vladimír. *Spherical joint of a hydrostatic piston machine* [patent]. Patent, US 7,357,067 B2. Uděleno 4-15-2008.
- [12] GREPL, Robert. *Kinematika a dynamika mechatronických systémů*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 158 s. ISBN 978-80-214-3530-8.



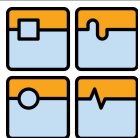
- [13] HIWIN, s.r.o. *Lineární vedení* [online]. Brno, 2014, 92 s. [cit. 05-24-2014]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/media/files/01_Linearni_vedeni.pdf
- [14] HRADIL, J. *Koncové efektory v průmyslové robotice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 77 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Aleš Pochylý.
- [15] Inkrementální enkodéry. SCHMACHTL CZ, spol s.r.o. *Elektrotechnika , strojírenství - SCHMACHTL CZ, spol s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.schmachtl.cz/inkrementalni-enkodery>
- [16] IRB 460: High speed robotic palletizer. ABB. *Stránky společnosti ABB* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-460>
- [17] JANÍČEK, Přemysl a Emanuel ONDRÁČEK. *Řešení problémů modelováním: téměř nic o téměř všem*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1998, 335 s. ISBN 80-214-1233-x.
- [18] *Komponenty pro automatizaci a stavbu CNC strojů* [online]. 2010 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [19] Koncový spínač stavitelné kladky. RS COMPONENTS SP. *RS-online* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://cz.rs-online.com/web/p/koncové-spinace/3081664/?searchTerm=3081664&relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E525353746F636B4E756D6265724D504E266C753D656E266D6D3D6D61746368616C6C26706D3D5E5C647B367D247C5E5C647B377D247C5E5C647B31307D2426706F3D313426736E3D592673743D52535F53544F434B5F4E554D4245522677633D4E4F4E45267573743D3330383136363426&cm_mmc=Supplier-_MPN-External-_rs-components.com-_3081664
- [20] KOŽEVNIKOV, S. N., J. I. JESIPENKO a J. M. RASKIN. *Mechanizmy*. Bárdoš Vladimír. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatury n. p., 1960. DT 621-623.
- [21] KŘÍŽ, R. a kol. *Stavba a provoz strojů I: Části strojů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1977. ISBN nemá.
- [22] KUKA ROBTER GMBH. *KUKA Industrial Robots* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.kuka-robotics.com/usa/en/>
- [23] KUKA ROBTER GMBH. *Kuka Robots: KR 10 scara R600, R850 WP* [online]. Zugspitzstraße 140, Augsburg, Germany, 2010, 57 s. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_10_scara_WP_en.pdf



- [24] KUKA ROBOTER GMBH. *Kuka Robots: KR QUANTEC nano* [online]. Zugspitzstraße 140, Augsburg, 2014, 83 s. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_QUANTEC_nano_de.pdf
- [25] KUKA ROBOTER GMBH. *Kuka Robots: KR QUANTEC pro* [online]. Zugspitzstraße 140, Augsburg, 2012, 75 s. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_QUANTEC_pro_en.pdf
- [26] Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, jednořadá. SKF. *SKF Česká republika* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://secure.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1210010302&imperial=false>
- [27] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [28] LI, Ming-Feng. *Multi-degree-of-freedom motion mechanism* [patent]. Patent, US 7,765,892 B2. Uděleno 08-03-2010.
- [29] LI, Shen-Chun, Hsien-Chuan LIANG a Shou-Kuo HSU. *Joint mechanism for robot* [patent]. Patent, US 8,549,951 B2. Uděleno 10-08-2013.
- [30] LONG, Bo. *Robot arm mechanism and robot using the same* [patent]. Patent, US 8,490,510 B2. Uděleno 7-23-2013.
- [31] LOTHAR F., Bieg a Benavides GILBERT L. *Double slotted socket spherical joint* [patent]. Patent, US 6,234,703 B1. Uděleno 05-22-2010.
- [32] MAREK, Jiří et al. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [33] MATIS S.R.O. *Lineární vedení - Matis s.r.o* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.matis.cz/>
- [34] PN Preloaded screws. SKF. *SKF Linearmotion 2D/3D CAD* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://skf-linearmotion.partcommunity.com/SKF-Linear-Motion-PN-preloaded-screws-Rolled-Thread-Ball-Screw-with-Internal-Recirculation-Nut/?prjpathinfo=skf_linearmotion/ball_and_roller_screws/ball_screws/pn_asmtab.prj



- [35] REED, Lyle T. a Arthur E. OLT. *Flexible seal for a spherical joint* [patent]. Patent, US 4,553,760. Uděleno 11-09-1985.
- [36] Servomotory ESTUN řada EMJ. RAVEO, s.r.o. *Stránky společnosti Raveo, s.r.o* [online]. 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://raveo.cz/servomotory-estun-emj>
- [37] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE, Richard G BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [38] SKF GROUP HEADQUARTERS. *Kluzná pouzdra SKF*. Halls offset AB, [online katalog]. ©2000, [cit. 2014-05-24]. 45 s. Katalog 4741 CZ. Dostupné z: http://zbozi.arkov.cz/dl/515/Kluzna_pouzdra_SKF.pdf.html
- [39] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty - Základní učební text: Koncové efektory*. Brno, 2000. Studijní opora. Vysoké učení technické v Brně.
- [40] Stanley 1-94-670 - Sada hlavic s ráčnou 1/2" (73-dílná). *Prodej nářadí, stavební techniky*: www.profi-technika.cz [online]. 2012 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.profi-technika.cz/stanley-1-94-670-sada-hlavic-s-racnou-1-2-73-dilna-7019>



12 Seznam použitých zkratk a symbolů

a_0	Koeficient polynomu	[mm]
a_1	Koeficient polynomu	[mm.s ⁻¹]
a_2	Koeficient polynomu	[mm.s ⁻²]
a_3	Koeficient polynomu	[mm.s ⁻³]
a_4	Koeficient polynomu	[mm.s ⁻⁴]
a_5	Koeficient polynomu	[mm.s ⁻⁵]
A_{kin}	Matice kinematické soustavy lineárních rovnic	[-]
a_{kin}	Vektor proměnných kinematické soustavy lineárních rovnic	[-]
a_T	Zrychlení soustavy táhel	[mm.s ⁻²]
a_{tr}	Zrychlení translační části	[mm.s ⁻²]
b_B	Rozměr čepu ve vazbě B	[mm]
b_{kin}	Vektor pravých stran kinematické soustavy lineárních rovnic	[-]
b_p	Šířka pera	[mm]
C_{dynL}	Základní dynamická únosnost kuličkových ložisek	[N]
C_{dys}	Základní dynamická únosnost matice kuličkového šroubu	[N]
C_{dynv}	Základní dynamická únosnost lineárního vedení	[N]
d	Průměr hřídele, jmenovitý průměr šroubu	[mm]
$d_{\epsilon B}$	Průměr čepu ve vazbě B	[mm]
$d_{\epsilon B}$	Průměr čepu ve vazbě B	[mm]
$d_{\epsilon F}$	Průměr čepu ve vazbě F	[mm]
d_s	Jmenovitý průměr kuličkového šroubu	[mm]
d_x	Odchylka vzdálenosti v ose x	[mm]
d_y	Odchylka vzdálenosti v ose y	[mm]
d_z	Odchylka vzdálenosti v ose z	[mm]
e_e	Vzdálenost osy lineárního vedení od osy kuličkové matice	[mm]
F_{axL}	Axiální síla působící na ložisko	[N]
F_{ay}	Síla ve vazbě A v ose y	[N]
F_{Az}	Síla ve vazbě A v ose z	[N]
$F_{Bdynmax}$	Maximální dynamická síla ve vazbě B	[N]
F_{Bmax}	Maximální statická síla ve vazbě B	[N]
F_{By}	Síla ve vazbě B v ose y	[N]
F_{Bz}	Síla ve vazbě B v ose z	[N]
F_{Cy}	Síla ve vazbě C v ose y	[N]
F_{Cz}	Síla ve vazbě C v ose z	[N]
F_{Czs}	Střední hodnota síly FCz	[N]
$F_{\epsilon B}$	Síla na čep ve vazbě B	[N]
F_{dynT}	Dynamická síla soustavy táhel	[N]
F_{dyntr}	Dynamická síla na urychlení translační části se stanoví	[N]
$F_{dyntreelk}$	Celková dynamická síla působící na lineární vedení	[N]
F_{Dz}	Síla ve vazbě D v ose z	[N]

f_F	Součinitel smykového tření pro čep ve vazbě F	[-]
F_{Fy}	Síla ve vazbě F v ose y	[N]
F_{Fz}	Síla ve vazbě F v ose z	[N]
F_{GSM}	Tíhová síla soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru	[N]
F_{Gy}	Síla ve vazbě G v ose y	[N]
f_H	Faktor tvrdosti	[-]
F_{Jy}	Síla ve vazbě J v ose y	[N]
F_{Jz}	Síla ve vazbě J v ose z	[N]
F_{kmax}	Maximální možná axiální síla ve šroubu	[N]
F_{PRE}	Předpětí ložisek	[N]
F_{radL}	Radiální síla působící na ložisko	[N]
F_{redrot}	Redukovaná síla soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru působící na lineární vedení	[N]
F_{redT}	Redukovaná síla soustavy dvou táhel	[N]
f_T	Faktor teploty	[-]
F_{tre}	Celková síla působící na translační člen (lineární vedení)	[N]
F_{trs}	Střední hodnota síly působící na translační člen	[N]
f_w	Faktor zatížení	[-]
F_{y1}	Celková síla v ose y pro těleso 1	[N]
F_{y2}	Celková síla v ose y pro těleso 2	[N]
F_{y3}	Celková síla v ose y pro těleso 3	[N]
F_{y6}	Celková síla v ose y pro těleso 6	[N]
F_{z1}	Celková síla v ose z pro těleso 1	[N]
F_{z2}	Celková síla v ose z pro těleso 2	[N]
F_{z3}	Celková síla v ose z pro těleso 3	[N]
F_{z6}	Celková síla v ose z pro těleso 6	[N]
g	Tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
HBS_{11}	Hodnocení parametru 1 pro variantu V1	[-]
HBS_{12}	Hodnocení parametru 2 pro variantu V1	[-]
HBS_{13}	Hodnocení parametru 3 pro variantu V1	[-]
HBS_{14}	Hodnocení parametru 4 pro variantu V1	[-]
HBS_{15}	Hodnocení parametru 5 pro variantu V1	[-]
HBS_{16}	Hodnocení parametru 6 pro variantu V1	[-]
HBS_{17}	Hodnocení parametru 7 pro variantu V1	[-]
HBS_{18}	Hodnocení parametru 8 pro variantu V1	[-]
HBS_{19}	Hodnocení parametru 9 pro variantu V1	[-]
HBS_{21}	Hodnocení parametru 1 pro variantu V2	[-]
HBS_{22}	Hodnocení parametru 2 pro variantu V2	[-]
HBS_{23}	Hodnocení parametru 3 pro variantu V2	[-]
HBS_{24}	Hodnocení parametru 4 pro variantu V2	[-]
HBS_{25}	Hodnocení parametru 5 pro variantu V2	[-]
HBS_{26}	Hodnocení parametru 6 pro variantu V2	[-]
HBS_{27}	Hodnocení parametru 7 pro variantu V2	[-]
HBS_{28}	Hodnocení parametru 8 pro variantu V2	[-]

HBS ₂₉	Hodnocení parametru 9 pro variantu V2	[-]
HBS ₃₁	Hodnocení parametru 1 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₂	Hodnocení parametru 2 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₃	Hodnocení parametru 3 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₄	Hodnocení parametru 4 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₅	Hodnocení parametru 5 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₆	Hodnocení parametru 6 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₇	Hodnocení parametru 7 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₈	Hodnocení parametru 8 pro variantu V3	[-]
HBS ₃₉	Hodnocení parametru 9 pro variantu V3	[-]
HBS ₅₁	Hodnocení parametru 1 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₂	Hodnocení parametru 2 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₃	Hodnocení parametru 3 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₄	Hodnocení parametru 4 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₅	Hodnocení parametru 5 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₆	Hodnocení parametru 6 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₇	Hodnocení parametru 7 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₈	Hodnocení parametru 8 pro variantu V5	[-]
HBS ₅₉	Hodnocení parametru 9 pro variantu V5	[-]
HBS ₆₁	Hodnocení parametru 1 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₂	Hodnocení parametru 2 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₃	Hodnocení parametru 3 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₄	Hodnocení parametru 4 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₅	Hodnocení parametru 5 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₆	Hodnocení parametru 6 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₇	Hodnocení parametru 7 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₈	Hodnocení parametru 8 pro variantu V6	[-]
HBS ₆₉	Hodnocení parametru 9 pro variantu V6	[-]
HBS ₇₁	Hodnocení parametru 1 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₂	Hodnocení parametru 2 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₃	Hodnocení parametru 3 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₄	Hodnocení parametru 4 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₅	Hodnocení parametru 5 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₆	Hodnocení parametru 6 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₇	Hodnocení parametru 7 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₈	Hodnocení parametru 8 pro variantu V7	[-]
HBS ₇₉	Hodnocení parametru 9 pro variantu V7	[-]
$i_{\alpha\beta F}$	Poměr úhlů α a βF	[-]
J_{rot}	Moment setrvačnosti soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru	[kg.mm ²]
J_s	Moment setrvačnosti soustavy kuličkového šroubu	[kg.mm ²]
J_T	Moment setrvačnosti soustavy dvou táhel	[kg.mm ²]
k_d	Koeficient matice kuličkového šroubu	[-]
k_{dc}	Bezpečnost čepu	[-]



DIPLOMOVÁ PRÁCE

k_k	Koeficient matice kuličkového šroubu	[-]
k_v	Výpočtová bezpečnost	[-]
l	Délka pera, délka obecně	[mm]
L_{ev}	Základní dynamická životnost	[-]
L_{evh}	Základní hodinová dynamická životnost	[h]
L_{hs}	Základní životnost	[h]
L_{hs}	Základní hodinová životnost únosnost matice kuličkového šroubu	[h]
l_L	Délkový rozměr	[mm]
L_L	Základní dynamická životnost ložiska	[-]
L_{Lh}	Základní hodinová dynamická životnost ložiska	[h]
L_{Mz}	Rozměr mechanismu	[mm]
L_s	Základní dynamická životnost matice kuličkového šroubu	[-]
L_T	Jmenovitá délka táhla	[mm]
L_{voz1}	Délka lineárního vozíku	[mm]
L_{voz2}	Rozměr lineárního vedení	[mm]
L_{y1}	Rozměr mechanismu	[mm]
m	Hmotnost obecně	[kg]
M_{Ax1}	Celkový moment v ose x ve vazbě A pro těleso 1	[Nmm]
M_{Bx2}	Celkový moment v ose x ve vazbě B pro těleso 2	[Nmm]
M_{Bx6}	Celkový moment v ose x ve vazbě B pro těleso 6	[Nmm]
M_{Dx}	Moment ve vazbě D v ose x	[Nmm]
M_{Dx3}	Celkový moment v ose x ve vazbě D pro těleso 3	[Nmm]
M_{dyn}	Celkový dynamický moment	[Nmm]
M_{dynrot}	Dynamický moment soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru	[Nmm]
M_{dynT}	Dynamický moment soustavy dvou táhel	[Nmm]
m_{gsm}	Hmotnost soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru	[kg]
M_{HNS}	Statický hnací moment	[Nmm]
M_{Hz}	Moment ve vazbě H v ose z	[Nmm]
M_{js}	Jmenovitý moment servomotoru	[Nmm]
M_K	Kroutící moment	[Nmm]
M_{maxs}	Špičkový moment servomotoru	[Nmm]
M_{omaxB}	Maximální ohybový moment čepu ve vazbě B	[Nmm]
M_{reds}	Redukovaný moment na kuličkovém šroubu	[Nmm]
M_s	Celkový moment působící na servomotor	[Nmm]
M_{smax}	Maximální hodnota momentu působícího na servomotor	[Nmm]
m_T	Hmotnost soustavy dvou táhel	[kg]
m_{tr}	Hmotnost translační části mechanismu	[kg]
M_u	Utahovací moment	[Nmm]
N_c	Rozdíl cen robotů	[Kč]
n_{cyklh}	Počet cyklů robotu za hodinu	[h ⁻¹]
n_{dila}	Počet dílů enkodéru osy A	[-]
n_{js}	Jmenovité otáčky servomotoru	[min ⁻¹]
N_{mat}	Náklady na nákup materiálu	[Kč]

$n_{\max}$	Maximální otáčky obecně	[-]
$n_{\max s}$	Maximální otáčky servomotoru	[min ⁻¹]
N_{mont}	Náklady na montáž	[Kč]
N_{nak}	Náklady na pořízení nakupovaných dílů	[Kč]
N_{O}	Náklady na technologii výroby	[Kč]
n_{rv}	Počet rotačních stupňů volnosti	[-]
n_{smax}	Maximální otáčky kuličkového šroubu	[min ⁻¹]
n_{ss}	Střední otáčky šroubu	[min ⁻¹]
n_{sv}	Počet stupňů volnosti nevázaného tělesa	[-]
$n_{\text{svmč}}$	Počet stupňů volnosti smontovaného čepu	[-]
n_{svou}	Počet stupňů volnosti orientačního ústrojí	[-]
n_{tv}	Počet translačních stupňů volnosti	[-]
N_{v}	Náklady na výrobu	[Kč]
N_{vyr}	Náklady na výrobu vyráběných dílů	[Kč]
$N_{\text{vyrđ}}$	Náklady na výrobu drobných dílů	[Kč]
o_k	Obvod odvalovací kružnice pomyslné cykloidy Čebyševova mechanismu	[mm]
p_D	Dovolené napětí na otláčení	[MPa]
P_{ev}	Ekvivalentní dynamické zatížení lineárního vedení	[N]
P_{js}	Jmenovitý výkon servomotoru	[W]
P_L	Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[N]
$q_{\text{čB}}$	Spojité zatížení na čep ve vazbě B	[N.mm ⁻¹]
$r_{\text{zč}}$	Poloměr rotace zkrácené cykloidy	[mm]
S	Plocha	[mm ²]
s_s	Stoupání kuličkového šroubu	[mm]
t_1	Výška pera v náboji	[mm]
t_1, t_2, t_3	Kořeny kinematické rovnice	[-]
t_{cyklr}	Doba cyklu robotu	[s]
t_{ori}	Nejkratší možná doba orientace	[s]
$v_{\max}$	Maximální rychlost lineárního vedení	[mm.s ⁻¹]
VP_1	Významnost parametru 1	[-]
VP_2	Významnost parametru 2	[-]
VP_3	Významnost parametru 3	[-]
VP_4	Významnost parametru 4	[-]
VP_5	Významnost parametru 5	[-]
VP_6	Významnost parametru 6	[-]
VP_7	Významnost parametru 7	[-]
VP_8	Významnost parametru 8	[-]
VP_9	Významnost parametru 9	[-]
X_L	Koeficient ložiska	[-]
y_3	Posunutí lineárního vedení	[mm]
Y_L	Koeficient ložiska	[-]
y_{T1}	Vzdálenost od těžiště soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru k ose rotace	[mm]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 105
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

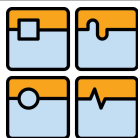
Z_{k1}	Rozměr orientačního ústrojí	[mm]
Z_{k2}	Rozměr orientačního ústrojí	[mm]
α	Úhel osy „A“ obecně	[°]
$\alpha_{ori\Delta}$	Velikost orientačního úhlu α při odchylce Δ	[°]
β_B	Úhlový rozměr mechanismu	[°]
β_F	Úhlový rozměr mechanismu	[°]
Δ_c	Celková polohová úchylka	[mm]
δ_c	Celková úhlová úchylka	[°]
Δ_{LMz}	Rozměr mechanismu	[mm]
Δ_m	Montážní polohová úchylka	[mm]
δ_m	Montážní úhlová úchylka	[°]
δ_{osaC}	Odhadovaná opakovatelná přesnost polohování osy C	[°]
Δ_{pr}	Polohová úchylka průmyslového robotu, opakovatelná přesnost polohování	[mm]
δ_{pr}	Úhlová úchylka polohování průmyslového robotu	[°]
Δ_u	Polohová úchylka uložení montážní sestavy	[mm]
δ_u	Úhlová úchylka uložení montážní sestavy	[°]
Δ_v	Výrobní polohová úchylka	[mm]
δ_v	Výrobní úhlová úchylka	[°]
Δ_y	Rozměr mechanismu	[mm]
ε_{rot}	Úhlové zrychlení soustavy rotační části mechanismu a koncového efektoru	[rad.s ⁻²]
ε_T	Úhlové zrychlení soustavy dvou táhel	[rad.s ⁻²]
η_c	Celková účinnost mechanismu	[-]
$\eta_{\dot{c}}$	Účinnost přenosu energie čepy	[-]
η_L	Účinnost ložisek	[-]
η_s	Účinnost kuličkového šroubu	[-]
η_v	Účinnost lineárního vedení	[-]
κ_e	Ekonomický součinitel	[-]
σ_{Do}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{oB}	Maximální ohybové napětí čepu ve vazbě B	[MPa]
τ_1	Technicko- ekonomická hodnota varianty V1	[-]
τ_2	Technicko- ekonomická hodnota varianty V2	[-]
τ_3	Technicko- ekonomická hodnota varianty V3	[-]
τ_5	Technicko- ekonomická hodnota varianty V5	[-]
τ_6	Technicko- ekonomická hodnota varianty V6	[-]
τ_7	Technicko- ekonomická hodnota varianty V7	[-]
Φ_C	Úhlová dráha osy C	[°]
φ_s	Úhlová dráha kuličkového šroubu	[°]
ω_{maxC}	Maximální úhlová rychlost osy C	[rad.s ⁻¹]
ω_{smax}	Maximální úhlová rychlost kuličkového šroubu	[rad.s ⁻¹]

13 Seznam obrázků

Obr. 3.1.1: Kinematické schéma angulárního robotu.....	14
Obr. 3.1.2: Příklad angulárního šestiosého robotu.....	14
Obr. 3.2.1: Kinematické schéma robotu SCARA.....	14
Obr. 3.2.2: Příklad robotu SCARA.....	14
Obr. 3.3.1: Kinematické schéma paletizačního robotu.....	15
Obr. 3.3.2: Příklad paletizačního robotu.....	15
Obr. 3.4.1: Stupně volnosti paletizačního robotu.....	16
Obr. 3.4.2: Stupně volnosti volného a smontovaného čepu.....	16
Obr. 3.4.3: Uzpůsobení orientačního ústrojí pro montáž šroubů.....	17
Obr. 3.4.4: Řazení orientačních a kompenzačních stupňů volnosti.....	17
Obr. 3.4.5: Řazení polohových kompenzací a orientačních stupňů volnosti.....	18
Obr. 4.1: Spherical joint of a hydrostatic piston machine.....	21
Obr. 4.2: Joint mechanism for robot.....	23
Obr. 4.3: Multi- degree- of- freedom motion mechanism.....	24
Obr. 4.4: Kulový kloub s alespoň dvěma stupni volnosti.....	25
Obr. 4.5: Double slotted socket spherical joint.....	26
Obr. 4.6: Robotic compliance mechanism.....	27
Obr. 4.7: Flexible seal for a spherical joint.....	27
Obr. 5.1.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V1.....	28
Obr. 5.1.2: Princip funkce varianty V1.....	30
Obr. 5.1.3: Schéma pracovního cyklu varianty V1.....	30
Obr. 5.1.4: Skříň varianty V1.....	31
Obr. 5.1.5: Spodní držák kloubu varianty V1.....	32
Obr. 5.2.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V2.....	33
Obr. 5.2.2: Hydraulické schéma varianty V2.....	34
Obr. 5.2.3: Pracovní cyklus varianty V2.....	34
Obr. 5.3.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V3.....	36
Obr. 5.3.2: Měřicí jehla - varianta V3.....	37
Obr. 5.3.3: Pracovní cyklus varianty V3.....	38
Obr. 5.3.4: Zobrazení snímače polohy s měřicí jehlou varianty V3.....	39
Obr. 5.4.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V3a.....	40
Obr. 5.4.2: Náčrt varianty V3a.....	42
Obr. 5.5.1: Náhradní kinematické schéma varianty V4.....	43
Obr. 5.6.1: Náhradní kinematické schéma varianty V5.....	44
Obr. 5.6.2: Schéma axiálních vaček varianty V5.....	44
Obr. 5.6.3: Pracovní cyklus varianty V5.....	46
Obr. 5.6.4: Schéma brzdy varianty V5.....	48
Obr. 5.7.1: Náhradní kinematické schéma varianty V6.....	49
Obr. 5.7.2: Schéma sekundární brzdy varianty V6.....	49
Obr. 5.7.3: Princip funkce varianty V6.....	50
Obr. 5.7.4: Pracovní cyklus varianty V5.....	51
Obr. 5.7.5: Náhradní kinematické schéma brzd primárního orientačního ústrojí.....	52
Obr. 5.7.6: Rám a brzdy varianty V6 ve 3D zobrazení.....	53
Obr. 5.7.7: Pohledy na sekundární orientační mechanismus.....	54
Obr. 5.8.1: Náhradní základní kinematické schéma varianty V7.....	55

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 107
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Obr. 5.8.2: Náhradní kinematické schéma varianty V7.....	55
Obr. 7.1.1: Geometrické zobrazení první části mechanismu a uvolnění vazeb.....	68
Obr. 7.1.2: Geometrické zobrazení druhé části mechanismu.....	69
Obr. 7.3.3: Průběh momentu působícího na servomotor.....	77
Obr. 8.1.1: Taktilní snímač.....	86



14 Seznam tabulek

Tabulka 2.2.1: Přehled angulárních šestiosých robotů.....	11
Tabulka 2.3.1: Přehled paletizačních robotů.....	12
Tabulka 6.2.1: Přidělení konkrétních hodnot bodovací stupnici.....	60
Tabulka 6.3.1: Významnost parametrů.....	61
Tabulka 6.4.1: Ohodnocení varianty V1.....	61
Tabulka 6.5.1: Ohodnocení varianty V2.....	62
Tabulka 6.6.1: Ohodnocení varianty V3.....	63
Tabulka 6.7.1: Ohodnocení varianty V5.....	64
Tabulka 6.8.1: Ohodnocení varianty V6.....	65
Tabulka 6.9.1: Ohodnocení varianty V7.....	66
Tabulka 6.9.2: Rekapitulace výsledků multikriteriálního hodnocení.....	66
Tabulka 9.1: Ceny technologických operací.....	91
Tabulka 9.2: Náklady na pořízení nakupovaných dílů.....	91



15 Seznam příloh

15.1 Tištěné přílohy

- Příloha 1: Nákres předmětu vynálezu č. US 8,490,510 B2
- Příloha 2: Řez konstrukčním návrhem varianty V1
- Příloha 3: Rozpad konstrukčního návrhu varianty V1
- Příloha 4: Řez konstrukčním návrhem varianty V2
- Příloha 5: Rozpad konstrukčního návrhu varianty V3
- Příloha 6: Zobrazení varianty V5 v pohledu z boku, v řezu a v prostorovém pohledu
- Příloha 7: Brzda varianty V5
- Příloha 8: Prostorové pohledy varianty V6
- Příloha 9: Detaily varianty V6
- Příloha 10: Prostorové pohledy varianty V7
- Příloha 11: Detaily varianty V7
- Příloha 12: Obrázkové schéma pracovního cyklu
- Příloha 13: Tabulka polotovarů
- Příloha 14: Tabulka výrobních nákladů
- Příloha 15: 0-DP-000 OÚ pro ABB IRB 460
- Příloha 16: 2-DP-001 Taktální snímač
- Příloha 17: 3-DP-002 Příruba
- Příloha 18: 4-DP-003 Držák osy
- Příloha 19: 4-DP-004 Lišta mechanismu
- Příloha 20: 4-DP-005 Ložiskový domek
- Příloha 21: 4-DP-006 Ložiskový domek
- Příloha 22: 4-DP-007 Naklápěcí kostka
- Příloha 23: 4-DP-008 Táhlo
- Příloha 24: 4-DP-009 Distanční trubka táhel
- Příloha 25: 4-DP-010 Držák matice
- Příloha 26: 4-DP-011 Profil
- Příloha 27: 4-DP-012 Profil
- Příloha 28: 4-DP-013 Profil
- Příloha 29: 4-DP-014 Profil
- Příloha 30: 4-DP-015 Profil

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 110
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Příloha 31:	4-DP-016 Profil
Příloha 32:	4-DP-017 Profil
Příloha 33:	4-DP-018 Výztuha
Příloha 34:	4-DP-019 Držák koncového spínače
Příloha 35:	4-DP-020 Držák koncového spínače
Příloha 36:	4-DP-021 Kryt domku ložiska
Příloha 37:	4-DP-023 Kuličkový šroub
Příloha 38:	4-DP-024 Kryt domku ložiska
Příloha 39:	4-DP-025 Držák enkodéru
Příloha 40:	4-DP-026 Rameno enkodéru
Příloha 41:	4-DP-027 Závitová tyč předpětí
Příloha 42:	4-DP-028 Svorník M4
Příloha 43:	4-DP-029 Předepínací kostka
Příloha 44:	4-DP-030 Čep táhla
Příloha 45:	4-DP-031 Držák utahováku
Příloha 46:	4-DP-032 Plech držáku utahováku
Příloha 47:	4-DP-033 Konzola pružiny
Příloha 48:	4-DP-034 Držák pružiny
Příloha 49:	4-DP-035 Vodicí tyč pružiny
Příloha 50:	4-DP-036 Čep mechanismu
Příloha 51:	3-DP-037 Kryt 1
Příloha 52:	3-DP-038 Kryt 2

15.2 Přílohy v elektronické podobě

Příloha 1E:	3D model varianty V1
Příloha 2E:	3D model varianty V2
Příloha 3E:	3D model varianty V3
Příloha 4E:	3D model varianty V3a
Příloha 5E:	3D model varianty V5
Příloha 6E:	3D model varianty V6
Příloha 7E:	3D model varianty V7
Příloha 8E:	3D model definitivního konstrukčního návrhu
Příloha 9E:	Výpočtový program