



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

INTEGRACE PODTLAKOVÉHO KONCOVÉHO EFEKTORU DO ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ

VACUUM END-EFFECTOR INTEGRATED IN ROBOTICS STATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ZDENĚK BAJÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM BLECHA, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Zdeněk Baják

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:

Integrace podtlakového koncového efektoru do robotického pracoviště

v anglickém jazyce:

Vacuum End-Effector Integrated in robotics station

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zprovoznění a začlenění automatického podtlakového efektoru do robotického pracoviště s robotem ABB.

Cíle diplomové práce:

1. Dokončit celkový 3D model koncového efektoru (provést potřebné úpravy, vytvoření výkresové dokumentace apod.)
2. Navrhnout řízení použitých krokových motorů
3. Oživení koncového efektoru
4. Provést simulaci polohování přísavek
5. Zprovoznění efektoru s robotem ABB IRB 4400

Seznam odborné literatury:

- KOLÍBAL,Z.: Průmyslové roboty II - Konstrukce výstupních hlavíc a periferií. VUT Brno, 1993
PALKO,A.- SMRČEK,J.: Koncové efektory pre priemyselné a servisné roboty.TU Košice, 2004, ISBN 80-8073-218-3
ČELPANOV, I,B.: Schvaty promyšlennych robotov. Mašinostrojenie, 1989
MATIČKA,R.- TALÁCKO,J.: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. SNTL Praha, 1991
HORÁK,M.: Dynamická manipulace s plochým sklem. Monografie vydaná na TU Liberec, FS za podpory Výzkumného záměru MŠMT ČR č.MSM 4674788501TU, Liberec, listopad 2008,

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radim Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 10.11.2008

L.S.

Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je dokončení projektu koncového podtlakového efektoru pro manipulaci s předměty deskového typu. Práce obsahuje dokončení 3D modelu, výkresovou dokumentaci, počítačovou simulaci polohování uchopovacího ústrojí, návrh řídicího systému pro krokové motory a ověření funkce efektoru s průmyslovým robotem ABB IRB 4400/60.

KLÍČOVÁ SLOVA ABSTRACT

podtlakový, řízení, efektor, krokový, robot

ABSTRACT

The subject of this thesis is to complete the project vacuum end effectors for handling objects plate type. The work includes the completion of a 3D model, drawing, computer simulation uchopovacího positioning system, the draft control system for stepping motors and verification functions of effectors with the industrial robot ABB IRB 4400/60

KEY WORDS

vacuum, control, effector, stepper, robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BAJÁK, Z. *Integrace podtlakového koncového efektoru do robotického pracoviště*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Blecha, Ph.D.

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou prací včetně příloh vypracoval samostatně. Veškeré zdroje a odbornou literaturu, které jsem při vypracování použil a čerpal z nich potřebné údaje, jsou uvedeny na konci této zprávy. Ustanovení předpisů pro vypracování diplomové práce jsem vzal na vědomí a jsem si vědom toho, že v případě jejich nedodržení nebude vedoucím diplomové práce moje práce přijata.“

V Brně, dne

.....

Bc. Zdeněk Baják

Poděkování

Těmito řádky bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing, Radimu Blechovi, PhD. Dále bych vyslovil poděkování všem, kteří mi poskytovali cenné rady, které mi dopomohli ke zdárnému dokončení této práce, již jsou Ing. Jiří Maxa, PhD, Ing. Jan Sýkora, Ing. Martin Magát, Jiří Pešl.

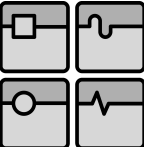
Děkuji také svým rodičům za bezmeznou důvěru, podporu a neocenitelné rady během studia na VUT v Brně. Také mé díky naleží mým kamarádům a spolužákům za veškerou jejich pomoc.

Obsah

ÚVOD.....	14
1. POPIS ZAŘÍZENÍ	16
2. ÚCHOPNÉ HLAVICE	18
2.1. Podtlakové úchopné hlavice – přísavky	18
2.2. Silové poměry při držení objektu pomocí přísavek	21
2.3. Koeficient bezpečnosti	23
2.4. Stanovení úchopné síly – kontrola navržených přísavek	24
2.4.1. Výpočet zatěžovacích sil	24
2.4.2. Výpočet potřebné úchopné síly	25
2.4.3. Výpočet úchopné síly přísavek ZPT 40CNK20-08-A14	26
3. LINEÁRNÍ VEDENÍ.....	29
3.1. Charakteristika lineárního vedení Compact Rail	29
3.1.1. Pojezdové kolejnice	31
3.1.2. Pohybové ústrojí lineárního vedení – jezdec (saně)	31
3.2. TECHNICKÉ PARAMETRY LINEÁRNÍHO VEDENÍ Compact Rail	33
3.2.1. Technické parametry pojezdové kolejnice	33
3.2.2. Technické parametry jezdce (saní)	33
3.3. Výpočet lineárního vedení	34
3.3.1. Třecí odpor	34
3.3.2. Výpočet tlačné síly	35
3.4. Kontrolní výpočet lineárního vedení	36
3.4.1. Výpočet zatěžující hmotnosti	36
3.4.2. Zatěžovací síla vyvozená uchopovacím ústrojím	37
3.4.3. Výpočet třecího odporu v lineárním vedení	37
3.4.4. Výpočet tlačné síly	37
3.4.5. Výpočet krouticích momentů M_x a M_y	38
3.4.6. Axiální zatížení	39
4. KROKOVÉ MOTORY	40
4.1. Úvod	40
4.2. Rozdělení krokových motorů	40
4.3. Princip a popis funkce krokových motorů	41

4.4.	Řízení krokových motorů	42
4.4.1.	Unipolární versus bipolární řízení	43
4.4.2.	Jednofázové versus dvoufázové řízení	44
4.5.	Technické a rozměrové parametry krokového motoru	44
5.	SPOJKY	46
5.1.	Úvod	46
5.2.	Typ volené spojky	46
5.3.	Kontrolní výpočet spojky	47
5.3.1.	Síla tření v závitu	48
5.3.2.	Moment tření v závitu	49
6.	NÁVRH ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ	50
6.1.	Úvod	50
6.2.	Varianta 1	50
6.2.1.	Popis jednotlivých komponentů – CD20M, Inmotion PC Utilities	50
6.2.2.	Kontroler M1486 (obrázek 6-2)	51
6.2.3.	Inmotion PC Utilities	52
6.2.4.	Ekonomický návrh varianty	52
6.2.5.	Celkové zhodnocení varianty 1	52
6.3.	Varianta 2	52
6.3.1.	Řídící jednotka	53
6.3.2.	Technické parametry řídící jednotky ESMC-02	53
6.3.3.	Způsob ovládání řídících jednotek ESMC-02	54
6.3.4.	Blokové schéma zapojení	55
6.3.5.	Ekonomické návrh varianty	55
6.3.6.	Celkové zhodnocení varianty 2	55
6.4.	Varianta 3	56
6.4.1.	Návrh ovládání řídících jednotek ESMC-02	56
6.4.2.	PIC 16F818-I/P	57
6.4.3.	Schéma zapojení řídící jednotky krokových motorů	58
6.4.4.	Návrh a popis řídícího plošného spoje	59
6.4.5.	Popis vstupů a výstupů navržené řídící jednotky	60
6.4.6.	Ekonomické návrh varianty	60
6.4.7.	Vyhodnocení varianty 3	60

7. ROBOT ABB – IRB 4400/60	62
7.1. Výtažek z technických parametrů	62
8. ZÁVĚR.....	65
8.1. 3D model koncového efektoru	65
8.2. Návrh řízení použitých krokových motorů	66
8.3. Oživení koncového efektoru, simulace polohování přísavek, zprovoznění efektoru s robotem ABB IRB 4400.....	67
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČEN	69
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
11. SEZNAM OBRÁZKŮ	72
12. SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE.....	74

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ÚVOD

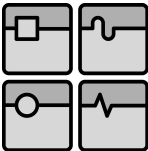
Stále se zvyšující úroveň technologických postupů výroby, výrobních strojů, kvality zpracování výrobků atd. sebou přináší vyšší nároky na kvalitu výrobních procesů, jejichž nedílnou součástí jsou rovněž mezioperační manipulace. Automatická manipulace v moderní výrobě a průmyslu představuje složitý proces, jehož realizace vyžaduje náročné technické řešení. Díky moderním technologiím je obor robotiky a automatizace taková řešení schopen nabídnout.

Manipulační systémy a roboty lze považovat za důležité prostředky pro snadnou a kvalitní tvorbu produktů. Současný trend automatizačních řešení je založen na poznatku, že nezbytná konkurenční schopnost se dosáhne a zajistí zvládnutelným stupněm automatizace.

Při návrhu koncepce manipulační úlohy je třeba brát v úvahu celou řadu působících činitelů, jakými jsou např. půdorysné rozmístění vstupních a výstupních periférií, manipulační časy související s technologií a typem výroby, přesnost polohování, nároky na bezpečnost atd. Na základě těchto rozborů lze potom celou řadu manipulačních úloh optimalizovat a dosáhnout tak zjednodušení celého problému, což výrazným způsobem přispívá ke zdokonalení výrobního procesu.

Důležitou složkou, nad kterou je zapotřebí popřemýšlet, jsou vlastnosti manipulovaných předmětů, které se navíc během výroby mohou měnit. Těmito vlastnostmi jsou myšleny například hmotnost, geometrie tvaru, teplota, kvalita povrchu, tvarová stabilita a další, které se projeví při volbě typu daného robotu či manipulátoru.

S podtlakovým nebo tlakovým principem realizace uchopení objektů během automatické manipulace se setkáváme ve velmi širokém spektru aplikací v oborech lékařských, elektrotechnických, v potravinářství, strojírenství, při výrobě stavebních materiálů apod. V některé technické literatuře uvádějí tento typ jako speciální skupinu koncových úchopných hlavic (přísavky) průmyslových robotů a manipulátorů. Zvláštností těchto hlavic je princip vyvolání úchopné síly. Úchopná síla, je vyvozena podtlakem elastické pryžové manžety (zvon, přísavky).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

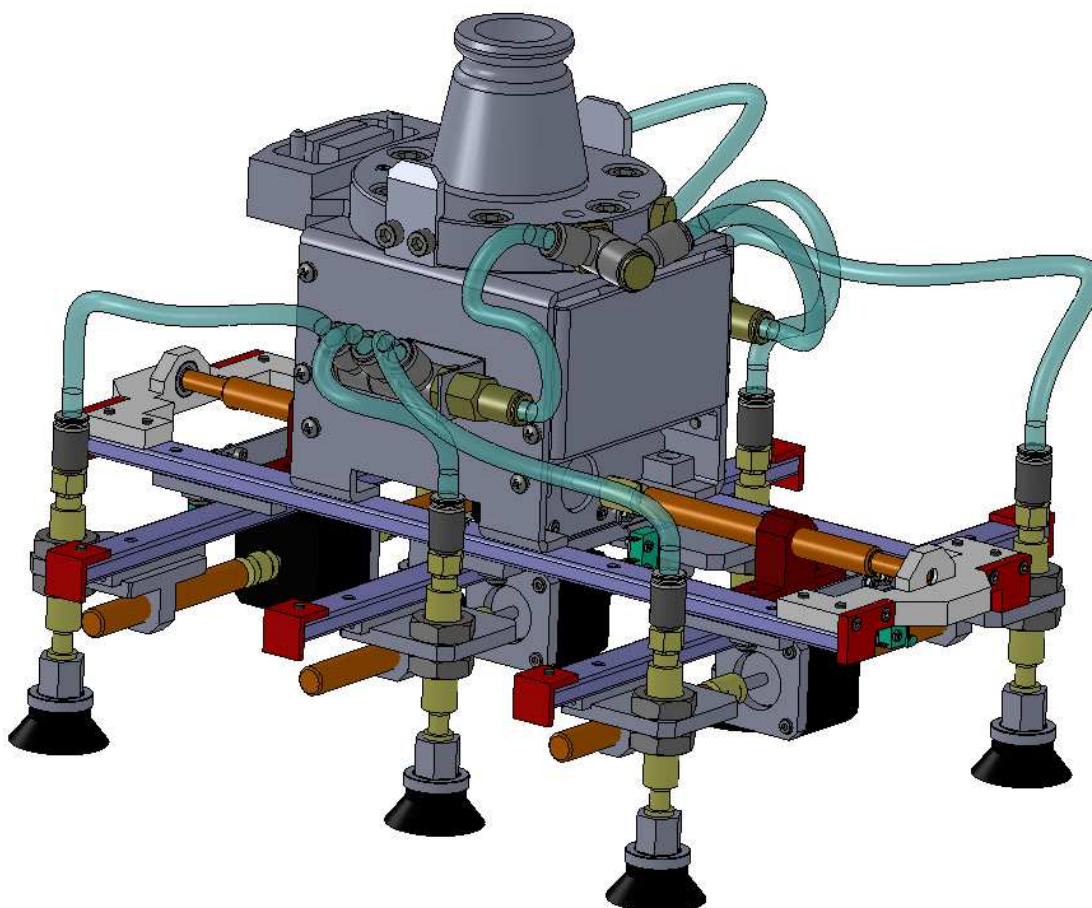
Postupem času a s rozvojem automatizace se rozmohla další skupina průmyslových robotů a manipulátorů, a to s automatickou výměnou koncových efektorů.

Úkolem této práce je navrhnout a realizovat podtlakový koncový efektor, jenž bude schopen reagovat na změnu tvaru přepravovaného předmětu deskového typu do maximální hmotnosti 10kg. Manipulace s předmětem bude realizována pomocí podtlakového koncového efektoru umístěného na průmyslovém robotu ABB - IRB 4400/60.

Při návrhu řešení je třeba se věnovat problematice dynamických a statických sil působících na přepravovaný předmět. Je zřejmé, že se tyto síly projevují hlavně při rozběhu či brzdění manipulačních zařízení. Z toho to důvodu je nutné při návrhu automatizované manipulace věnovat dostatečnou pozornost konstrukci podtlakových hlavic ve smyslu rozmístění vzhledem k těžišti desky.

1. POPIS ZAŘÍZENÍ

Koncový efektor je také nazýván jako výkonným orgánem, výstupní hlavicí či „chapadlem“. Je to dosti složité pohybové ústrojí, které je nedílnou součástí otevřeného kinematického řetězce průmyslových robotů a manipulátorů. Z konstrukčního hlediska spadá do kategorie manipulačních výstupních hlavic. Úchopná hlavice slouží k uchopování objektů (předmětů) námi zvolenými, za účelem další manipulace s nimi. Úchopná síla, je vyvozena podtlakem v pryžovém úchopném podtlakovém prvku - přísavce. Koncový efektor je vybaven šesti pryžovými podtlakovými přísavkami, které dle potřeby (tvaru a velikosti přepravovaného předmětu), ovládáme pomocí vodících šroubů a zadanými krokovými motory. Koncový podtlakový efektor má centrální rozvod podtlakového media. Koncový podtlakový efektor je na obrázku 1-1.



Obrázek 1- 1 Koncový podtlakový efektor

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Projekt byl rozpracován a částečně navržen již dřívější době. Již navržení části koncového podtlakového efektoru jsou tyto: typ lineárního vedení, typ a rozměry podtlakových úchopných prvků (přísavek), typy krokových motoru, ovládání koncového efektoru má zajistit průmyslový robot firmy ABB – IRB 4400/60.

Úkolem je provést konstrukční úpravy, dokončit výkresovou dokumentaci, provést kontrolní výpočty úchopných podtlakových prvků při manipulaci, navržení řídicích jednotek pro řízení krokových motorů, zkontrolovat dovolené zatížení lineárního vedení, provést počítačovou vizualizaci a zprovoznění koncového efektoru na robotu ABB IRB 4400/60.

2. ÚCHOPNÉ HLAVICE

Úchopné hlavice slouží k bezpečnému držení objektu během manipulace. Z hlediska způsobu vyvození uchopovací síly se rozdělují hlavice na:

Mechanické

- pasivní (pevné a stavitelné opěry, pružné a odpružené čelisti),
- aktivní (s hydromotorem, pneumotorem, elektromotorem, elektromagnetem)

Magnetické

- pasivní (permanentní magnety),
- aktivní (elektromagnety),

Podtlakové

- pasivní (deformační přísavky), (obrázek 2-1),
- aktivní (s vývěvou, ejektorem), (obrázek 2-3),

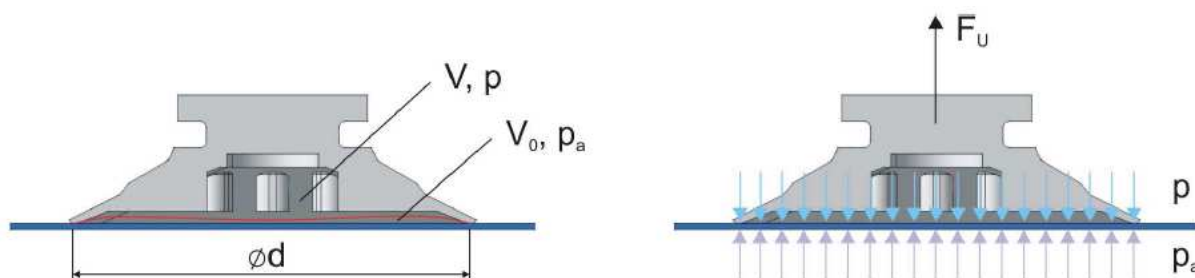
Speciální.

Pro tuto diplomovou práci byly zvoleny úchopné hlavice podtlakové – přísavky.

2.1. Podtlakové úchopné hlavice – přísavky

Podtlakové úchopné hlavice se podle způsobu vyvozování úchopné síly rozdělují na aktivní a pasivní.

U pasivních (pružných deformačních) přísavek není možné ovládat úchopnou sílu, tj. chybí ovládací vstup. Úchopná síla je vyvozená přitlačením uchopovacího prvku (přísavky) na povrch manipulovatelného předmětu (obrázek 2-1).



Obrázek 2- 1 Pasivní (deformační) přísavka

Dochází k deformaci pryžového zvonu přísavky, ke změně plošného objemu přísavky, který se zvětší na konečnou hodnotu. Současně dochází ke změně původního vnitřního objemu V_0 prostoru přísavky na konečný objem V , dochází k poklesu tlaku, neboli vytlačení atmosférického vzduchu. Zpětným pohybem se přísavka vlivem vlastní pružnosti vrací, do mezipolohy a tím vzniká vnitřní podtlaková síla.

U pasivních podtlakových hlavice nastává problém s uvolněním přepravovaného předmětu. Tento problém se řeší vyvozením odtrhovací síly přímo robotem pomocí mechanických prvků (narážek, dorazů) a zabudovaným vyhazovacím mechanismem přímo na konstrukci koncového efektoru, jenž se spouští pomocí programově řízené přídatné funkce – uvolnit.

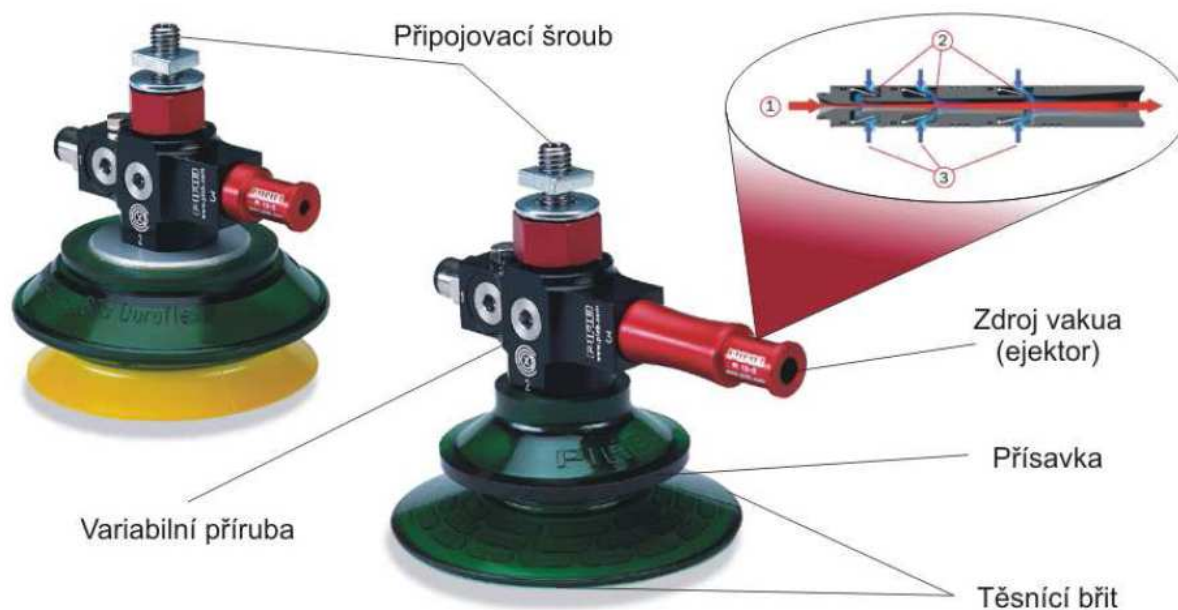
Funkce aktivní podtlakové hlavice je ovládána přímo řízeným vstupem, tzn. prostřednictvím libovolného řídicího systému nebo aktivního členu je ovládána úchopná síla. V dnešní době nachází aktivní podtlakové hlavice celou řadu uplatnění nejen u manipulátorů a robotů, ale mají svou funkci i na výrobních strojích (např. upínací zařízení). V oblasti manipulace se zejména využívá pro změnu polohy nebo orientace v prostoru u plochých materiálů (skleněné, plechové, plastové, dřevěné tabule, atd.). Dále mají velké zastoupení v procesech balení, paletizace, elektrotechnice atd.

Pro vytvoření podtlaku se využívají různé zdroje. Objemové vývěvy jsou různé typy pístových, lamelových, membránových čerpadel, které dodávají kvalitní vakuum. V robotice se často nevyužívají z důvodů vysokých nákladů a složitosti technického řešení. Naopak často využívaným zdrojem vakua jsou proudové ejektorové vývěvy. Funkce ejektoru je postavena na využití principu Venturiho trubice (obrázek 2-2).



Obrázek 2-2 Venturiho trubice (ejektor)

Uchopovacím prvkem je přísavka, elastický pryžový zvon, má převážně talířový tvar, umožňuje se přizpůsobit uchopovanému povrchu a utěsní vnitřní prostor komory přísavky. Po přitlačení manžety je vzduch z komory odsán aktivním způsobem pomocí externího vakuového zdroje (ejektor, vývěva, dmychadlo). Příklad aktivního podtlakového prvku je na obrázku 2-3.



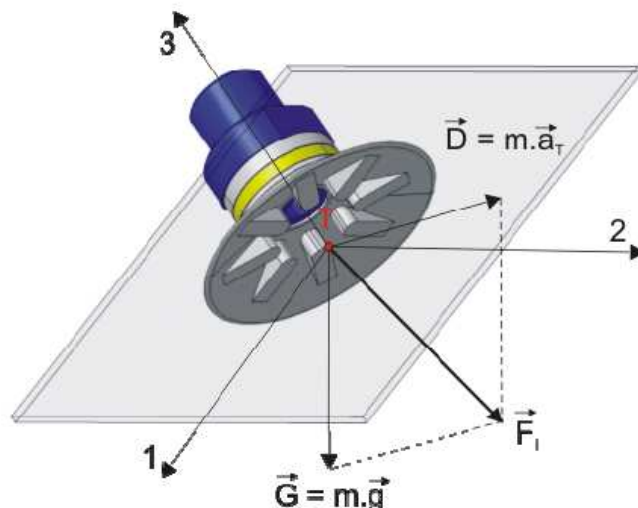
Obrázek 2- 3 Aktivní podtlaková úchopná hlavička

V obou uvedených případech musíme věnovat pozornost kvalitě povrchu a podmínkám provozu, kde budou dané přísavky používány, a podle toho volíme jejich typ (tvar a materiál).

Pro tuto diplomovou práci byly použity aktivní úchopné hlavičky s externím zdrojem podtlaku.

2.2. Silové poměry při držení objektu pomocí přísavky

Na manipulovaný předmět působí dynamické síly, jejichž působiště je ve zvoleném lokálním souřadném systému v ose přísavky (obrázek 2-4).



Obrázek 2-4 Zatížení přísavky

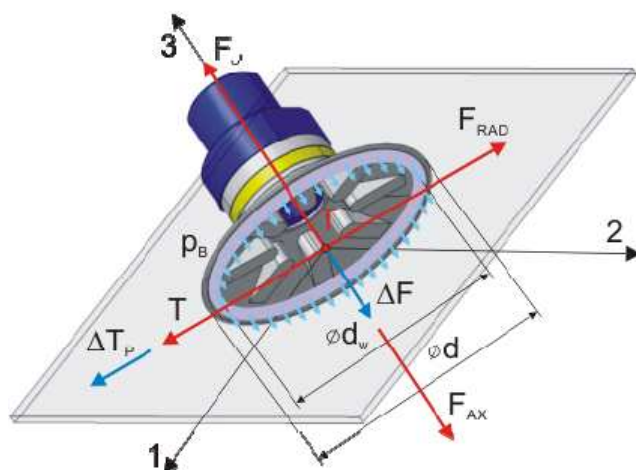
Osy tohoto souřadného systému jsou ztotožněné s hlavními centrálními osami setrvačnosti předmětu. Lze tedy psát:

$$m \cdot \vec{g} + m \cdot \vec{a}_T = \vec{F}_{1i} + \vec{F}_{2i} + \vec{F}_{3i} \quad (2.1)$$

Z hlediska zatěžování přísavky je vhodné situaci poněkud zjednodušit a rozdělit celkové silové zatížení do směru v ose přísavky (axiální zatížení) a ve směru kolmém k ose (radiální zatížení). Tento předpoklad je zaváděn i z důvodu údajů v katalogových listech, kde jsou ve většině případů výrobcem uváděny maximální možné síly v těchto dvou směrech vzhledem k typu, průměru přísavky a hodnotě vakua. Vztah (2.1), je možné přepsat na:

$$F_{AX} = F_{3i} \text{ a } F_{RAD} = \sqrt{F_{1i}^2 + F_{2i}^2} \quad (2.2)$$

Budeme-li analyzovat podmínky rovnováhy v interakci přísavky a objektu manipulace (obrázek 2-5), pak zřejmě platí:



Obrázek 2- 5 Analýza silové rovnováhy

$$T + \Delta T_P - F_{RAD} = 0 \quad (2.3)$$

$$F_U - F_B - F_{AX} - \Delta F = 0 \quad (2.4)$$

Na objekt působí ve směru osy z lokálního souřadného systému vnější síla F_{AX} a síla F_U , která je vyvozena podtlakem Δp působící na činnou plochu přísavky s průměrem d_w . V důsledku přitlaku přísavky p_B působí dále síla F_B a mezi dnem přísavky a objektem se projevuje přídatná síla ΔF . Ve směru osy x pak působí v rovině uchopovací síla F_{RAD} a posouvající síla T na těsnící ploše bříty. Vzhledem k tření na dně přísavky způsobeném silou ΔF lze definovat přídatnou sílu $\Delta T_P = \Delta F \cdot f_K$.

Průměr d je v tomto případě tzv. geometrický průměr přísavky (obrázek 2-1). Pro stav mezní rovnováhy, tj. kdy bude síla ΔF nulová, lze definovat teoretickou úchopnou sílu:

$$F_{U\text{ teor}} = \frac{F_{RAD}}{f_K} + F_{AX} + F_B \quad (2.5)$$

Sílu F_B není jednoduché stanovit a při konkrétních výpočtech by bylo nutné vycházet z experimentálně zajištěných údajů. Ke stanovení velikosti této síly je možné na základě znalostí materiálových vlastností přísavky a okrajových podmínek využít přibližného způsobu výpočtu metodou konečných prvků. Ve většině případů se předpokládá, že $F_B \ll F_{AX}$ a lze ji zanedbat. Pro skutečnou sílu obecně platí vztah (pouze pro centrické uchopení):

$$F_U = k \cdot \left(\frac{F_{RAD}}{f_K} + F_{AX} \right) \quad (2.6)$$

2.3. Koeficient bezpečnosti

Ze vztahu (2.6), by bylo možné pro zvolenou hodnotu stanovit minimální činný, resp. geometrický, průměr přísavky za předpokladu, že vnější zatížení bylo nadefinováno pro nejméně příznivý režim manipulačního cyklu. Je-li dále přesně znám koeficient smykového tření f_K , nejlépe experimentálně, lze navrhnout přísavku pro minimální koeficient bezpečnosti $k=2$. Obecně tedy platí, že pro manipulace s vertikální rovinou uchopení (*radiální zatěžování přísavky*) volíme větší hodnotu koeficientu bezpečnosti než při manipulačních úlohách, při kterých je přísavka zatěžována převážně axiálně. Z tohoto důvodu je vhodné vztah (2.6) přepsat do tvaru:

$$F_U = k' \cdot \frac{F_{RAD}}{f_K} + k'' \cdot F_{AX} \quad (2.7)$$

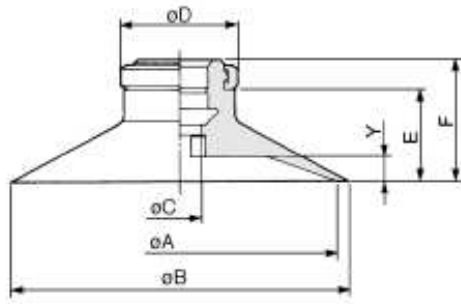
Kde k' (*bezpečnost proti posunutí*) a k'' (*bezpečnost proti odtržení*) jsou příslušné koeficienty bezpečnosti se směrem největšího zatížení přísavky, pro které platí, že k'

$> k''$. Běžné hodnoty koeficientů ve standardních dynamických režimech manipulační úlohy jsou $k' = 6 - 8$ a $k'' = 4 - 5$.

2.4. Stanovení úchopné síly – kontrola navržených přísavek

Při realizaci koncového efektoru byly použity přísavky od firmy SMC Competence in automatik, ZP 40C v počtu 6 kusů (základní parametry jsou uvedeny v tabulce 2-1), (viz příloha 1,2). Předpokládáme, že působíště výslednice uchopovacích sil vyvozených jednotlivými přísavkami bude totožné s těžištěm manipulovaného objektu (předpokládáme horizontální rovinu uchopení, tzn. převážně axiální zatěžování přísavky).

ZP10C□ až 50C□



Typ	Rozměr	øA	øB	øC	øD	E	F	Y
ZP10C□	C10	10	12	4	13	7,7	12	1,7
ZP13C□	C13	13	15	4	13	7,7	12	1,8
ZP16C□	C16	16	18	4	13	8,2	12,5	1,2
ZP20C□	C20	20	23	4	15	9,5	14	1,7
ZP25C□	C25	25	28	4	15	9,5	14	1,8
ZP32C□	C32	32	35	4	15	10	14,5	2,3
ZP40C□	C40	40	43	7	18	13,7	18,5	3,3
ZP50C□	C50	50	53	7	18	14,7	19,5	3,8

Tabulka 2- 1 Základní parametry přísavky

2.4.1. Výpočet zatěžovacích sil

Hmotnost objektu $m = 10$ [kg],

gravitační zrychlení $g = 9,81$ [m/s²],

maximální zrychlení konce ramene robota (viz. Příloha 3)

$$a_{TAX} = 12 \div 14 \text{ [m/s}^2\text{]}, a_{TRAD} = 12 \div 14 \text{ [m/s}^2\text{]}.$$

Při aplikaci koncového efektoru na rameno robota je zřejmé, že robot dosahuje maximálních hodnot zrychlení v jakémkoli směru pohybu a je tedy možno uvažovat $a_{TAX} = a_{TRAD} = a_T$.

Po dosazení do (2.2) získáme maximální axiální zatěžovací sílu na přísavky při využití maximálního zrychlení, jaké je rameno robota schopno dosáhnout

$$F_{AX} = F_{3i} = m \cdot g + m \cdot a_T = m \cdot (g + a_T)$$

$$F_{AX} = 10 \cdot (9,81 + 12) = 218,1[N]$$

Podobně získáme maximální radiální zatěžovací sílu na přísavky (po zjednodušení (2.2) a uvažujeme-li rovněž maximální zrychlení konce ramene robota $a_{TRAD} = 12 \div 14 \text{ m/s}^2$)

$$F_{RAD} = m \cdot a_T = 10 \cdot 14 = 140 \text{ N}.$$

2.4.2. Výpočet potřebné úchopné síly

Po dosazení do (2.7) zjistíme maximální celkovou úchopnou sílu nutnou pro udržení objektu (koeficienty bezpečnosti k' a k'' volíme na horní hranici doporučeného rozsahu – viz. výše), koeficient tření materiálu přísavky NBR a suchého ocelového plechu $f_K = 0,5$ (viz. příloha 4)

$$F_U = k' \cdot \frac{F_{RAD}}{f_K} + k'' \cdot F_{AX} = 8 \cdot \frac{140}{0,5} + 5 \cdot 218,1 = 3330,5 [N].$$

Předpokládáme, že působíště výslednice uchopovacích sil vyvozených jednotlivými přísavkami bude totožné s těžištěm manipulovaného objektu (předpokládáme horizontální rovinu uchopení, tzn. převážně axiální zatěžování přísavky). Síla, které je nutno dosáhnout na jedné přísavce, je pak

$$F_{U1} = \frac{F_U}{6} = \frac{3330,5}{6} = 555 [m].$$

Tuto úchopnou sílu je schopna vyvinout přísavka o průměru

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot \Delta p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 555}{\pi \cdot 8 \cdot 10^4}} = 0,094 [m],$$

kde $\Delta p = 0,8 [bar] = 8 \cdot 10^4 [Pa]$ – tato hodnota podtlaku je běžně dosažitelná např. ejektory, vývěvami apod.

Závěr: Nejbližší vyšší průměr přísavky je pak $d = 100 [mm]$, což je z konstrukčního hlediska nevyhovující. Byl zvolen tedy jiný postup výpočtu a to za účelem zjištění, na jakou hodnotu je potřeba omezit maximální zrychlení koncového ramene průmyslového robota tak, aby byla redukována maximální zatěžující síla na přísavky. Při realizaci koncového efektoru byly použity přísavky ZPT 40CNK20-08-A14 (viz příloha 1,2) o činném průměru $d = 40 [mm]$ v počtu 6 kusů (základní parametry jsou uvedeny v tabulce 2-1).

2.4.3. Výpočet úchopné síly přísavek ZPT 40CNK20-08-A14

Použijeme rovnici pro výpočet celkové úchopné síly (2.7)

$$F_U = k \cdot \frac{F_{RAD}}{f_K} + k'' \cdot F_{AX}.$$

Po dosazení za

$$F_{AX} = m \cdot (g + a_T) \text{ a } F_{RAD} = m \cdot a_T ,$$

získáme

$$F_U = k \cdot \frac{m \cdot a_T}{f_K} + k'' \cdot m \cdot (g + a_T) = 6 \cdot F_{U1} ,$$

kde

$$F_{U1} = \Delta p \cdot S = \Delta p \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 8 \cdot 10^4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 100,5 \text{ [N]},$$

$$F_U = 6 \cdot F_{U1} = 6 \cdot 100,5 = 603 \text{ [N]}.$$

Maximální dovolené zrychlení ramene robota

a) Suchý ocelový plech

Po úpravě pak maximální možné zrychlení ramene robota pro $f_K = 0,5$ (materiál přísavky NBR a suchý ocelový plech) získáme

$$a_T = \frac{F_U - k'' \cdot m \cdot g}{m \left(\frac{k'}{f_K} + k'' \right)} = \frac{603 - 5 \cdot 10 \cdot 9,81}{10 \left(\frac{8}{0,5} + 5 \right)} = 0,53 \text{ [m/s}^2\text{]}.$$

Provedeme kontrolu správnosti výpočtu dosazením do výchozí rovnice pro výpočet celkové úchopné síly

$$\begin{aligned} F_U &= k \cdot \frac{F_{RAD}}{f_K} + k'' \cdot F_{AX} = k \cdot \frac{m \cdot a_T}{f_K} + k'' \cdot m \cdot (g + a_T) \\ &= 8 \cdot \frac{10 \cdot 0,53}{0,5} + 5 \cdot 10 \cdot (9,81 + 0,53) = 601,8 \text{ [N]} \text{ vyhovuje} \end{aligned}$$

b) mastný ocelový plech

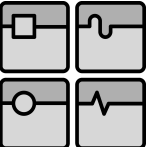
Pro $f_K = 0,1$ (materiál přísavky NBR a mastný ocelový plech) získáme

$$a_T = \frac{F_U - k'' \cdot m \cdot g}{m \left(\frac{k'}{f_K} + k'' \right)} = \frac{603 - 5 \cdot 10 \cdot 9,81}{10 \left(\frac{8}{0,1} + 5 \right)} = 0,13 \text{ [m/s}^2\text{]}.$$

Provedeme kontrolu správnosti výpočtu dosazením do výchozí rovnice pro výpočet celkové úchopné síly

$$\begin{aligned} F_U &= k \cdot \frac{F_{RAD}}{f_K} + k'' \cdot F_{AX} = k \cdot \frac{m \cdot a_T}{f_K} + k'' \cdot m \cdot (g + a_T) \\ &= 8 \cdot \frac{10 \cdot 0,13}{0,1} + 5 \cdot 10 \cdot (9,81 + 0,13) = 601 \text{ [N]} - \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

Závěr: Z konstrukčního hlediska je nutno použít přísavky o činném průměru $d = 40 \text{ [mm]}$. Tím je snížena celková úchopná síla přísavek a je třeba přistoupit

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

k redukci dynamického zatížení manipulovaného objektu snížením zrychlení na konci ramene průmyslového robota v místě uchycení koncového efektoru. Dovolené hodnoty zrychlení jsou při manipulaci s materiálem se suchým povrchem $a_T = 0,53[m/s^2]$, u materiálů s mastným povrchem je hodnota dovoleného zrychlení $a_T = 0,13[m/s^2]$.

3. LINEÁRNÍ VEDENÍ

Lineární vedení je celek, který se skládá z pojezdového vodícího profilu pro kuličky či ložiska a jednoho nebo více pojezdových vozíků.

Tato vedení nacházejí celou řadu uplatnění v různých odvětvích průmyslu (např.: potravinářský, lékařský, strojní, stavební, automobilový atd.). Ve strojírenství se s nimi setkáme u řady strojních zařízení (např.: obráběcí stroje, automatizované montážní linky, manipulační zařízení) a u řady dalších aplikací vyžadujících lineární pohyb a přesné nastavení polohy.

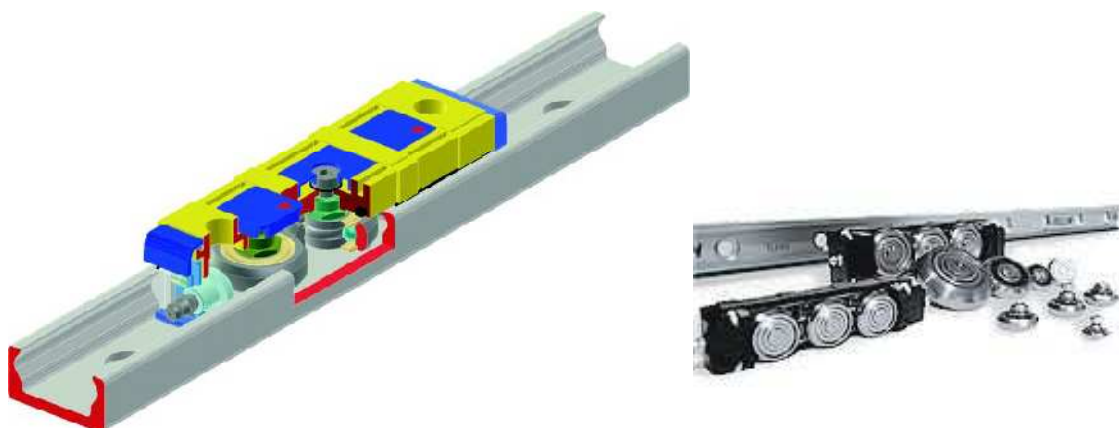
Lineární vedení jsou vyrobena z ocelových profilů tažených za studena, některé kolejnice malých průřezů jsou vyrobeny z hliníku, na které se upevní pojezdové plochy. Způsob tvarování za studena dodává materiálu odolnost proti opotřebení. Většina těchto tvarových nebo pojezdových kolejnic je broušena a povrchově upravována, dle typu provozu a požadavků zákazníka. Výrobci lineárních vedení nabízí širokou škálu vedení. Hlavní rozdíly jsou v typu pojezdových kolejnic (s vnitřními či vnějšími vodícími plochami), dále typu pojezdových elementů umístěných v pojezdových vozících (kuličky, válečky, valivá ložiska).

3.1. Charakteristika lineárního vedení Compact Rail

Při navrhování lineárního vedení v této práci je použito vedení Compact Rail od firmy ROLLON (viz příloha 5). Toto vedení je charakterizováno:

- vysokou přesností polohování,
- dlouhou životností,
- vysokou rychlostí pohybu,
- nízkou hlučností,
- schopností provozu bez domazávání,
- bezúdržbovým provozem,
- odolností proti nečistotám,
- snadnou montáží,
- flexibilitou systému pro různé aplikace.

Jednoduchý, přesný, lineární systém, extrémně jednoduchá a lehká montáž dokonce i na neobrobené povrchy. Možnost ochrany vnitřní vodící drážky. Compact Rail je tichý a disponuje vysokou provozní rychlostí (9 m/s). Konstrukční provedení je na obrázku 1-1. Většina lineárních vedení má původ v těžkých aplikacích pro obráběcí stroje a proto mají tendenci být pomalá. Valivá hnízda u běžných lineárních vedení jsou pomalá, hlučná a výrobně nákladná. Při použití ve znečištěných a kontaminovaných prostředích lineární vedení Compact Rail nevyžadují na rozdíl od běžných lineárních vedení krytování pomocí měchů či jiných složitých zařízení. Integrované stěrače zajišťují dokonalou čistotu vnitřních částí kalených kolejnic nutnou pro dokonalý bezporuchový provoz, dále snižují nároky na nutnou údržbu na minimum.

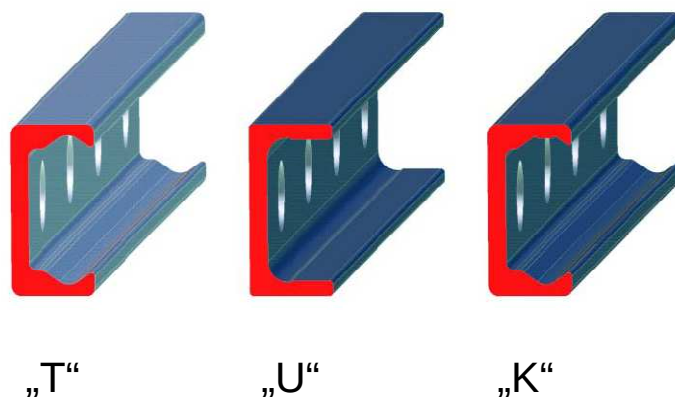


Obrázek 3- 1 Lineární vedení Compact Rail od firmy ROLLON

Systém mazání umožňuje dosáhnout 2 miliony cyklů bez nutnosti domazávání do doby, než je nutno provést doplnění maziva. Compact Rail je jednoduchý na montáž a seřízení. Seřízení předpětí bezvúlového uložení se děje jednoduše pomocí předepsaného momentu, jímž se určená pojezdová ložiska dotlačí do pojezdové dráhy či kolejnice, dosahujeme buď hladkého a lehkého pohybu při malém předpětí, anebo pro dosažení velké tuhosti při větším předpětí.

3.1.1. Pojezdové kolejnice

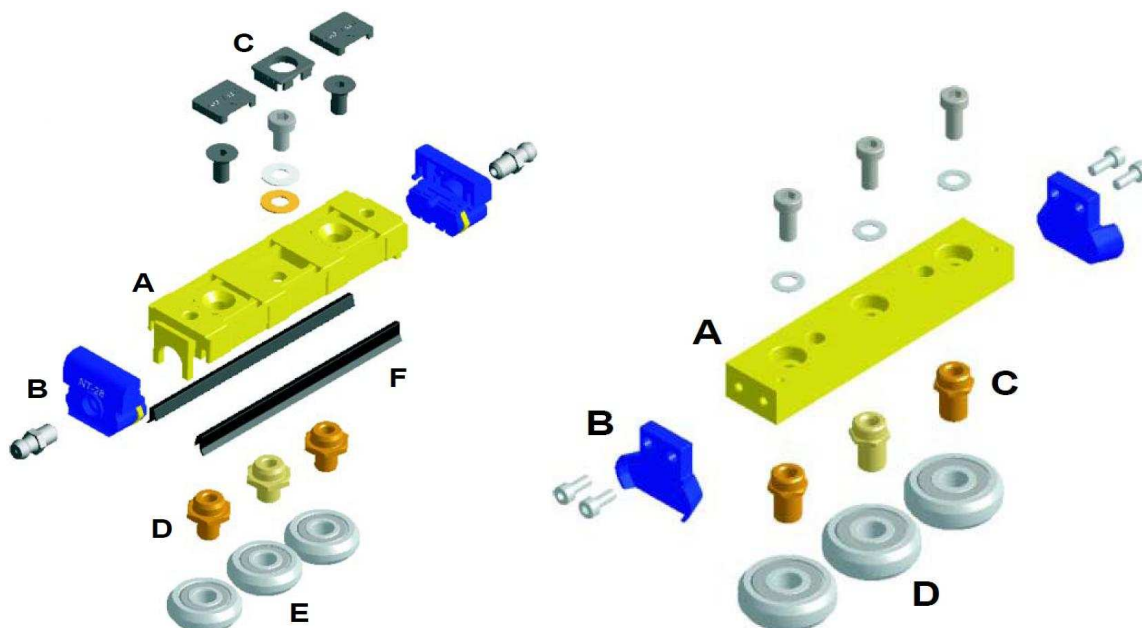
Pojezdové kolejnice jsou vyrobeny z uhlíkové indukčně kalené ložiskové oceli chráněné elektrolytickým zinkovým povlakem dle ISO 2081. Funkční vedení kolejnic jsou honována. Vyrábí se ve třech konstrukčních provedeních T, U, K (obrázek 3-2).



Obrázek 3- 2 Typy pojezdových kolejnic

3.1.2. Pohybové ústrojí lineárního vedení – jezdec (saně)

Konstrukční provedení jezdců se stěrači drážky typu NT a CSW je na obrázku 3-3. Jezdec je pohyblivý člen lineárního vedení. Jezdci se pohybují ve vybroušené drážce v kolejnici. Tělo jezdců je pozinkováno dle ISO 2081. Samomazné kluzné kontakty dostupné pro NT řady saní neustále aplikuje tenkou vrstvou maziva do systému. Toto konstantní mazání zaručuje 2 miliony cyklů, před další údržbou nebo nahrazením opotřebovaného komponentu. Tato technologie mazání nepřidává žádnou délku k pojezdovým jezdcům, z toho plyne, že rozměry pojezdového ústrojí zůstávají stejné.



Obrázek 3- 3 Konstrukční provedení jezdců typu NT a CSW

Popis typu NT:

- A: tělo jezdce – hliníková slitina litá pod tlakem
- B: hlava - polyester, stěrač – upravený polyamid
- C: kryt – polyester
- D: spojka – ocel
- E: ložiska – 100Cr6 (52100) – ocelové
- F: boční stěrač – Nitril pryž

Popis typu CSW:

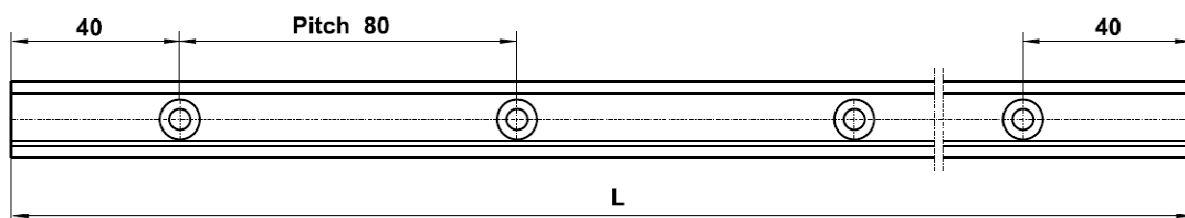
- A: tělo jezdce – ocelové
- B: stěrač – upravený polyamid
- C: spojka – ocel
- D: ložiska – 100Cr6 (52100) – ocelové

3.2. TECHNICKÉ PARAMETRY LINEÁRNÍHO VEDENÍ Compact Rail

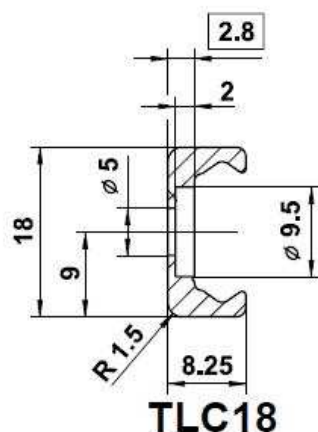
3.2.1. Technické parametry pojezdové kolejnice

Pro tuto práci byl zvolen typ kolejnice T. Základní rozměry a charakteristika kolejnice:

- Označení kolejnice TLC 18 (obrázek 3-4),
- Řez kolejnice a její rozměry (obrázek 3-5),



Obrázek 3- 4 Pojezdová kolejnice typu TLC18

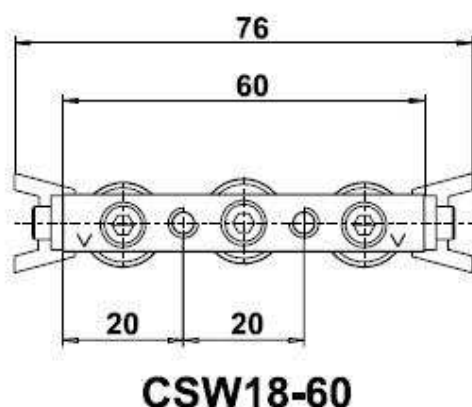


Obrázek 3- 5 Řez pojezdovou kolejnici typu TLC18

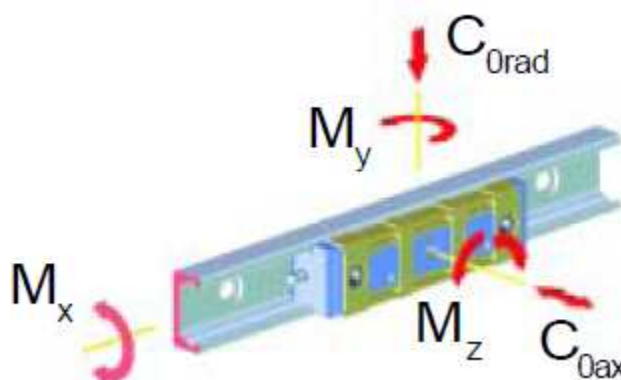
3.2.2. Technické parametry jezdce (saní)

Pro zvolený typ kolejnice typu TLC18 byl zvolen jezdec typu CSW. V tabulce 3-1, jsou uvedeny technické parametry zvoleného jezdce a maximální dovolené statické a momentové zatížení.

- typ pojezdového jezdce CSW18-60 (obrázek 3-6),
- schéma statického a momentového působení na jezdce (obrázek 3-7),



Obrázek 3- 6 Jezdec typu CSW18-60



Obrázek 3- 7 Schéma statického a momentového působení na jezdce

Slider type	No. of rollers	C_{0rad} [N]	C_{0ax} [N]	M_x [Nm]	M_y [Nm]	M_z [Nm]
NT18	3	820	260	1.5	4.7	8.2
CSW18-60	3	820	260	1.5	4.7	8.2
CSW18-80	4	820	300	2.8	7.0	24.7
CSW18-100	5	975	360	2.8	9.4	24.7
CSW18-120	6	975	440	3.3	11.8	41.1

Tabulka 3- 1 Technické parametry a maximální silové zatížení

3.3. Výpočet lineárního vedení

3.3.1. Třecí odpor

Síla, potřebná k pohybu jezdce je závislá na koeficientu tření kladek a na tření stěračů a postranních těsnění.

Konečná úprava povrchu pojezdové dráhy a kladek umožňuje dosáhnout velmi malého statického koeficientu tření s hodnotou velmi podobnou dynamickému koeficientu tření. Stěrače a postranní vedení jsou zkonstruovány za účelem dosažení vysoké úrovně ochrany bez kompromisů vzhledem ke kvalitě kluzných vlastností.

Odolnost proti tření systému COMPACT RAIL závisí také na vnějších faktorech, jako jsou mazání, předepnutí a výskyt zatěžovacích momentů. V následující tabulce 3-2 jsou uvedeny koeficienty tření ke každému typu jezdce (pro CSW a CDW není součinitel μ_s uvažován).

Typ jezdce	μ (tření kladek)	μ_w (tření kluzáků)	μ_s (tření postranních těsnění)
Velikost 18	0,003	$\frac{\ln(P)}{0,98 \cdot P}$	0,0015
Velikost 28	0,003	$\frac{\ln(P)}{0,06 \cdot P}$	$\frac{\ln(P)}{0,15 \cdot P}$
Velikost 43	0,005		
Velikost 63	0,006		

Pozn.: zatížení P je v [g].

Tabulka 3- 2 Koeficienty tření

3.3.2. Vypočet tlačné síly

S využitím údajů z tabulky nahoře a pomocí následující rovnice 3.1 je možno vypočítat hodnotu minimální síly nezbytné k pohybu kluzáku:

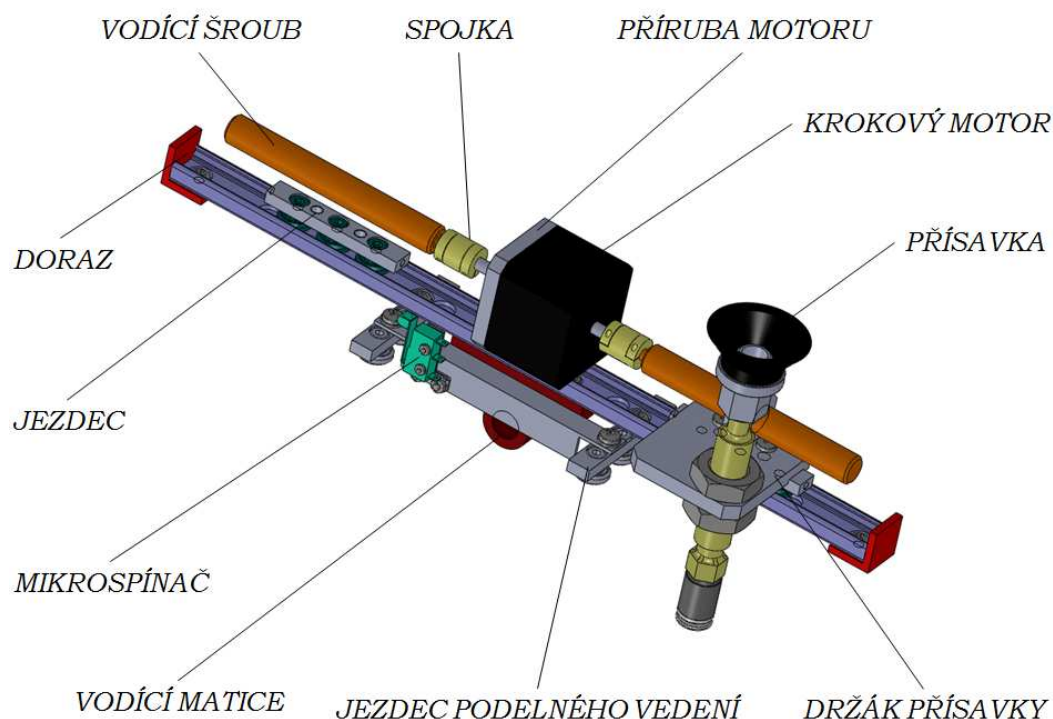
$$F = (\mu + \mu_w + \mu_s) \cdot P \cdot 9,81 \quad (3.1)$$

kde μ_w a μ_s , musí být kalkulovány podle rovnic z tabulky 3-2.

Podrobnější informace viz příloha.

3.4. Kontrolní výpočet lineárního vedení

Výpočet se provádí na lineární vedení, respektivě na pojezdovém ústrojí čili jezdci. Na jezdce působí osově a momentové síly (obrázek 3-7).



Obrázek 3- 8 Zatěžující prvky lineárního vedení

3.4.1. Výpočet zatěžující hmotnosti

Zatěžující hmotností je míněna hmotnost uchopovacího ústrojí. Toto uchopovací ústrojí se skládá z úchopného podtlakového prvku – přísavky, pohybového šroubu, držáku přísavky atd., viz obrázek 3-8.

Celková hmotnost uchopovacího ústrojí

$$m_C = m_P + m_D + m_S \quad (3.2),$$

kde

$m_p = 0,169 [kg]$ - hmotnost přísavky - (*katalogový list – viz příloha 1,2*)

$m_D = 0,15 [kg]$ - držák přísavky, materiál bronz

$m_\xi = 0,09 [kg]$ - pohybový šroub M12, $p=1,75$, materiál ocel

$m_c = 0,169 + 0,15 + 0,09 = 0,409 [kg]$

3.4.2. Zatěžovací síla vyvozená uchopovacím ústrojím

Zatěžovací síla se vypočítá z celkové hmotnosti uchopovacího ústrojí m_c :

$$F_Z = m_c \cdot g \quad (3.3)$$

$$F_Z = 0,409 \cdot 9,81$$

$$F_Z = 4,01[N]$$

3.4.3. Výpočet třecího odporu v lineárním vedení

Výpočtu třecího odporu je popsán v kapitole 3.3. Tato rovnice je z tabulky 3-2.

$$\mu_w = \frac{\ln m_c}{0,98 \cdot m_c} = \frac{\ln 409}{0,98 \cdot 409} = 0,015$$

3.4.4. Výpočet tlačné síly

Výpočtu tlačné síly je popsán v kapitole 3.3.

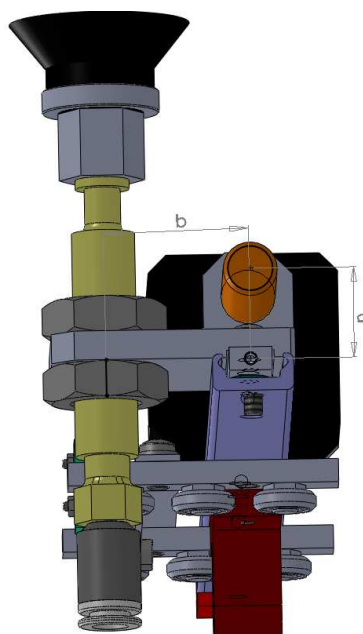
$$F = (\mu + \mu_w + \mu_s) \cdot m_c \cdot 9,81$$

$$F = (0,03 + 0,015 + 0,015) \cdot 0,409 \cdot 9,81$$

$$F = 0,24[N]$$

3.4.5. Výpočet krouticích momentů M_X a M_Y

Při výpočtu krouticích momentu je zapotřebí znát zatěžující sílu a rameno její působnosti. Tyto ramena působnosti jsou zobrazena na obrázku 3-9.



Obrázek 3- 9 Příčný pojezd

Numerické hodnoty ramen a , b :

$$a_1 = 0,0175 \text{ [m]}$$

$$b = 0,032 \text{ [m]}$$

Základní podmínkou výpočtu je že, vypočtená hodnota nesmí být větší než dovolené hodnoty zatížení jezdce udávané výrobcem. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3-1.

Výpočet krouticího momentu působící na rameni a_1 , mezi pohybovým šroubem a jezdce (obrázek 2-9).

$$M_{YP} \leq M_Y \quad (3.4)$$

$$M_{YP} = F \cdot a_1 \quad (3.5)$$

$$M_{YP} = 0,24 \cdot 0,0175$$

$$M_{YP} = 0,0042 \text{ [Nm]} - \text{vyhovuje}$$

Výpočet krouticího momentu působící na rameni b mezi osou přísavky a jezdce (obrázek 3-9).

$$M_{XP} \leq M_X \quad (3.6)$$

$$M_{XP} = F_Z \cdot b \quad (3.7)$$

$$M_{XP} = 4,1 \cdot 0,032$$

$$M_{XP} = 0,131[Nm] \text{ - vyhovuje}$$

3.4.6. Axiální zatížení

Maximální hmotnost, která působí na jezdce u lineárního vedení v axiálním směru C_{0AX} (obrázek 3-7). Součet hmotností jednotlivých částí příčného pojezdového vedení (obrázek 3-9), a pracovního zatížení je roven 4,32kg. Tato hmotnost se rovnoměrně rozkládá na oba jezdce podélného lineárního vedení, proto zatížení jednoho jezdce je 2,16kg. Kontrola axiálního zatížení jednoho jezdce:

$$C_{0AX} = m_J \cdot g \quad (3.8)$$

$$C_{0AX} = 2,16 \cdot 9,81$$

$$C_{0AX} = 21,18[N] \text{ - vyhovuje}$$

4. KROKOVÉ MOTORY

4.1. Úvod

Elektrický pohon lze definovat jako soustavu vytvořenou vhodnou kombinací elektrotechnických zařízení pro elektromechanickou přeměnu energie a pro tvorbu, přenos a zpracování signálů řídících tuto elektromechanickou přeměnu. Vstupní signály jsou určeny obsluhou nebo nadřazeným řídícím, regulačním nebo automatizačním členem. Výstupní veličiny jsou parametry mechanického pohybu.

Krokové motory (KM) jsou zpravidla používány jako výkonové prvky ve strukturách elektrických pohonů pro nastavování polohy a rychlosti bez zpětné vazby. Jejich oblast použití sahá od jednoduchých pohybů od bodu k bodu přes rychlé časově krátké posuvy (v textilním oboru, počítačích a kancelářských zařízeních) až k přesným dvou a tří osovým polohovacím robotům.

Vyznačují se rychlým uváděním do provozu bez náročného nastavování parametrů regulátorů s relativní nezávislostí na zatížení a připojených momentech setrvačnosti. Pracují s minimální údržbou po celou dobu své životnosti. Charakteristickou vlastností motoru je otáčení hřídele po krocích. Jedna otáčka je složena z pevně definovaného počtu kroků, který odpovídá konstrukci a způsobu řízení. Nemluvíme zde tedy o rychlostech otáčení (otáčkách), ale o frekvenci krokování. Motory využívají svůj maximální moment již od nejnižší rychlosti, což je jednou z jejich specifických vlastností.

4.2. Rozdělení krokových motorů

Krokové motorky je možné podle jejich konstrukčního provedení rozdělit do tří základních skupin:

- Krokové motory s pasivním rotorem, označované také jako reluktanční, reakční, s proměnnou reluktancí. Jsou to motory s vyjádřenými póly na statoru i rotoru, využívající výrazně rozdílné magnetické reluktance (vodivosti) v příčné i podélné ose. Podmínkou funkce je rozdílný počet pólů (zubů) na statoru a rotoru.

- Krokové motory s aktivním rotorem, jejichž rotor je tvořen permanentním magnetem (odtud i název aktivní). Podle uspořádání pólů magnetu odlišujeme dvě skupiny těchto motorů, s radiálně polarizovaným nebo s axiálně polarizovaným permanentním magnetem. Mají rozdílný počet pólů na statoru i rotoru, přičemž rotorové póly jsou tvořeny permanentními magnety.
- Krokové motory hybridní – slučují konstrukční principy obou předchozích typů

4.3. Princip a popis funkce krokových motorů

Základním principem KM je pohyb rotoru o jeden krok. Krok je definován jako mechanická odezva rotoru KM na jeden řídicí impuls řídicí jednotky, při níž vykoná rotor pohyb z výchozí magnetické klidové polohy do nejbližší magnetické klidové polohy. Změna polohy se dosahuje změnou napájení vinutí jednotlivých fází statoru. Po sepnutí určité fáze se rotor snaží natočit tak, aby výsledný magnetický odpor byl minimální. U nezátíženého motoru se tedy sesouhlasí poloha zubů statoru a rotoru. V této poloze má motor nulový statický vazební moment a při vychýlení vnější zátěží moment stroje narůstá a maximální hodnota statického vazebního momentu odpovídá natočení o čtvrtinu kroku. Jedno mechanické otočení hřídele KM o 360° představuje určitý počet kroků, jejichž počet je dán konstrukcí motoru a způsobem řízení. Řídicí kmitočet je definován jako kmitočet řídicího signálu v Hz nebo v kHz. Na obrázku 4-1, jsou zobrazeny hlavní konstrukční části krokového motoru.



Obrázek 4- 1 Stator a rotor krokového motoru

Počet otáček je definován:

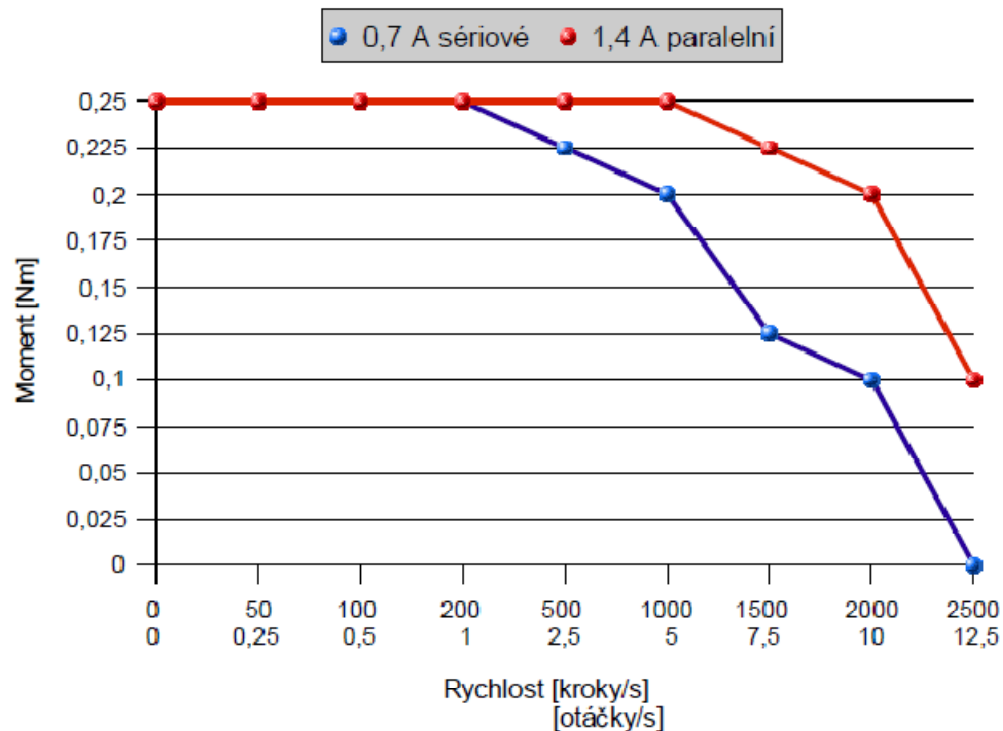
$$n = \frac{60 \cdot f_z \cdot \alpha}{360} \quad (4.1)$$

4.4. Řízení krokových motorů

Nejjednodušším způsobem řízení KM je spínání buzení pro celé kroky. V tomto režimu je vždy napájeno jen vinutí jedné fáze statoru a to jmenovitým proudem kladné nebo záporné polarity. Při tomto režimu je počet kroků na otáčku dán vztahem:

$$z = k \cdot p \cdot m \quad (4.2)$$

Se zvýšenými nároky na přesnost pohybu se dnes používá systém řízení mikrokrokování (MK), který odstraňuje nežádoucí jevy řízení po celých krocích. Nejpoužívanějším typem MK v řídících jednotkách je postupné zvyšování respektive snižování budícího proudu pro generování rotujícího magnetického pole pomocí trojfázové sinusové funkce. Napájení sinusovým proudem vede ke snížení obsahu vyšších harmonických, snížení ztrát, snížení hlučnosti a rovnoměrnějšímu momentu (obrázek 4-2). Čím je více změn na periodu (sinusovky), tím může být frekvence krokování větší.

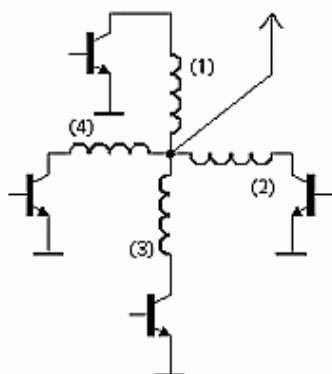


Obrázek 4- 2 Momentová charakteristika krokových motorů rady SX17

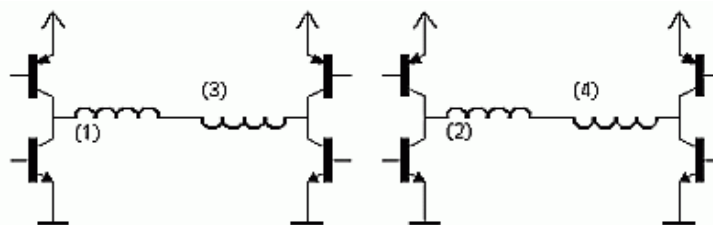
4.4.1. Unipolární versus bipolární řízení

Při unipolárním řízení prochází proud v jednom okamžiku právě jednou cívkou. Motor s tímto buzením má nejmenší odběr, ale také poskytuje nejmenší krouticí moment. Výhodou tohoto řešení je jednoduché zapojení řídicí elektroniky. Schéma řízení (obrázek 4-3).

Při bipolárním řízení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu poskytuje větší krouticí moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby. Pro řízení jsou zapotřebí 2 H-můstky: pro každou větev jeden. To ve výsledku znamená jednak složitost zapojení a větší počet kontrolních linek (jejich počet lze zredukovat pomocí přídatné logiky). Schéma řešení (obrázek 4-4).



Obrázek 4- 3 Schéma unipolárního řízení,



Obrázek 4- 4 Schéma bipolárního řízení

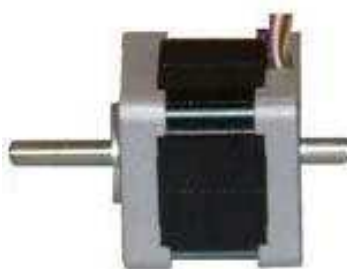
4.4.2. Jednofázové versus dvoufázové řízení

Jednofázové řízení znamená, že magnetické pole generuje pouze jedna cívka (případně dvojice cívek při bipolárním buzení).

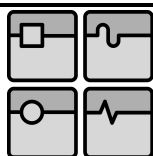
Při dvoufázovém řízení generují shodně orientované magnetické pole vždy dvě sousední cívky. Daní za vyšší krouticí moment je dvojnásobná spotřeba oproti řízení jednofázovému.

4.5. Technické a rozměrové parametry krokového motoru

V této práci je využito hybridních dvoufázových krokových motorů řady SX17-402-D. S využitím moderní technologie se vyznačují vysokými momenty při zachování malých rozměrů. Standardní délka kroku je $1,8^\circ$ s možností dalšího elektronického zmenšení. Krokového motoru je na obrázek 4-5. Veškeré potřebné technické informace jsou uvedeny v tabulce 4-1. Momentová charakteristika je na obrázku 4-2.



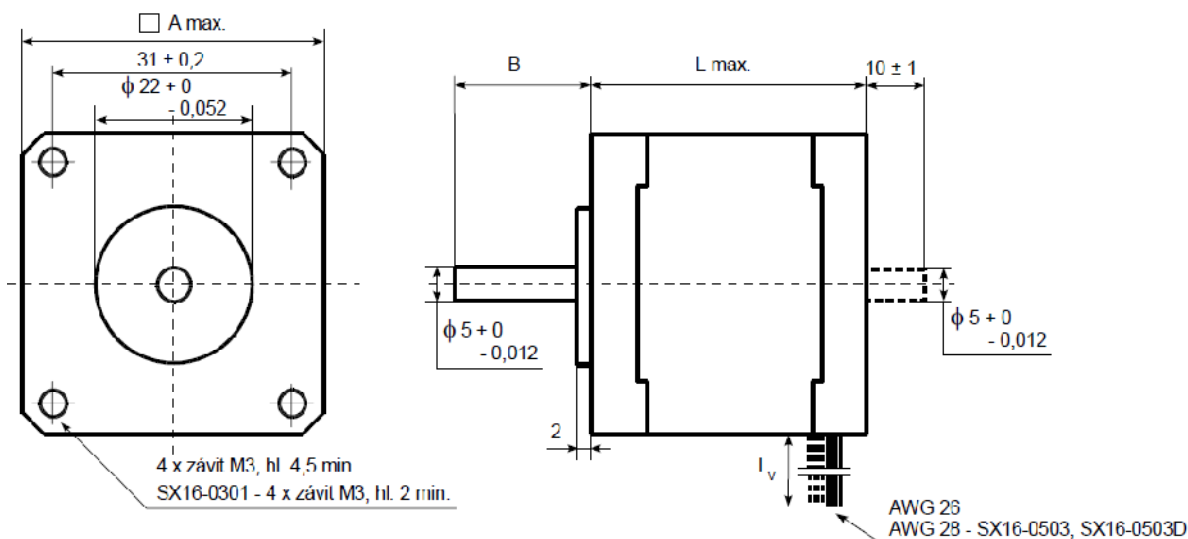
Obrázek 4- 5 Krokový motor řady SX 17-402-D

**Řada SX - příruba NEMA17**

Typ	Statický moment (Nm) bipol. napájení, celokrok, jmen. proud v obou fázích	Jmenovitý proud (A) sériové / paralelní zapojení	Indukčnost (mH) sériové / paralelní zapojení	Odpor (Ω) sériové / paralelní zapojení	Zbytkový moment (Nm)	Moment setrvačnosti rotoru (gcm ²)	Hmotnost (kg)
SX16-0301	0,11	0,35 / -	30 / -	26 / -	0,005	11	0,12
SX16-0402	0,21	0,4 / -	32 / -	30 / -	0,012	20	0,18
SX16-0402NEW	0,21	0,4 / -	32 / -	30 / -	0,012	20	0,18
SX16-0502	0,23	0,5 / -	14 / -	14,4 / -	0,018	24	0,2
SX16-0503 / SX16-0503D	0,3	0,5 / 1	40 / 10	24 / 6	0,018	24	0,24
SX17-0401	0,17	0,4 / -	36 / -	24 / -	0,02	20	0,15
SX17-0402-09	0,22	0,42 / -	38,4 / -	20 / -	0,02	35	0,22
SX17-0502	0,25	0,5 / -	30 / -	15 / -	0,008	27	0,2
SX17-1705	0,5	1,7 / 3,4	3,2 / 0,8	2,4 / 0,6	0,026	68	0,35

Tabulka 4- 1 Technické parametry

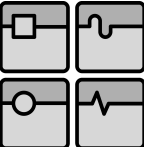
V tabulce 4-2, jsou uvedeny rozměrové parametry krokového motoru, a technický náčrtek je na obrázku 4-6.



Obrázek 4- 6 Technický náčrtek krokového motoru

Typ	φ Hřídele	□ A max.	Délka L max.	B	Vývody - počet / délka L _v
SX16-0301	5	39,3	20	24 ± 0,5	6 / 500
SX16-0402	5	39,3	33	18 ± 0,5	4 / 1 200
SX16-0402NEW	5	39,3	32	24 ± 1	4 / 1 000
SX16-0502	5	39,3	37	24 ± 0,5	6 / 600
SX16-0503 / SX16-0503D	5	39,3	38	24 ± 1	8 / 500
SX17-0401	5	42,3	25	24 ± 1	4 / 300
SX17-0402-09	5	42,3	33	24 ± 1	4 / 300
SX17-0502	5	38,8	37	24 ± 0,5	6 / 300
SX17-1705	5	42,3	48	24 ± 0,5	8 / 300

Tabulka 4- 2 Rozměrové parametry krokového motoru

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

5. SPOJKY

5.1. Úvod

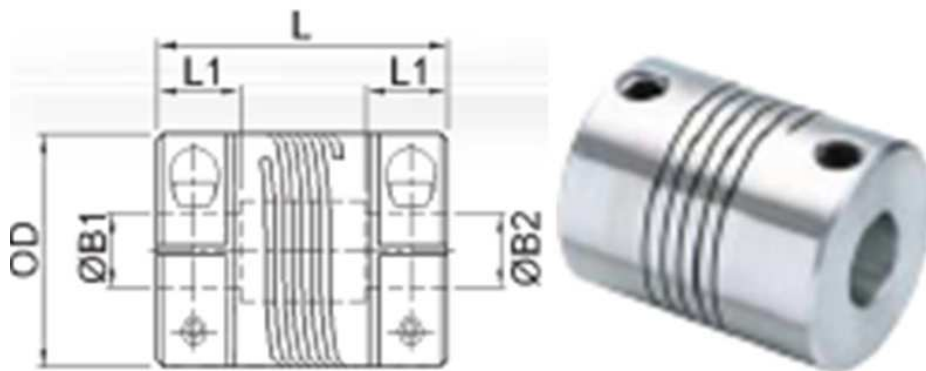
Spojky jsou strojní součásti, které spojují obvykle hnací a hnanou hřídel a slouží k přenosu krouticího momentu. Podle druhu použití dělíme hřídelové spojky na pevné (tuhé, pružné, pružinové, ozubené, atd.), které přenášejí stálý krouticí moment mezi hřídeli a na spojky pohyblivé (např. elektromagnetická, odstředivá...) které umožňují rozpojení mezi dvěma hřídeli a tím přerušení přenosu krouticího momentu. Významnou součástí strojů jsou hřídelové spojky přetěžovací (pojistné, bezpečnostní), které zajistí odpojení nadměrného krouticího momentu a setrvačných hmot, pokud se překročí krouticí moment, který je předepsán pro daný stroj. Přetěžovací (pojistné, bezpečnostní) spojky jsou velmi důležitou součástí pohonů, jelikož mohou ušetřit významné náklady na opravy poškozených komponentů pohonu v případě přetížení.

Dále hřídelové spojky dělíme na pružné a tuhé. Pružné spojky se používají většinou na spojení dieselmotorů s olejovými čerpadly, kompresory, převodovkami atd. Naproti tomu tuhé spojky (které samozřejmě také kompenzují hřídelové výchyly) se používají na spojení elektromotorů s hnanými prvky.

K přenosu krouticího momentu pro hřídelové spojky se používá mnoho různých způsobů a součástí, např.: pryže o různé tvrdosti, ocelové lamely, vinuté pružiny, ozubení atd.

5.2. Typ volené spojky

Ze široké škály firem na trhu, nabízející pružné hřídelové spojky, byla zvolena firma HUCO ENGINEERING (GB). Spojky jsou vyráběny v kvalitě ISO 9001-2000. Z nábytky (viz příloha) byla zvolena spojka typu S-Beam. Jedná se o svěrné provedení spojení s hřídelí (obrázek 5-1), přesné označení a technické parametry spojky jsou uvedeny v tabulce 5-1.



Obrázek 5- 1 Technický náčrtek a fotografie spojky S-Beam

Použitý typ je 821.16. je vyrobena z nerezové oceli. Více je uvedeno v katalogovém listě (viz příloha 6).

Size	Set Screw Style	Clamp Style	Dimensions						Fasteners				
	Order Code		(I.D.)	O/A Length L	Bore Depth L1	Min B1	Min B2	Max B1 & B2	Mass kg x 10-3	Set Screw	Cap Screw	Torque (Nm)	A/V (mm)
16	820.16	-	15.9	20	6.0	3	4	6.35	25.6	M4	-	1.05	2.0
	-	821.16		22	6.5				26.0	-	M2.5	0.68	2.0
19	820.19	-	19.1	20	6.0	4	4.76	8	35.8	M4	-	1.05	2.0
	-	821.19		28	8.0				47.7	-	M2.5	0.68	2.0
25	820.25	-	25.4	24	7.5	5	6	10	78	M5	-	2.10	2.5
	-	821.25		30	10.0				91	-	M3	1.20	2.5
32	820.32	-	31.8	30	10.0	6	8	16	152	M6	-	3.75	3.0
	-	821.32		38	12.0				186	-	M4	2.85	3.0
38	820.38	-	38.1	50	16.0	8	12	19	365	M6	-	3.75	3.0
	-	821.38		50	16.0				350	-	M5	5.85	4.0
50	820.50	-	50.8	54	18.0	10	16	26	680	M8	-	9.00	4.0
	-	821.50		54	18.0				660	-	M5	9.75	5.0

Tabulka 5- 1 Technických parametrů spojky S-Beam

Návrh spojky byl proveden s ohledem na kompenzaci uhlových odchylek mezi hnanými a hnacími hřídeli, axiální posuvy mezi hřídelemi a zabezpečovat soustrojí dynamickým tlumením rázů a kmitů v torzní soustavě při proměnném krouticím momentu. Dalším důležitým faktorem byla hodnota krouticího momentu působící z hnané hřídele krokového motoru (tabulka 4-1) na spojku (tabulka 5-1), kde je nutné, aby hodnota hnané hřídel nebyla větší než hodnota u spojky udávána výrobcem.

5.3. Kontrolní výpočet spojky

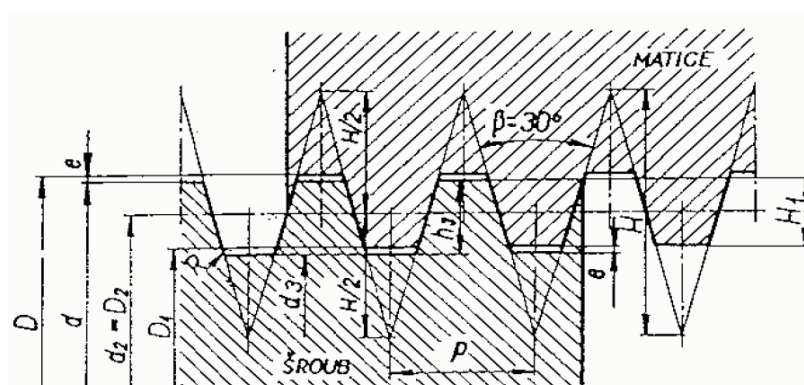
Kontrolní výpočet spojky spočívá v porovnání krouticího momentu vyvozeného na hnaném pohybovém šroubu při polohování uchopovacího ústrojí bez pracovního

zatížení a maximálním dovoleným krouticím momentu zvolené spojky. Nesmí dojít k překročení dovoleného zatížení udávaného výrobcem.

5.3.1. Síla tření v závitu

Působí tečně na středním průměru závitu, určí se pomocí osově síly ve šroubu a úhlu stoupání závitu a úhlu tření (obrázek 5-2).

- úhel stoupání M12 je $p_z=1,75\text{mm}$,
- střední průměr M12 je $d_2=10,863\text{mm}$,
- vrcholový úhel závitu $\alpha_n=60^\circ$
- třecí koeficient $f_z=0,18$ (viz příloha 14)
- tlačná síla $F=0,24\text{N}$ (viz kapitola 2.4.4.)



Obrázek 5-2 Náčrtek pohybového šroubu a matice

$$F_{TZ} = F \cdot \tan(\gamma + \varphi) \quad (5.1)$$

$$F_{TZ} = 0,16 \cdot \tan(2^\circ 56' + 11^\circ 44')$$

$$F_{TZ} = 0,0628[\text{Nm}]$$

- úhel stoupání na středním průměru pohybového šroubu M12

$$\tan \gamma = \frac{P_z}{\pi \cdot d_2} \quad (5.2)$$

$$\tan \gamma = \frac{1,75}{\pi \cdot 10,863}$$

$$\gamma = \tan^{-1} 0,0512 \Rightarrow 2^\circ 56'$$

- úhel tření

$$\tan \varphi = \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha_n}{2}} \quad (5.3)$$

$$\tan \varphi = \frac{0,18}{\cos \frac{60}{2}}$$

$$\varphi = \tan^{-1} 0,208$$

$$\varphi = 11^\circ 44'$$

5.3.2. Moment tření v závitu

Tímto výpočtem je určen třecí moment, který je způsoben třením mezi pohybovým šroubem a maticí držáku podtlakového úchopného prvku – přísavky (obrázek 3-8).

$$M_{TZ} \leq M_S \quad (5.4)$$

$$M_{TZ} = F_{TZ} \cdot \frac{d_2}{2} \quad (5.5)$$

$$M_{TZ} = 0,0628 \cdot \frac{0,010863}{2}$$

$$M_{TZ} = 0,00034[Nm] - \text{vyhovuje}$$

Krouticí moment působící na spojku vyvolaný polohováním uchopovacího ústrojí je velmi malý. Nedochází k překročení dovoleného zatížení spojky.

6. NÁVRH ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ

6.1. Úvod

Při návrhu řízení krokových motorů, bylo uvažováno se třemi variantami způsobu řízení. V této kapitole budou popsány jednotlivé varianty a důvody jejich nezrealizování či realizování v této diplomové práci.

6.2. Varianta 1

Toto řízení vzniklo za spolupráce s firmou MICROCON. Tato firma navrhla na základě poskytnutých informací (typu krokových motorů) set pro jejich řízení. Jejich řešení spočívalo ve 4ks řídících jednotek CD20M a programovacím rozhraní pro vývoj aplikací Inmotion PC Utilities.

6.2.1. Popis jednotlivých komponentů – CD20M, Inmotion PC Utilities

Na desce CD20M o rozměrech 160x100x30 mm jsou všechny komponenty pro pohon krokového motoru. Deska obsahuje jak řídicí část realizovanou kontrolerem M1486E, tak i výkonový zesilovač s pulsní regulací proudu a s možností mikrokrokování. Ke kompletnímu pohonu je třeba kromě desky CD20M už pouze krokový motor (obrázek 6-1), (viz příloha 7).



Obrázek 6- 1 Řídící jednotka CD20M

Amplitudu výstupního proudu je možné nastavit na desce pomocí spínačů DIP od 0,4 A až do hodnoty 2 A na fázi v osmi stupních. Při poloze spínačů rozepnuto je možné ovládat výstupní proud logickými úrovněmi, například z výstupů kontroleru M1486. Je tedy možné nastavit pro různé pohyby či prodlevy a různé hodnoty

proudu. Deska může být přímo spojena s počítačem kompatibilním s IBM PC nebo jiným nadřazeným systémem vybaveným seriovým rozhraním RS232.

Deska je programovatelná, t.j. vykonává činnost dle nahraného povelového souboru. Desku je možno provozovat samostatně, tzn. k počítači se připojí pouze jednou za účelem nahrání povelového souboru, a pak pracuje samostatně řízena stavy uživatelských vstupů. Obvod M1486E obsahuje EEPROM paměť, ve které jsou povely uchovány i po vypnutí napájení. V případě potřeby je však možné změnit povelový soubor, desku znovu připojit k počítači a přeprogramovat.

Na desce je také k dispozici univerzální prototypová plocha umožňující realizaci případného specifického hardware pro danou aplikaci přímo na desce. Deska umožňuje velmi rychlou realizaci prototypu poháněného stroje či zařízení s možností pružného přizpůsobení případným změnám požadavků pouhou změnou povelového souboru.

6.2.2. Kontroler M1486 (obrázek 6-2)

Je řídicím orgánem řídicí jednotky CD20M. Některé z vlastností programovatelného procesoru jsou následující:

- Programovatelný index a sequencer v jednom obvodu
- Rychlost až do 40 000 kroků/s
- Optimalizace využití momentu krokového motoru
- Délka dráhy až na 16 milionů kroků
- Vnitřní paměť umožňuje, aby přeprogramované povelové soubory byly prováděny OFF-line
- 21 universálních stupňů/výstupů
- Programovatelná maximální rychlost, start/stop rychlost, zrychlení, tvar proudu při mikrokrokování
- Sériový vstup, až 16 kontrolerů může být připojeno na jeden port

(viz příloha 8).



Obrázek 6- 2 Kontroler M1486

6.2.3. Inmotion PC Utilities

Pro vytváření, editování a ověřování uživatelského programu kontroleru M1486 s využitím nabídek v okénkách je určen program Inmotion PC Utilities. Program kontroluje formát a parametry každého příkazu před vysláním a komunikuje s kontrolery řady M1486 prostřednictvím sériového rozhraní RS232 (COM1 nebo COM2).

Více informací o daných produktech a jejich technických parametrech viz příloha 9.

6.2.4. Ekonomický návrh varianty

<i>Název položky</i>	<i>Kusy</i>	<i>Cena za kus bez DPH</i>	<i>Cena celkem bez DPH</i>
Řídicí jednotka CD20M	4	3640,-	14560,-
Inmotion PC Utilities	1	1540,-	1540,-

Tabulka 6- 1 Ceny použitých komponentů

6.2.5. Celkové zhodnocení varianty 1

Tato varianta je nejjednodušším návrhem řízení využitelným pro tuto práci. Její výhodou je jednoduché zapojení a snadné a srozumitelné komunikační rozhraní včetně jednoduchého naprogramování a nahrání příkazů do daného kontroloru. Toto řešení je finančně nejnáročnější z uváděných tří variant. Implementace rozměrově poněkud větších řídicích jednotek by vyžadovala složitější zásah do stávající konstrukce efektoru. Tato varianta nebyla z důvodů omezeného ekonomického rozpočtu určeného pro tuto práci schválena, a proto nebyla konstrukčně zpracována a tedy ani fyzicky realizována.

6.3. Varianta 2

Tento návrh na řízení krokových motorů vznikl za konzultace s vedoucím diplomové práce Ing. Radimem Blechou, Ph.D, a Ing. Františkem Bradačem, Ph.D. Rozdíl mezi první a druhou variantou je ve zvoleném typu řídicích jednotek.

6.3.1. Řídící jednotka

Řídící jednotka typ ESMC-02 (obrázek 5-3) byla vybrána a zakoupena z internetového obchodu na adrese www.elektrozoneuk.com.



Obrázek 6- 3 Řídící jednotka ESMC-02

6.3.2. Technické parametry řídící jednotky ESMC-02

Jedná se o jednoduchou řídící jednotku pro bipolární krokové motory. Základní parametry:

- Bipolární výstup pracuje s 4,6 a 8 vodiči hybridních krokových motorů.
- Mikrokrokování je volitelné podle DIP spínače.
- Na desce je generátor impulzů s nastavitelnou frekvencí.
- Nastavitelné množství kroků ve směru a proti směru hodinových ručiček.
- Provozní napětí: 7,5V až 30V DC.
- Vhodné pro robotické řízení a automatizaci.
- Tepelná ochrana.
- Ø3,5mm, montážní otvory.
- Rozměry řídící jednotky: L=80, Z=49, H=15mm.

Pro detailnější popis řídící jednotky viz příloha 10.

ESM-02 je možné zapojit do tří MODŮ, které jsou uvedeny v manuálu (viz příloha). Problémem těchto jednotek je v jejich řízení. Nemají programovatelný kontroler (integrováný hodnot) jako řídící jednotky od firmy MICROCON v první variantě (6.2.1.). Aby bylo možno ovládat tyto řídící jednotky je zapotřebí, aby byly nastaveny na MOD 3. Tento MOD umožňuje zapojení na ovládací kontroler (integrováný obvod).

6.3.3. Způsob ovládání řídících jednotek ESMC-02

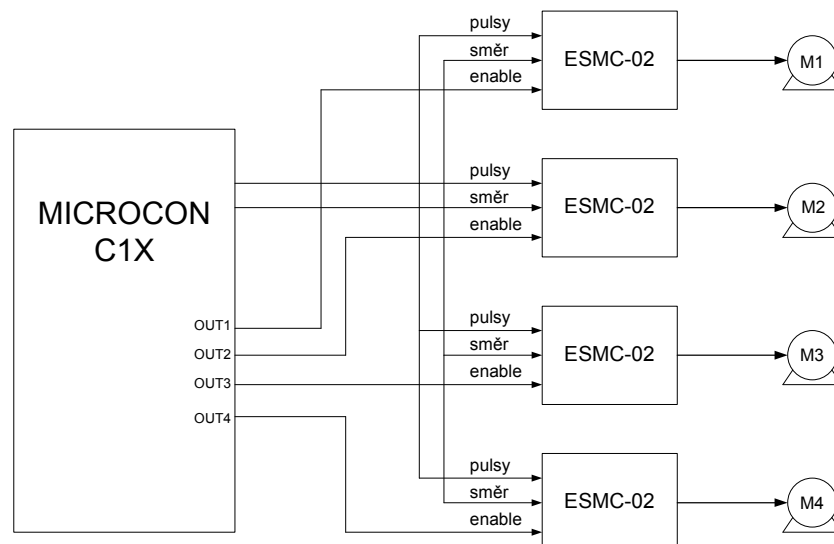
Tento problém je možné řešit napojením na ovládací řídící jednotku typu C1X, jenž má mikrokontroler od firmy MICROCON. Do řídící jednotky C1X se nahraje program, který bude řídit motory podle hodnoty signálu na vstupech C1X.

Jednotka C1X je určena pro použití jako programovatelné řízení krokového motoru s výstupem Pulsy, Směr a Disable. Obsahuje také malý programovatelný automat pro univerzální řídící aplikace.

- Jednotka velmi malých rozměrů 105 x 57 x 25 mm včetně krytu a držáku pro uchycení na DIN lištu.
- Uživatelské vstupy a výstupy (vyvedeny na zasouvací pružinové svorkovnice)
- Zvýšená ochrana proti rušení
- Signalizaci stavu vstupů, výstupů a napájení LED diodami
- Pouze jedno napájecí napětí v rozsahu od 12 VDC do 48 VDC, interní spínaný zdroj pro napájení řídících obvodů.

(viz příloha 11).

6.3.4. Blokové schéma zapojení



Obrázek 6- 4 Blokové schéma zapojení řídicích jednotek ESMC-02

6.3.5. Ekonomické návrh varianty

Název položky	Kusy	Cena za kus s DPH	Cena celkem s DPH
Řídicí jednotka ESMC-02	4	1051,-	4205,-
Řídicí jednotka C1X	1	3950,-	3950,-
Inmotion PC Utilities	1	1540,-	1540,-

Tabulka 6- 2 Cena použitých komponentů

6.3.6. Celkové zhodnocení varianty 2

Tímto řešením jsme docílili ovládání řídicích jednotek krokových motorů typu ESMC-02. Pro vytvoření programové aplikace se využívá Inmotion PC Utilities (6.2.3.). Naprogramované hodnoty polohování jednotlivých motorů jsou nahrány do mikrokontroleru M1486 (obrázek 6-2), umístěného v řídicí jednotce C1X. Z finančního hlediska není možné tuto variantu realizovat.

6.4. Varianta 3

Tato varianta návrhu řízení krokových motorů vychází co se týká použitých řídicích jednotek z varianty 2. Jsou zde rovněž použity řídicí jednotky krokových motorů ESMC-02. Technické parametry ESMC-02 jsou uvedeny v kapitole 6.3.2. Hlavní odlišností této varianty je způsob ovládání řídicích jednotek krokových motorů ESMC-02. Řídicí jednotka C1X firmy Microcon je nahrazena řídicí jednotkou realizovanou svépomocí na základě mikrokontroleru PIC.

6.4.1. Návrh ovládání řídicích jednotek ESMC-02

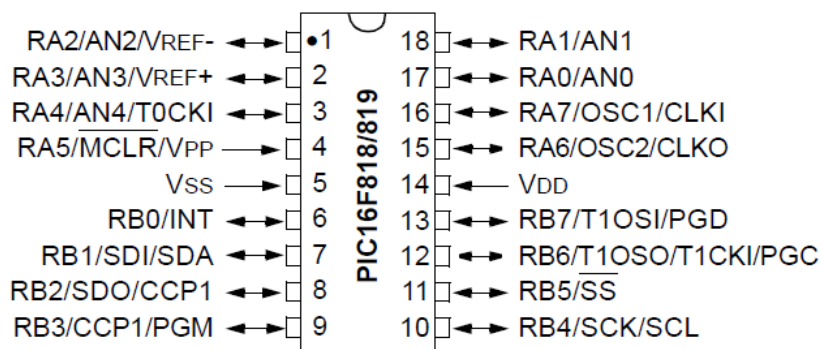
Pro ovládání řídicích jednotek krokových motorů ESMC-02 je zapotřebí mikrokontroleru (integrováný obvod) PIC, jedná se o programovatelnou polovodičovou součástku. Jsou založeny na Harvardské architektuře, tj. paměti pro data a pro program jsou navzájem oddělené. Programová paměť a datová paměť nemají stejně dlouhé datové slovo. Tyto programovatelné součástky jsou určeny pro nejrůznější kontrolní a řídicí úlohy v průmyslových oborech, pro realizaci měřicích a řídicích systémů atd. Díky své univerzálnosti, malé velikosti, nízké ceně a spotřebě nacházejí své uplatnění ve velkém množství aplikací. Lze je nalézt v mnoha současných elektronických zařízeních. Klíčová specifikace mikrokontrolérů PIC:

- oddělené paměti programu a dat (Harvardská architektura)
- malá množství instrukcí pevné délky (RISC)
- vykonání většiny instrukcí v jediném cyklu (4 hodinové takty)
- jediný klíčový registr (W) přes který jsou realizovány všechny aritmetické a logické operace
- rozsáhlá banka datových registrů
- hardwarový zásobník
- paměťově mapované periferie a konfigurační registry
- volně přístupný programový čítač mapovaný do datové paměti

6.4.2. PIC 16F818-I/P

V této variantě byl zvolen PIC 16F818-I/P (obrázek 6-5). PIC16F818-I/P je jednočipový osmibitový mikropočítač od firmy Microchip programovatelný v jazyce symbolických adres assembler pomocí nástroje MPLAB od téže firmy. Mikropočítač má 16 pinů volitelných jako vstupních i výstupních ve dvou portech pomocí registru TRISx. Mikropočítač trvá vykonání jedné instrukce programu 200ns.

18-Pin PDIP, SOIC



Obrázek 6- 5 PIC 16F818-I/P

Technické parametry PIC čipu:

- 16 I/O pinů,
- 18 pin DIP pouzdro
- 200ns cas provedení jedné instrukce,
- 35 instrukcí programová paměť
- 1792 Bytes Flash paměť,
- 1024x14 Words Flash paměť,
- EEPROM 128 bytes,
- RAM 128 Bytes,
- Interní. oscilátor s 8 volitelnými frekvencemi,
- 5 x 10bit A/D převodník,
- SPI, I2C,
- 3 časovače+WDT,

(viz příloha 12).

Popis pinů mikrokontroleru PIC 16F818-I/P (obrázek 6-5):

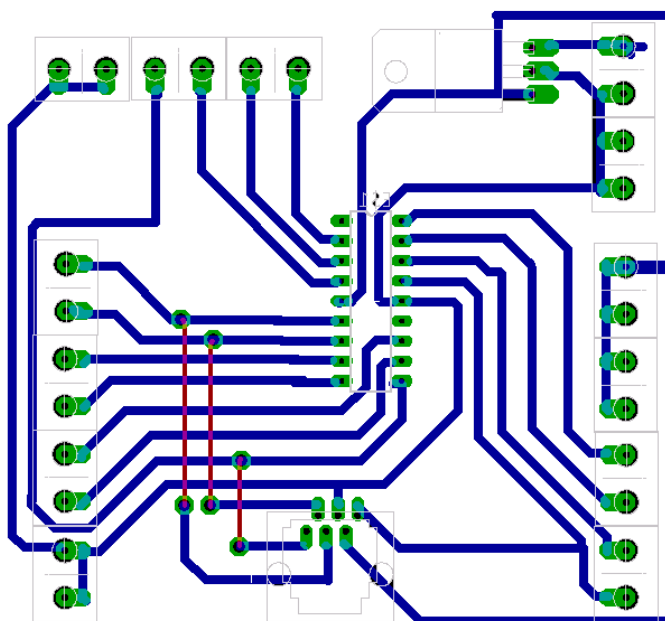
6.4.4. Návrh a popis řídicího plošného spoje

Pro návrh řídicího plošného spoj pro řízení řídicích jednotek krokových motorů je zapotřebí následující elektrosoučástky:

Název položky	Označení	Kusy
Plošný spoj	CU-TA006-čistá 240x300	1
Telefonní zásuvka	WEBP 6-6 180	1
Integrovaný obvod – mikrokontroler	PIC 16F818-I/P	1
Integrovaný obvod – stabilizátor napětí	7805-STM	1
Patice pro IO 18 PIN	Sokl 18	1
Svorkovnicový rozvaděč	ARK500/2EX	9

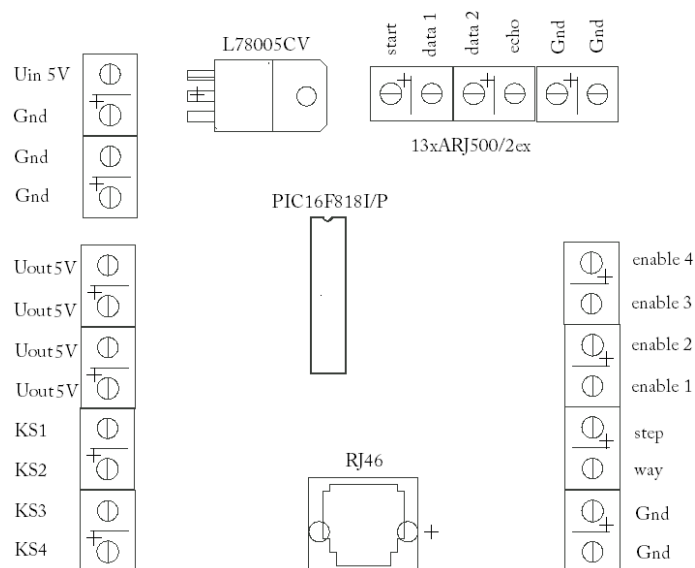
Tabulka 6- 3 Seznam elektrosoučástek

Pro kompletní zhotovení je zapotřebí naletovat jednotlivé součástky na plošný spoj (CU-TA006), a vyleptat mezi nimi dané spoje pomocí kyseliny. Tímto postupem docílíme vytvoření potřebného programovatelně řídicího komponentu pro ovládání řídicích jednotek ESMC-02 krokových motorů. Telefonní konektor slouží k připojení řídicí jednotky k programátoru pro nahrání souboru s naprogramovanými polohami uchopovacího ústrojí.



Obrázek 6- 7 Návrh plošného spoje

6.4.5. Popis vstupů a výstupů navržené řídicí jednotky



Obrázek 6- 8 Popis vstupů a výstupů řídicí jednotky

Vytvořený program, který je nahrán do kontroleru PICu viz příloha 13.

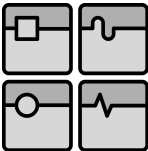
6.4.6. Ekonomické návrh varianty

Název položky	Označení	Kusy	Cena za kus s DPH	Cena celkem s DPH
Plošný spoj	CU-TA006-čistá 240x300	1	168,-	168,-
Telefonní zásuvka	WEBP 6-6 180	1	4,-	4,-
Integrovaný obvod	PIC 16F818-I/P	1	58,-	116,-
Integrovaný obvod	7805-STM	1	7,50,-	7,50,-
Patice pro IO 18 PIN	Sokl 18	1	1,90,-	3,80,-
Svorkovnicový rozvaděč	ARK500/2EX	9	3,-	27,-

Tabulka 6- 4 Cena použitých komponentů

6.4.7. Vyhodnocení varianty 3

Varianta 3 byla určena k realizaci z důvodu nejnižších pořizovacích nákladů. Elektronickým obvodem zhotoveným na navrženém plošném spoji mělo být docíleno

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ovládání řídicích jednotek krokových motorů typu ESMC-02. K nahrávání polohového souboru do kontroleru PIC 16F818-I/P je využita telefonní zásuvka RJ46. Návrh zapojení a následná realizace řídicího obvodu na bázi kontroleru PIC 16F818-I/P byla provedena za spolupráce s externími spolupracovníky autora diplomové práce. Do data odevzdání diplomové práce nebylo dosaženo spolehlivého odladění navrženého obvodu tak, aby bylo možno jej implementovat do koncového efektoru umístěného na rameni robota.

7. ROBOT ABB – IRB 4400/60

ABB je světová špička v technologii pro automatizaci a energetiku, která zvyšuje konkurenceschopnost a zároveň snižuje dopad na životní prostředí. ABB je vedoucím dodavatelem průmyslových robotů, automatizovaných výrobních systémů a s tím spojených služeb. Robot IRB 4400/60 je vyobrazen na obrázku 7-1. Hlavním cílem je pomáhat zvýšit produktivitu, kvalitu výrobků. Mezi hlavní vlastnosti patří:

- Rychlí – krátká doba cyklu
- Přesný – stálá opakovaná kvalita dílů
- Universální – flexibilní integrace a výroba
- Robustní – pro náročné výrobní prostředí

Tento robot je značně universální a je schopen vykonávat řadu technologických operací:

- Obloukové svařování
- Montáž
- Řezání/odhrotování
- Čištění/stříkání
- Lepení/těsnění
- Broušení/těsnění
- Obsluha strojů
- Manipulace s materiálem (téma této diplomové práce)
- Balení
- Paletizace

7.1. Výtažek z technických parametrů

- opakovatelnost polohování 0.07 - 0.1 mm
- dráhová opakovatelnost v 1 m/s 0.25 - 0.4 mm
- maximální zrychlení 12 – 14 m/s²
- napájecí napětí 200 – 600V, 50/60Hz

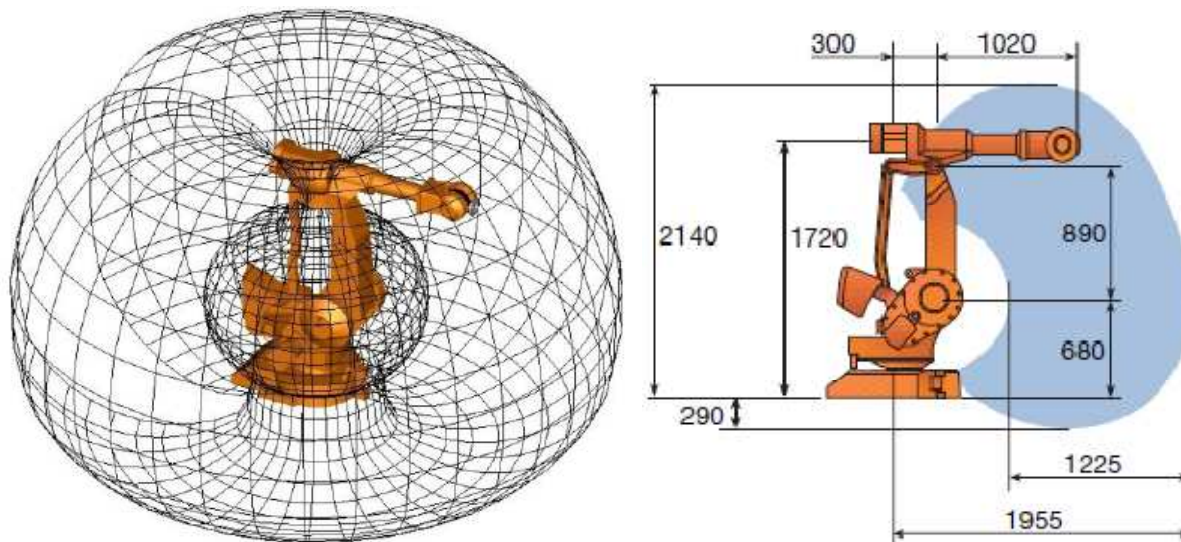
 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 63
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- transformovaný výkon 7,8kVA
- teplotní rozhraní pracovního prostoru 5 - 45°C
- relativní vlhkost vzduchu max. 95%
- nouzové zastavení a bezpečnostní funkce



Obrázek 7- 1 Průmyslový robot ABB – IRB 4400/60

Znázorněný pracovní prostor průmyslového robota ABB-IRB 4400/60 (obrázek 7-2).



Obrázek 7- 2 Vykreslený pracovní prostor IRB 4400/60

Kompletní technický popis viz příloha 3.

8. ZÁVĚR

8.1. 3D model koncového efektoru

Cílem diplomové práce bylo dokončit již částečně rozpracovaný projekt koncového podtlakového efektoru. Součástí řešení bylo dokončení 3D modelu, vytvoření výkresové dokumentace včetně nezbytných kontrolních výpočtů a počítačová simulace koncového podtlakového efektoru při polohování přísavek do pracovní (uchopovací) polohy.

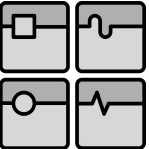
Byly provedeny kontrolní výpočty následujících konstrukčních skupin:

a) Přísavky

Byla provedena početní kontrola již dříve zvolených přísavek výpočtem uchopovací síly mezi přísavkami a přepravovanými předměty při manipulaci v místě uchycení koncového efektoru s průmyslovým robotem ABB IRB 4400/60. Z rozměrového hlediska byly použity přísavky o činném průměru $d = 40 \text{ [mm]}$. Tyto přísavky jsou schopny vyvinout přísavnou sílu, pomocí které dokážou udržet manipulovaný objekt. Tato síla však není tak velká, aby umožnila robotu dosahovat při manipulaci s objektem maximálních hodnot zrychlení konce ramene, kterých je robot schopen dosahovat, ale je třeba přistoupit k redukci dynamického zatížení manipulovaného objektu snížením zrychlení na konci ramene průmyslového robota v místě uchycení podtlakového koncového efektoru. Dovolené hodnoty zrychlení jsou při manipulaci s materiálem se suchým povrchem dostačující ($a_T = 0,53 \text{ [m/s}^2\text{]}$), avšak u materiálů s mastným povrchem (což je při manipulaci s plechy běžná podmínka) může dojít k neúměrnému prodloužení manipulačních časů (jelikož $a_T = 0,13 \text{ [m/s}^2\text{]}$). V tom případě bude třeba osadit koncový efektor přísavkami s větším průměrem, avšak s ohledem zvláště na koncepci a rozměrové možnosti celého zařízení.

b) Lineární vedení

Bylo rovněž zkontrolováno dovolené zatížení působící na lineární vedení (jezdce). Kontrolními výpočty bylo prokázáno, že typ zvoleného lineárního vedení je z hlediska dimenzování (pro maximální pracovní zatížení 10kg) správný.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 66
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

c) Spojka

Byla navržena pružná hřídelová spojky mezi hnacím hřídelem zadaného krokového motoru a hnaným pohybovým šroubem uchopovacího ústrojí a byla provedena kontrola dovoleného krouticího momentu spojky. Z vypočtených hodnot je zřejmé, že navržená spojka vyhovuje. Nedochází k překročení maximálního zatížení spojky (tabulka 5-1), jak ze strany hnacího hřídele krokového motoru, tak ze strany působícího zatížení pohybovým šroubu s uchopovacím ústrojím.

8.2. Návrh řízení použitých krokových motorů

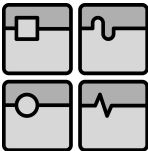
Dalším cílem diplomové práce bylo provést návrh řízení pro použité krokové motory. Při návrhu řízení bylo postupně uvažováno se třemi variantami řízení krokových motorů:

Varianta 1

Varianta 1, při jejímž návrhu bylo uvažováno použití kompletního řídicího systému firmy Microcon, je nejjednodušším návrhem řízení z hlediska realizace i z hlediska nároků na programování. Její výhodou je jednoduché zapojení a snadné a srozumitelné komunikační rozhraní co se týká naprogramování a nahrání povelů do integrovaného kontroloru. Toto řešení je finančně nejnáročnější (tabulka 6-1). Proto tato varianta nebyla realizována.

Varianta 2

Při návrhu varianty 2 řízení krokových motorů bylo využito mikrokontroleru M1486 (obrázek 6-2), umístěného v řídicí jednotce C1X dodávaného rovněž firmou Microcon. Pro řízení krokových motorů byly zvoleny řídicí jednotky ESMC-02. Tyto jednotky byly zvoleny z důvodu nízké ceny a zakoupeny v internetovém obchodu. Pro vytvoření programové aplikace se využívá Inmotion PC Utilities (6.2.1.). Rovněž tato varianta řízení krokových motorů přináší snadnou a spolehlivou realizaci a solidní podmínky programování. Autor diplomové práce považuje tuto variantu řízení krokových motorů za nejvhodnější jak z hlediska technických parametrů, tak z hlediska ekonomického. Tato varianta však nebyla realizována z finančních důvodů podobně jako varianta 1.

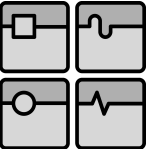
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Varianta 3

Ve variantě 3 bylo využito k ovládání řídicích jednotek krokových motorů ESMC-02 (shodných s jednotkami použitými ve variantě 2) integrovaného obvodu typu PIC. Tento integrovaný obvod je programovatelnou polovodičovou součástí, která umožňuje nahrání povelového souboru do své paměti a plní tím funkci kontroleru. Tato varianta byla pro realizaci v rámci této diplomové práce schválena z důvodu nejnižších finančních nákladů na její realizaci. Schválené řešení však sebou přináší nejenom problémy při konkrétní realizaci elektronického obvodu a jeho následného oživení, ale je i z hlediska komfortu pozdějšího programování a aplikace v praktickém provozu nejméně vhodná. Autor diplomové práce byl nucen při vývoji zapojení elektronického obvodu pro zapojení čipu PIC 16F818-I/P využít výpomoci externích spolupracovníků - studentů, jelikož nedisponuje potřebnými znalostmi z toho důvodu, že daná odborná problematika (návrh zapojení, fyzická realizace, následné oživení a vytváření programu) nebyla náplní jeho studia a překračuje rámec jeho možností a rovněž rámec zadání této diplomové práce. Do data odevzdání této diplomové práce se nepodařilo spolehlivě zprovoznit elektronický řídicí obvod na bázi čipu PIC 16F818-I/P tak, aby bylo možno dokončit oživení koncového efektoru. Díky tomu, že byla pro tuto diplomovou práci po společné konzultaci s odpovědnými pedagogy zvolena nejméně finančně náročná varianta řešení realizace řízení krokových motorů, která sebou však přinesla předem neočekávané komplikace zvláště při oživení, došlo k tomu, že z časových důvodů nebylo možno dokončit vývoj výše uvedeného elektronického obvodu.

8.3. Oživení koncového efektoru, simulace polohování přísavek, zprovoznění efektoru s robotem ABB IRB 4400

Tyto cíle diplomové práce nebyly splněny. Tím, že se nepodařilo dokončit vývoj elektronického obvodu určeného k řízení krokových motorů v potřebném termínu, nebylo možné koncový efektor oživit a následně provést požadovanou simulaci polohování přísavek včetně oživení efektoru společně s robotem. Je nutno však vzít v úvahu, že tento nezdar byl způsoben tím, že byla zvolena nejlevnější varianta řízení krokových motorů (toto rozhodnutí bylo odůvodněno omezenými finančními prostředky poskytnutými k realizaci diplomové práce a autor diplomové práce je

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 68
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

nemohl ovlivnit). Důsledné lpění na co nejnižších pořizovacích nákladech je sporné uvědomíme-li si, že takto úsporně konstruované zařízení má být instalováno na špičkového robota ABB IRB 4400, jehož cena zcela jistě nebyla malá a úspora několika tisíc korun, jíž se dosáhlo při volbě varianty 3, je v porovnání s cenou robota zanedbatelná. V případě, byla-li by zvolena pro realizaci řízení krokových motorů varianta 1 nebo 2, lze předpokládat, že by ke zdržení nedošlo a zadání diplomové práce by bylo splněno beze zbytku. Stojí tedy za zvážení, zdali bylo správné brát jako jediné a rozhodující kritérium při volbě řídicích jednotek kritérium nejnižší pořizovací ceny. Tento efekt okamžité úspory nákladů ztrácí následně svůj přínos již tím, že je třeba vynaložit další nemalou energii a tím i náklady na vývoj elektronického obvodu nutného pro řízení krokových motorů (přestože se autor diplomové práce pokusil o zvládnutí tohoto vývoje prakticky svépomocí). Rovněž technická úroveň, komfort programování/ovládání a také provozní spolehlivost případný servis takto vytvořeného obvodu bude zcela jistě nižší v porovnání s řídicími jednotkami vyvinutými firmou, která má s konstrukcí těchto obvodů mnohaleté zkušenosti.

Nesplnění cílů diplomové práce týkajících se oživení koncového efektoru, simulace polohování přísavek a zprovoznění efektoru s robotem ABB IRB nebylo způsobeno špatnou a nekvalitní prací autora diplomové práce. Bylo to zapříčiněno tím, že se vyskytly nepředpokládané problémy při oživení desky tištěných spojů řídicí jednotky (tato činnost ostatně nebyla součástí zadání diplomové práce a rovněž neodpovídá zaměření studia a současnému dosaženému vzdělání autora diplomové práce) a tyto problémy není schopen autor diplomové práce svými silami vyřešit. Problematika vývoje a osazení desky tištěného spoje mikroprocesorem PIC 16F818-I/P by pravděpodobně vydala na samostatnou bakalářskou práci pro specialistu - elektronika. Zbývající cíle diplomové práce, to znamená dokončení 3D modelu, vytvoření výkresové dokumentace včetně kontrolních výpočtů a počítačová simulace koncového podtlakového efektoru při polohování přísavek do pracovní polohy splněny byly a představují svým rozsahem převážnou a podstatnou část původního zadání diplomové práce.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČEN

μ	tření kladek	[-]
μ_s	tření postranních těsnění	[-]
μ_w	tření kluzáku	[-]
a	zrychlení	[m.s ⁻²]
C_{0AX}	maximální hmotnost působící v axiálním směru	[N]
a_1	vzdálenost působící síly	[m]
a_T	zrychlení vzhledem k těžišti objektu T	[m.s ⁻²]
a_{TAX}	maximální zrychlení konce ramene robota (axiálním směru)	[m.s ⁻²]
a_{TRAD}	maximální zrychlení konce ramene robota (radiálním směru)	[m.s ⁻²]
b	vzdálenost působící síly	[m]
d_2	střední průměr šroubu M12	[m]
F	tlačná síla	[N]
F_{1i}	obecná působící síla	[N]
F_{2i}	obecná působící síla	[N]
F_{3i}	obecná působící síla	[N]
F_{AX}	síla působící v axiálním směru	[N]
F_B	odpor břitu přísavky	[N]
f_K	koeficient smykového tření	[-]
F_{RAD}	síla působící v radiálním směru	[N]
F_{TZ}	síla tření v zavitu	[N]
F_U	celková uchopovací síla	[N]
F_{U1}	skutečná uchopovací síla	[N]
F_{Uteor}	teoretická uchopovací síla	[N]
F_Z	výslednice radiální a axiální síly (zatížení přísavky)	[N]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
k	bezpečnost	[-]
k'	bezpečnost proti posunutí	[-]
k''	bezpečnost proti odtržení	[-]
m	hmotnost	[kg]
m_J	hmotnost jezdce	[kg]

m_C	celková hmotnost uchopovacího ústrojí	[kg]
m_D	hmotnost držáku přísavky	[kg]
m_P	hmotnost přísavky	[kg]
M_S	statický moment spojky	[Nm]
$m_{\dot{S}}$	hmotnost pohybového šroubu	[mm]
M_X	maximální dovolený krouticí moment na jezdce v ose x	[Nm]
M_{XP}	krouticí moment na jezdce v ose x	[Nm]
M_{YP}	krouticí moment na jezdce v ose y	[Nm]
M_{TZ}	moment tření v závitu	[Nm]
P	zatížení	[g]
p_Z	stoupání závitu	[mm]
S	plocha přísavky	[m ²]
T	posouvající síla	[N]
α_n	vrcholový úhel stoupání závitu pohybového šroubu	[°]
γ	úhel stoupání na středním průměru pohybového šroubu	[°]
π	Rudolfovo číslo	[-]
φ	úhel tření	[°]
p	tlak	[Pa]
p_a	atmosférický tlak	[Pa]
V	konečný objem	[m ³]
V_0	původní objem	[m ³]
ΔT_p	přídavná posouvající síla	[N]
ΔF	Přídavná síla mezi dnem přísavky a objektem manipulace	[N]
F_{Z1}	zatěžovací síla	[N]
M_Y	maximální dovolený krouticí moment na jezdce v ose y	[Nm]

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HORÁK,M.: Dynamická manipulace s plochým sklem. Monografie vydaná na TU Liberec, FS za podpory Výzkumného záměru MŠMT CR c.MSM 4674788501TU, Liberec, listopad 2008.
- [2] KOLÍBAL,Z.: Průmyslové roboty II - Konstrukce výstupních hlavíc a periferií. VUT Brno, 1993, ISBN 80-214-0533-3.
- [3] MATICKA,R.- TALÁCKO,J.: Mechanismy manipulátoru a průmyslových robotů. SNTL Praha, 1991.
- [4] SMC Industrial Automation CZ s.r.o. - pneumatické prvky, dostupné z www.smc.cz ke dni 23.4.2009
- [5] FESTO s.r.o. – pneumatické prvky, dostupné z http://festo.com/INetDomino/coorp_sites/cz/7c48d255b67120c1256b41003fa1c8.htm.
- [6] ROLLON., Lineární vedení, dostupné z <http://rolloncorp.thomasnet.com> ke dni 3.3.2009.
- [7] Hřídelové spojky, dostupné z <http://www.mmspektrum.com/pdf/c060418.pdf> ke dni 5.3.2009.
- [8] BMC BALTAS s.r.o. – hřídelové spojky, dostupné z www.bmcbaltas.cz ke dni 10.4.2009.
- [9] KÁBAL, K.: Konstrukční návrh a výpočet ručního šroubového zvedáku, dostupné z www.347.vsb.cz/Files/monografie/prirucka-sroubovýzvedak.pdf ke dni 15.4.2009.
- [10] ŘEZÁČ, K.: Krokové motory, dostupné z <http://robotika.cz/articles/steppers/en> ke dni 5.3.2009.
- [11] RUMPLÍK, T.: Řízení krokových motorů, dostupné z <http://www.volny.cz/fuksam/navrhy/krokmot/krokmot.htm> ke dni 10.4.2009.

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1-1 Koncový podtlakový efektor	16
Obr.2-1 Pasivní (deformační) přísavka	18
Obr.2-2 Verturiho trubice (ejektor)	19
Obr.2-3 Aktivní podtlaková úchopná hlavice	20
Obr.2-4 Zatížení přísavky.....	21
Obr.2-5 Analýza silové rovnováhy	22
Obr.3-1 Lineární vedení Compat Rail od firmy ROLLON	30
Obr.3-2 Typy pojezdových kolejnic	31
Obr.3-3 Konstrukční provezení jezdců typu NT a CSW	32
Obr.3-4 Pojezdová polejnice typu TLC18.....	33
Obr.3-5 Řez pojezdovou kolejnicí typu TLC18.....	33
Obr.3-6 Jezdec typu CSW 18-60	34
Obr.3-7 Schéma statického a momentového působení na jezdce	34
Obr.3-8 Zatěžující prvky lineárního vedení	36
Obr.3-9 Příčný pojezd	38
Obr.4-1 Stator s rotor krokového motoru.....	42
Obr.4-2 Momentová charakteristika krokových motorů řady SX17	43
Obr.4-3 Schéma unipolárního řízení	44
Obr.4-4 Schéma bipolárního zařízení	44
Obr.4-5 Krokový motor řady SX17-402-D	44
Obr.4-6 Technický náčrt krokového motoru	45
Obr.5-1 Technický náčrt a fotografie spojky S-Beam	47
Obr.5-2 Náčrt pohybového šroubu a matice.....	48
Obr.6-1 Řídící jednotka CD20M.....	50
Obr.6-2 Kontroler M1486	51
Obr.6-3 Řídící jednotka ESMC-02	53
Obr.6-4 Blokové schéma zapojení řídicích jednotek ESMC-02	55
Obr.6-5 PIC 16F818-I/P	57
Obr.6-6 Schéma zapojení	58
Obr.6-7 Návrh plošného spoje	59
Obr.6-8 Popis vstupů a výstupů řídicí jednotky.....	60

Obr.7-1 Průmyslový robot ABB – IRB4400/60	60
Obr.7-2 Výkreslení pracovního prostoru IRB4400/60.....	63
Tab.2-1 Základní parametry přísavek	24
Tab.3-1 Technické parametry a maximální silové zatížení	34
Tab.3-2 Koeficient tření	35
Tab.4-1 Technické parametry	45
Tab.4-2 Rozměrové parametry krokového motoru.....	45
Tab.5-1 Technické parametry spojky	47
Tab.6-1 Ceny použitých komponentů.....	52
Tab.6-2 Ceny použitých komponentů.....	55
Tab.6-3 Seznam elektrosoučástí.....	59
Tab.6-4 Ceny použitých komponentů.....	60

12. SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

KONCOVÝ PODTLAKOVÝ EFEKTOR	S0-1-5o9-001
PODELNÝ POJEZD	S1-2-5o9-002
PŘÍČNÝ POJEZD	S2-3-5o9-003
NOSNÝ KRYT S PŘÍRUBOU ABB	S3-3-5o9-004
PŘÍSAVKA S DRŽÁKEM	S4-4-5o9-005
PŘÍSAVKA S DRŽÁKEM	S5-4-5o9-006
PŘÍČNÝ POJEZD	S6-3-5o9-007
ARETACE PŘÍRUBY	1V-4-5o9-101
BOČNÍ KRYT ŘÍDÍCÍCH JEDNOTEK	1V-4-5o9-102
DLOUHÝ POHYBOVÝ ŠROUB-LEVÝ	1V-4-5o9-103
DLOUHÝ POHYBOVÝ ŠROUB	1V-4-5o9-104
DORAZ	1V-4-5o9-105
DORAZ PŘÍČNÍKU LS	1V-4-5o9-106
DORAZ PŘÍČNÍKU PS	1V-4-5o9-107
KRÁDKÝ POHYBOVÝ ŠROUB-LEVÝ	1V-4-5o9-108
KRÁDKÝ POHYBOVÝ ŠROUB	1V-4-5o9-109
KRYT KROKOVÉHO MOTORU	1V-3-5o9-129
LINEÁRNÍ VEDENÍ 320	1V-4-5o9-110
LINEÁRNÍ VEDENÍ 380	1V-4-5o9-111
LINEÁRNÍ VEDENÍ PEVNÉ 320	1V-4-5o9-112
MATICE POJEZDU-LEVÁ	1V-4-5o9-113
MATICE POJEZDU	1V-4-5o9-114
NOSIČ PŘÍSAVKY LS	1V-4-5o9-115
NOSIČ PŘÍSAVKY PS	1V-4-5o9-116
NOSNÝ RÁM CHAPADLA	1V-3-5o9-117
PLECH MIKROSPÍNAČE 2	1V-4-5o9-118
PLECH MIKROSPÍNAČE 3	1V-4-5o9-119
PLECH MIKROSPÍNAČE 1	1V-4-5o9-120
PLECH POJEZDU	1V-4-5o9-121
PLECH POJEZDU PEVNÝ	1V-4-5o9-122
PŘÍČNÍK	1V-3-5o9-123

PŘÍRUBA MOTORU	1V-4-5o9-124
PŘÍRUBA STREDNÍHO MOTORU	1V-3-5o9-125
PODLOŽKA	1V-4-5o9-126
UPÍNACÍ PLECH ŘÍDÍCÍCH JEDNOTEK	1V-4-5o9-127
UPÍNACÍ PLECH VAKUOVÉHO ŠROUBENÍ	1V-4-5o9-128
KUSOVNÍK	K0-4-5o9-001
KUSOVNÍK	K1-4-5o9-002
KUSOVNÍK	K2-4-5o9-003
KUSOVNÍK	K3-4-5o9-004
KUSOVNÍK	K4-4-5o9-005
KUSOVNÍK	K5-4-5o9-006
KUSOVNÍK	K6-4-5o9-007