

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Konstrukce úchopné hlavice s mechanickým transformačním blokem

Zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 27.6.2017

.....

podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své práce panu Doc. Ing. Vladimírovi Andrlíkovi, CSc. a panu Ing. Janovi Machylovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině a přítelkyni za podporu v průběhu studia.



Anotace

Autor:	Michal Bartošek
Název BP:	Konstrukce úchopné hlavice s mechanickým transformačním blokem
Rozsah práce:	54 str., 34 obr., 15 tab.
Školní rok vyhotovení:	2016–2017
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	12135 Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Zadavatel tématu:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Datum odevzdání:	30.6.2017
Klíčová slova:	efektor, úchopná hlavice, robot, krabice, proložka
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce úchopné hlavice s mechanickým transformačním blokem pro uchopení a manipulaci krabic a proložek.



Annotation

Author:	Michal Bartošek
Title of bachelor dissertation:	Design of end effector with power transmission unit
Extent:	54 p., 34 fig., 15 tab.
Academic year:	2016–2017
University:	CTU in Prague – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12135 Department of Production Machines
Supervisor:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Submitter of Theme:	CTU in Prague – Faculty of Mechanical Engineering
Date of handover:	30.6.2017
Keywords:	effector, gripper, robot, box, cardboard
Annotation	The bachelor thesis explains the design and construction of an end effector with power transmission unit for gripping and manipulating boxes and cardboards.



Obsah

Zadání	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace	5
Annotation	6
Přehled použitých veličin a jednotek	9
1 Úvod	10
1.1 Cíl práce	10
1.2 Úvod do problematiky úchopných hlavíc (efektorů)	10
1.3 Rozdělení efektorů podle objektu manipulace	10
1.4 Historie efektorů.....	10
2 Struktura efektorů	11
2.1 Interface.....	11
2.2 Pohon.....	12
2.3 Kompenzátor	12
2.4 Těleso efektoru.....	12
2.5 Úchopné prvky	12
2.6 Technologické výkonné prvky (nástroje) efektoru	13
2.7 Struktura efektorů v praxi	13
2.7.1 Hlavice s tělesem efektoru	13
2.7.2 Hlavice s tělesem efektoru a kompenzátozem	13
2.7.3 Hlavice s tělesem efektoru a pohonem	14
2.7.4 Hlavice s tělesem efektoru, pohonem, kompenzátozem a úchopnými prvky	14
3 Úchopné efekty	15
3.1 Mechanické úchopné efekty (MÚE) – pasivní	15
3.2 Mechanické úchopné efekty (MÚE) – aktivní.....	16
3.2.1 Mechanické úchopné efekty (MÚE) typu T1	17
3.2.2 Mechanické úchopné efekty (MÚE) typu T2	18
3.2.3 Mechanické úchopné efekty (MÚE) typu T3 a T4.....	19
3.2.4 Úchopné prvky mechanických úchopných efektorů.....	21
3.3 Magnetické efekty pasivní	22
3.4 Magnetické efekty aktivní	23
3.5 Podtlakové efekty pasivní	24



3.6	Podtlakové efekty aktivní	25
4	Objekt manipulace	26
5	Parametry návrhu úchopné hlavice	27
5.1	Proces skládání krabic	27
5.2	Parametry objektů manipulace (krabice)	28
5.3	Robot ABB IRB 6640-235	29
5.4	Pásový dopravník	31
6	Varianty úchopných hlavic	32
6.1	Varianta č. 1	32
6.2	Varianta č. 2	34
6.3	Varianta č. 3	35
7	Výpočtová a návrhová část	36
7.1	Výpočet uchopovací síly	36
7.2	Návrh kuličkového šroubu	41
7.2.1	Parametry kuličkových šroubů a matic	42
7.2.2	Kontrola maximálních otáček	43
7.2.3	Kontrola vzpěrné tuhosti	43
7.2.4	Výpočet životnosti	44
7.2.5	Výpočet hnacího kroučícího momentu	45
7.3	Návrh pohonu	46
7.4	Návrh přísavek	47
7.5	Základní rám	48
7.6	Výsledný koncept	49
8	Závěr	50
	Použitá literatura	51
	Seznam obrázků	52
	Seznam tabulek	53
	Seznam příloh	54
	Výkresová dokumentace	54
	Elektronické přílohy (CD)	54
	Seznam použitého softwaru	54



Přehled použitých veličin a jednotek

a	[m/s ²]	Zrychlení hlavice
a_k	[m/s ²]	Kritické zrychlení hlavice
a_z	[m/s ²]	Zrychlení v ose z
C_{dynx}	[N]	Dynamická únosnost pro průměr šroubu x
D	[mm]	Průměr přísavky
d_k	[mm]	Průměr hřídele
d_{k1}	[mm]	Průměr kuličkového šroubu 1
d_{k2}	[mm]	Průměr kuličkového šroubu 2
f	[-]	Koeficient tření
F	[N]	Uchopovací síla přísavek
F_k	[N]	Maximální teoretická axiální síla
F_{kmax}	[N]	Maximální dovolená provozní axiální síla
F_m	[N]	Střední zatížení
F_{max}	[N]	Maximální uchopovací síla
F_R	[N]	Třecí odpor lineárního vedení
F_t	[N]	Třecí síla
F_u	[N]	Uchopovací síla
F_x	[N]	Síla v ose x
F_y	[N]	Síla v ose y
F_z	[N]	Síla v ose z
g	[m/s ²]	Tíhové zrychlení
k	[-]	Koeficient bezpečnosti
k_d	[-]	Koeficient uložení kuličkového šroubu
k_k	[-]	Koeficient závislosti na uložení kuličkového šroubu
l_d	[mm]	Vzdálenost mezi ložisky
L_h	[h]	Životnost kuličkového šroubu
l_k	[mm]	Nepodepřená délka hřídele
m	[kg]	Hmotnost objektu manipulace
M	[Nm]	Kroutící moment motoru
$m_č$	[kg]	Hmotnost čelisti
$M_{kč}$	[Nm]	Hnací kroutící moment kuličkového šroubu
n	[ks]	Počet přísavek
n_k	[min ⁻¹]	Kritické otáčky kuličkového šroubu
n_m	[min ⁻¹]	Střední otáčky
n_{max}	[min ⁻¹]	Maximální přípustné otáčky kuličkového šroubu
p	[kPa]	Maximální hodnota vakua
P	[mm]	Stoupání kuličkového závitu
r	[m]	Poloměr objektu manipulace
s	[-]	Součinitel bezpečnosti
μ	[-]	Koeficient tření lineárního vedení
η	[-]	Účinnost kuličkového šroubu



1 Úvod

1.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je návrh úchopné hlavice s mechanickým transformačním blokem. Hlavice bude sloužit k uchopování krabic o dvou různých rozměrech a kartonových proložek. Pohyb hlavice po pracovišti bude provádět robot IRB 6640-235 společnosti ABB. Celý proces paletizace bude poté nasimulován v programu RobotStudio společnosti ABB již včetně navržené úchopné hlavice.

1.2 Úvod do problematiky úchopných hlavic (efektorů)

Pojmem úchopná hlavice, taktéž efektor, chapadlo či ruka, se rozumí zakončení průmyslových robotů, které má za úkol provádět samotné úkony, pro které byl robot navržen. Mezi tyto úkony patří především uchopení a následná manipulace různými objekty podle předem zadaných parametrů, jako jsou poloha, rychlost, zrychlení, vzdálenost, orientace aj.

Označení chapadlo a ruka se ale hodí především pro ty úchopné hlavice, kde je předmět uchopen pomocí čelistí. Předmět může být uchycen i pomocí jiné technologie, jako například magnetem. U takových úchopných hlavic ale označení ruka již není adekvátní, proto je nejvhodnějším označením úchopná hlavice nebo efektor. [1]

1.3 Rozdělení efektorů podle objektu manipulace

Efektory jsou děleny podle typu objektu, kterým manipulují, a podle oblasti užití na:

- uchopovací
- technologické
- hybridní neboli kombinované
- speciální

V případě technologických efektorů se jedná především o manipulaci technologickými nástroji nebo přípravky, které uskutečňují například obrábění, svařování, stříkání, montáž aj.

O hybridní efekty se jedná v případě kombinace efektoru uchopovacího a technologického. [2]

1.4 Historie efektorů

V minulosti společnosti zabývající se navrhováním průmyslových robotů, včetně úchopných hlavic, netrávily designem úchopných hlavic moc času, jelikož se většinou jednalo o velmi jednoduché konstrukce. Tato situace se s časem měnila a dnes již lze říci, že se efekty navrhuji se stejnou důležitostí, jako jakákoliv jiná součást průmyslových robotů. Hlavním důvodem této změny je, že pořizovací ceny dnešních průmyslových robotů se pohybují v řádu milionů až desítek milionů korun českých a pokud je špatně navržený koncový efektor, může být znehodnocena práce celého robotu. [1]

2 Struktura efektorů

Struktura jednotlivých efektorů se může více či méně lišit v závislosti na úkonu, který daný koncový efektor vykonává. Obecně se však koncový efektor skládá z interface (spojky), pohonu, kompenzátoru, tělesa a úchopných prvků u uchopovacích efektorů nebo nástrojem u efektorů technologických. Schéma jednotlivých částí efektoru je znázorněno na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Obecná struktura efektoru [3]

2.1 Interface

Spojení efektoru s koncovým ramenem robotu je realizováno pomocí součásti zvané interface. Interface připojí efektor k robotu nehybně a s požadovanou přesností. Kromě tohoto mechanického spojení propojí interface efektor s robotem i kabely, hydraulickými či pneumatickými rozvody, konektory pro přenos dat, rozvody chlazení a dalšími komponentami zajišťující plynulou funkci efektoru.

Vzhledem k tomu, že společností vyrábějících roboty a efektorů je mnoho a bylo by velmi nákladné vyrábět pro každý robot jiný interface, je konstrukce interface předepsána normou ISO 9409 – 1.

V některých oblastech využití robotu je potřeba obměňovat efektorů častěji nebo dokonce velmi často. V takových případech se využívá automatické výměny efektorů. Mechanismy pro automatickou výměnu efektorů se zabývá několik firem, které nabízejí různá řešení. Jedním z možných řešení jsou pneumatické uzamykací mechanismy, u kterých pomocí tlaku vzduchu dojde k odemknutí systému a následně výměně efektoru. [1]



2.2 Pohon

Pohonem efektoru se rozumí přeměna vstupní (primární) energie na mechanický pohyb.

Hlavní součástí je motor, který provádí zmiňovanou přeměnu ze vstupní energie na mechanický pohyb a je tak hlavním zdrojem pohybu uchopovacích částí efektoru. Další součástí je blok, který přenáší a transformuje energii z motoru na pohyblivé části efektoru, tzv. transformační blok.

Pohyblivá část efektoru může být poháněna přímo pohybem vytvořeným motorem nebo přes transformační blok. Transformační blok upravuje charakter pohybu vycházejícího z motoru na pohyb potřebný pro správný chod uchopovacích prvků. Využívá se zejména u těch systému, kde se pohybuje více než jeden úchopný prvek, aby byl zaručen jejich synchronní pohyb. [1]

2.3 Kompenzátor

Kompenzátor je součást, která má za úkol vyrovnávat drobné odchylky při uchopování objektu. Konstrukce kompenzátoru je poddajná, díky čemuž se mohou úchopné prvky efektoru přizpůsobit tvaru objektu manipulace.

Kompenzátor se používá pouze v případech, kdy je to nezbytně nutné, jelikož jeho poddajná konstrukce není ve většině jinak zcela tuhých konstrukcí efektorů žádána kvůli problémům, které s sebou nese, jako je např. rozkmitání efektoru. Aby se problémům s kmitáním předešlo, je možné kompenzátor aretovat. [1]

2.4 Těleso efektoru

Těleso efektoru hraje zásadní roli při spojení úchopných prvků ke zbytku efektoru. Spojení musí být dostatečně tuhé, aby byla zajištěna přesná funkce úchopných prvků.

2.5 Úchopné prvky

Volba úchopných prvků výrazně ovlivňuje celkovou strukturu efektoru. Úchopné prvky, umístěné na samotném konci efektoru, volíme tak, aby vytvářely co nejlepší parametry při kontaktu s objektem manipulace. [2]



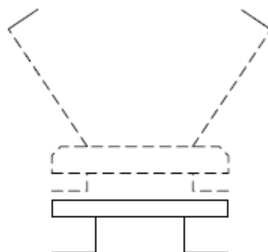
2.6 Technologické výkonné prvky (nástroje) efektoru

Na místě úchopných prvků mohou být také technologické nástroje, které se volí podle parametrů pracoviště. Mohou to být například nástroje na svařování, montáž, stříkání nebo obrábění. [2]

2.7 Struktura efektorů v praxi

V praxi je struktura efektoru zastoupena několika různými kombinacemi, které se mění podle parametrů pracoviště.

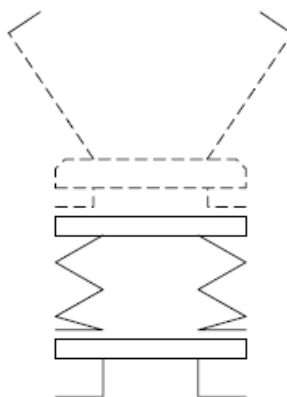
2.7.1 Hlavice s tělesem efektoru



Obr. 2.2: Hlavice s tělesem efektoru [1]

Konstrukce efektoru (viz Obr 2.2), tedy bez kompenzátoru, se využívá především u efektorů, kde je namísto uchopovacích prvků technologický nástroj. U technologických efektorů není potřeba kompenzátoru, jelikož nedochází k přímému kontaktu mezi efektozem a objektem. Používá se tedy především v technologických procesech, jako je stříkání, svařování aj. [1]

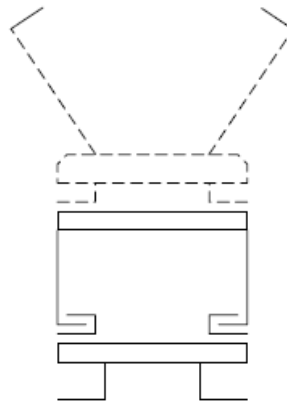
2.7.2 Hlavice s tělesem efektoru a kompenzátorem



Obr. 2.3: Hlavice s tělesem efektoru a kompenzátorem [1]

Konstrukce hlavice s tělesem efektoru, kompenzátorem a úchopnými prvky (viz Obr. 2.3), se využívá v procesech, kde není třeba aktivních úchopných prvků, ale klade se důraz na správnou pozici úchopných prvků vůči objektu manipulace. Na správnou pozici uchopovacích prvků vůči objektu manipulace je kladen důraz například u podtlakových efektorů, kde pokud není přísavka v kontaktu s objektem manipulace celou svojí plochou, nedojde k vytvoření podtlaku pod přísavkou. [1]

2.7.3 Hlavice s tělesem efektoru a pohonem



Obr. 2.4: Hlavice s tělesem efektoru a pohonem [1]

Konstrukce hlavice s tělesem efektoru, pohonem a úchopnými prvky (viz Obr. 2.4), se využívá v procesech, kde je třeba aktivního pohybu úchopných prvků a není třeba kompenzování polohy či orientace. S touto konstrukcí se lze setkat např. u aktivních mechanických efektorů. [1]

2.7.4 Hlavice s tělesem efektoru, pohonem, kompenzátorem a úchopnými prvky

Hlavice obsahující všechny jmenované součásti se užívá v procesech spojující všechny předešlé případy. Je tu tedy potřeba aktivních úchopných prvků i kompenzace polohy a orientace. Schéma je stejné, jako na Obr. 2.1. [1]



3 Úchopné efekторы

Úchopné efekторы slouží k uchopení určitého objektu manipulace. Jedná se o nejrozšířenější typ efektoru. Objekt manipulace může být uchopen pomocí čelistí, magnetů, přísavek aj. Kompletní rozdělení úchopných efektorů je popsáno v Tab. 3.1.

Mechanické	pasivní	s pevnými a stavitelnými ÚP
		s pružnými ÚP
		speciální (suchý zip, lepidlo, aj.)
	aktivní (poháněné)	hydromotorem
		pneumotorem
		elektromotorem
		elektromagnetem
Magnetické	pasivní	s permanentními magnety
	aktivní	s elektromagnety
Podtlakové	pasivní	přísavky
	aktivní	s vývěvou
		s ejektorem

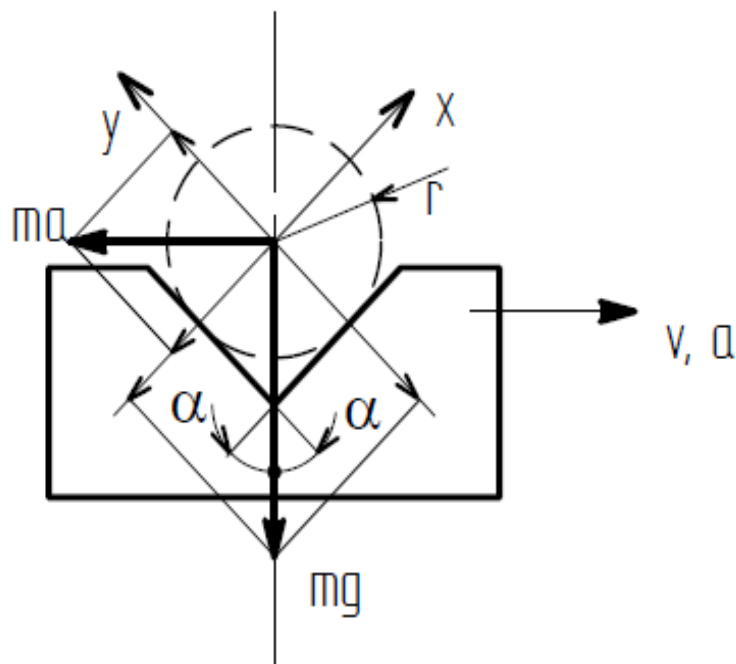
Tab. 3.1: Klasifikace úchopných efektorů [1]

3.1 Mechanické úchopné efekторы (MÚE) – pasivní

Pasivní mechanické úchopné efekторы jsou charakteristické svojí jednoduchou konstrukcí typu háku, pevné opěry, odpružené čelisti či lůžka. Objektem manipulace může být například jednoduchý kroužek, pro který by bylo zbytečně složité a neekonomické vymýšlet složitý efektor, když např. efektor typu háku je plně dostačující.

Jediným pohonem efektoru je v tomto případě samotný robot. Efektor sám žádný speciální pohyb k uchycení či uvolnění objektu nepotřebuje. V průběhu manipulace je potřebnou silou k udržení objektu síla gravitační, čemuž se musí přizpůsobit zrychlení a zpomalení a obecně všechny pohyby efektoru.

Na Obr 3.1 je znázorněn jednoduchý typ efektoru tvaru lůžka s přehledem základních kót, sil a pohybů, ke kterému se vztahuje i následující vypočet kritického zrychlení. Kritickým zrychlením je myšleno takové zrychlení, při kterém již gravitační síla nestačí k udržení objektu manipulace (válečku) v lůžku. [2]



$$m \cdot a_k \cdot \sin \alpha \cdot r \leq m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot r \quad (1)$$

$$a_k = g \cdot \cot g \cdot \alpha \quad (2)$$

$$a \leq a_k$$

Kde a_k – kritické zrychlení

m – hmotnost objektu

$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ – gravitační zrychlení

3.2 Mechanické úchopné efekторы (MÚE) – aktivní

Konstrukce mechanických úchopných efektorů se odvíjí od charakteru pohybu přicházejícího z motoru. Může být buď rotační, nebo translační.

Druhý parametr, který je nutno vzít v potaz při návrhu konstrukce, je charakter pohybu úchopných prvků. Pokud jsou známy tyto dva parametry, lze zvolit odpovídající transformační blok (viz Tab. 3.2).



Motor	Úchopné prvky	Transformace pohybu	Typ MÚE
posuvný	posuvné		T1
posuvný	rotační		T2
rotační	posuvné		T3
rotační	rotační		T4

Tab. 3.2: Typy aktivních mechanických úchopných efektorů [1]

3.2.1 Mechanické úchopné efektory (MÚE) typu T1

Pohyb vystupující z motoru je pro skupinu T1 charakteru translačního (posuvného), který může být transformován na translační pohyb v jiném směru, ale nemusí.

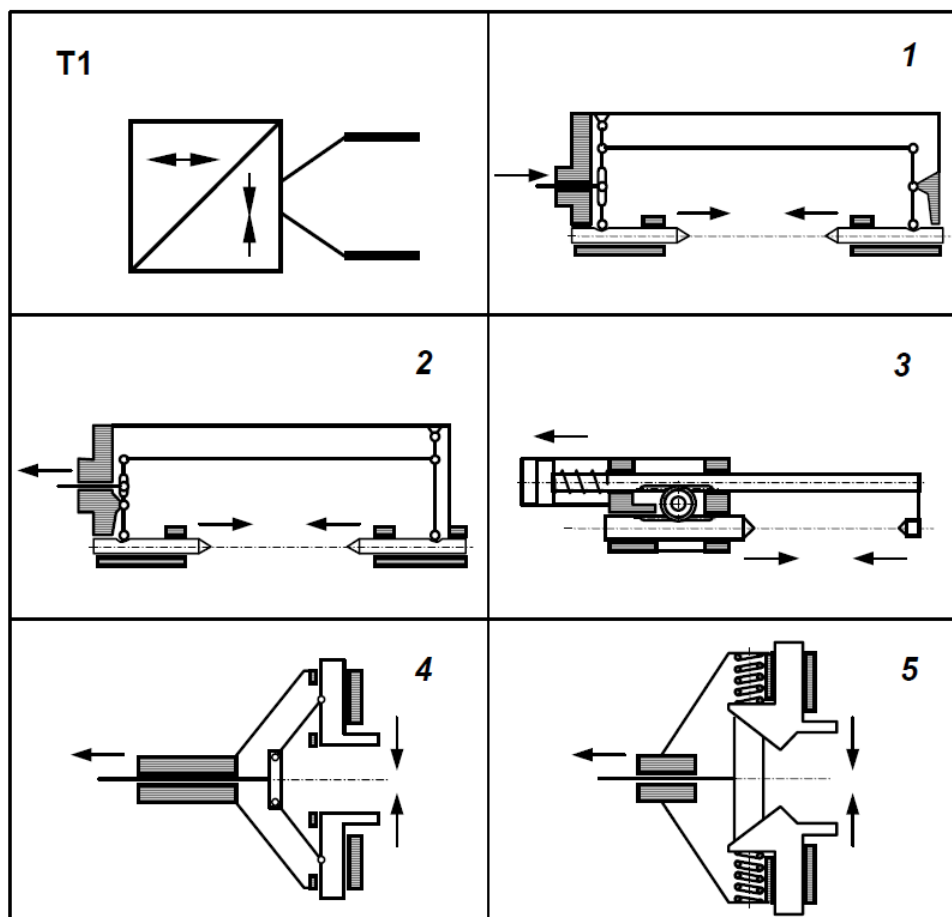
Nejčastějšími motory pro tuto skupinu jsou motory pneumatické. Mezi výhody pneumatického motoru patří dostupnost jeho média – vzduchu. Na druhé straně ale pneumatické motory dosahují nízkých výkonů, z čehož pramení velké rozměry motoru, pokud je potřeba velké síly. Hlavní silou, která drží objekt manipulace mezi úchopnými prvky, je síla pružin. Motor je většinou použit pouze jako protisíla pro roztažení úchopných prvků od sebe.

Další variantou jsou motory hydraulické, které dokáží produkovat velké silové účinky při malých rozměrech, ale problémem je distribuce média – kapaliny do konstrukce efektoru. I zde je motor většinou použit jako protisíla pro roztažení úchopných prvků.

Mezi další výhody jak u pneumatických, tak i u hydraulických motorů patří možnost jednoduchého nastavení úchopné síly nebo jistota udržení předmětu, neboť hlavní silou držící objekt manipulace je síla pružiny. Z čehož plyne, že i pokud dojde v motoru k poklesu ovládacího tlaku v důsledku poruchy motoru, objekt z čelistí nevypadne.

Třetí možností získávající na oblibě jsou pak elektromotory. [1]

Na Obr. 3.2 jsou příklady schémat úchopných hlavic pro skupinu T1.



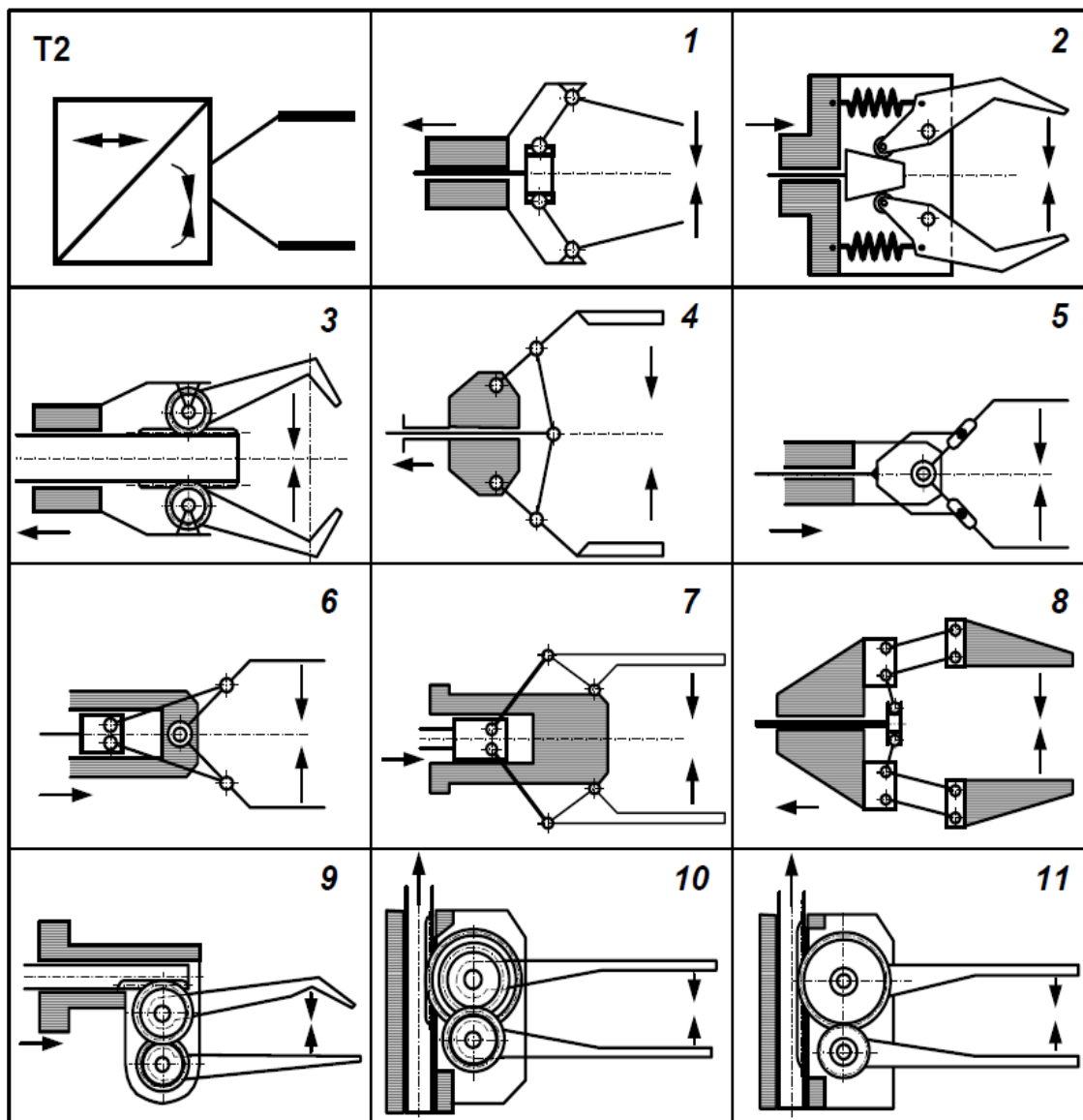
Obr. 3.2: Příklady řešení skupiny T1 [1]

3.2.2 Mechanické úchopné efekty (MÚE) typu T2

Pohyb vystupující z motoru je pro skupinu T2 charakteru translačního, který je transformován na rotační pohyb buď pomocí ozubení, nebo kloubového mechanismu.

Výhoda ozubení (viz Obr. 3.3 pozice 3, 9, 10, 11) je, že dokáže poskytnout konstantní převodový poměr a různou rychlost úchopných prvků pomocí vloženého převodu. Nevýhodou může být konstrukce náročnější na prostor.

Kloubový mechanismus (viz Obr. 3.3 pozice 1, 4, 5, 6, 7, 8) na rozdíl od ozubení konstantní převodový poměr zaručit nedokáže, proto je potřeba si při změně rozměrů objektu prověřit převodovou funkci v každém místě objektu. [1]



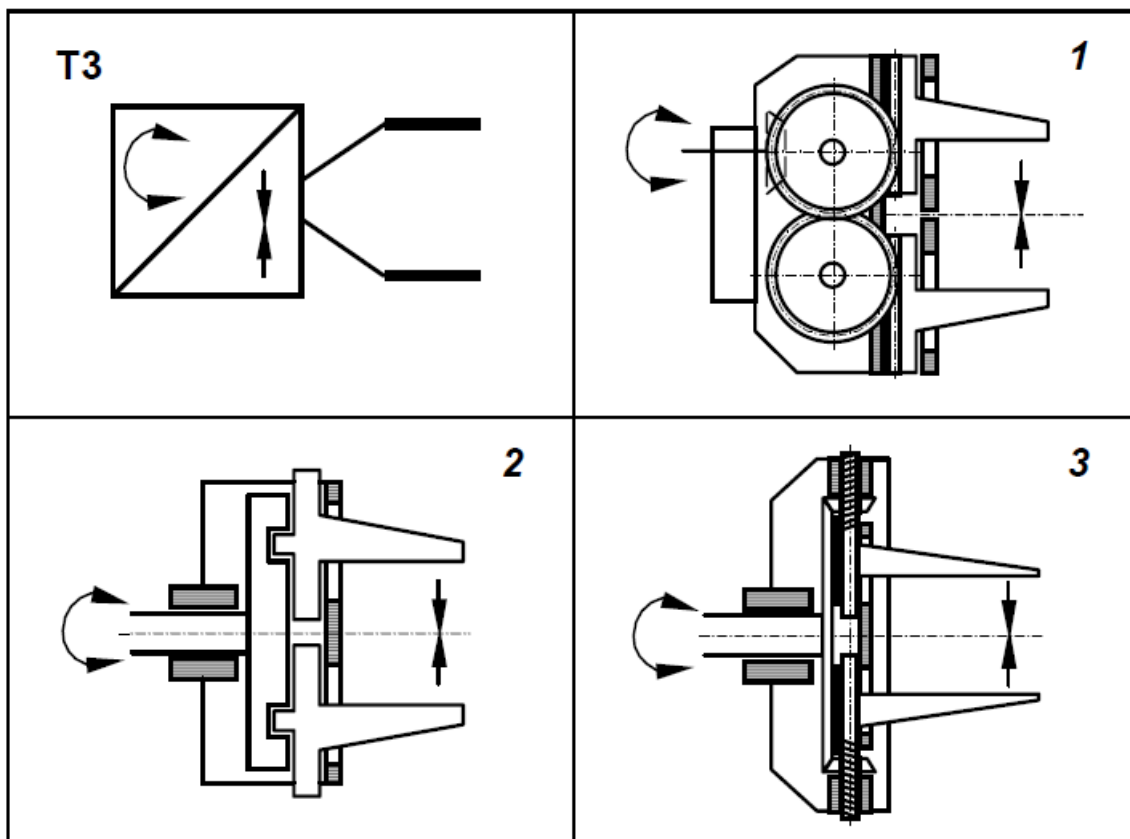
Obr. 3.3: Příklady řešení skupiny T2 [1]

3.2.3 Mechanické úchopné efektory (MÚE) typu T3 a T4

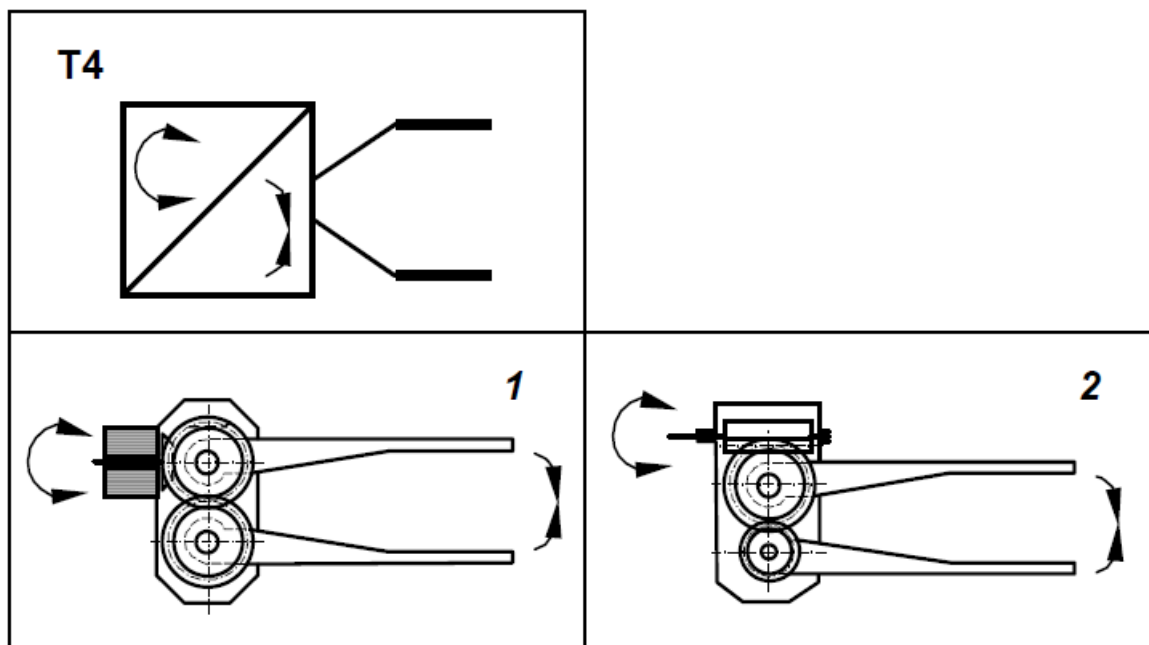
Pohyb vystupující z motoru je pro skupinu T3 charakteru rotačního, který je transformován na translační pohyb pomocí ozubení, vačkového, nebo šroubového mechanismu (viz Obr. 3.4 a Tab. 3.3).

Pomocí stejných mechanismů je transformován pohyb i u skupiny T4, jen s tím rozdílem, že vystupující pohyb charakteru rotačního je transformován na pohyb rotační (viz Obr. 3.5).

Vzhledem k vyšší hmotnosti a velikosti ozubených převodů se mechanismy skupin T3 a T4 používají pro výkonnější roboty s větší nosností. [1]



Obr. 3.4: Příklady řešení skupiny T3 [1]



Obr. 3.5: Příklady řešení skupiny T4 [1]



Typ MÚE		Mechanismus transformačního bloku	Typ MÚE	
Označení	Posuvný pohyb ÚP		Rotační pohyb ÚP	Označení
T1		kloubový		T2
T1		ozubený		T2
T3		vačkový		T4
T1		vačkový		T2
T3		šroubový		T4

Tab. 3.3: Mechanismy mechanických úchopných efektorů [1]

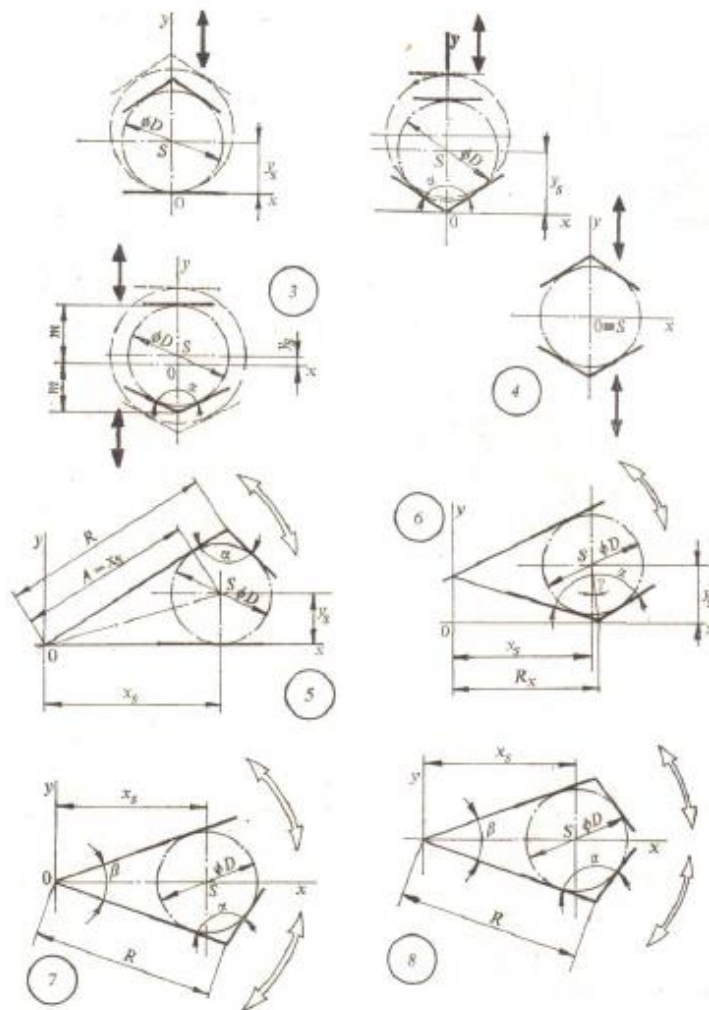
3.2.4 Úchopné prvky mechanických úchopných efektorů

Z pohledu konstrukce existuje několik možností, jaký typ úchopných prvků zvolit. Tyto možnosti ale nejsou zcela rovnocenné. Na výběr je mezi otočnými a posuvnými čelistmi. Dále se také musí zvolit buď čelisti pevně spjaté s transformačním blokem či volně zavěšené, u kterých se ale musí zajistit stálá poloha, aby kontakt s objektem manipulace byl co nejpreciznější.

Úchopné prvky jsou voleny co nejjednoduššího, ale zároveň co nejideálnějšího tvaru vzhledem k tvaru objektu manipulace, jelikož bez správného kontaktu mezi objektem manipulace nelze zaručit bezproblémovou manipulaci.

Výběr úchopných prvků může ovlivnit pozitivně či negativně kvalitu práce celého úchopného mechanismu. Především jeho tuhost a přesnost a dále úchopnou sílu potřebnou k uchopení objektu manipulace.

Na výběr je i mezi pozicemi, v jakých úchopné prvky uchopují objekt manipulace. Tyto pozice jsou vyobrazené na Obr. 3.6. [1]

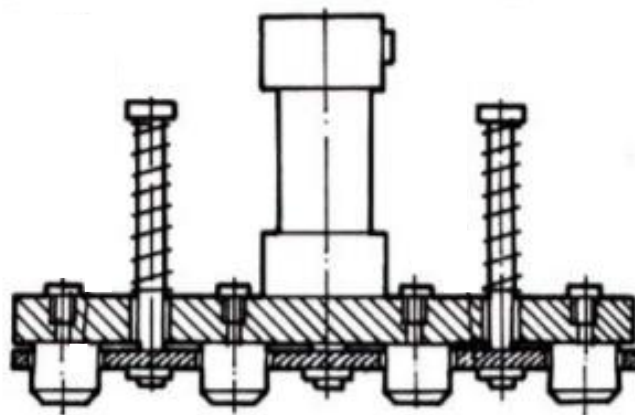


Obr. 3.6: Možnosti uchopení objektu manipulace čelistmi [1]

3.3 Magnetické efekty pasivní

Pasivní magnetické efekty (viz Obr. 3.7) k úchopu objektů manipulace z feromagnetických materiálů využívají permanentních magnetů. Výhodou permanentních magnetů je to, že nepotřebují přívod energie, jelikož jsou magnetické neustále. To je ale zároveň i jejich nevýhoda, jelikož nejsou bez vnější pomoci schopné objekt manipulace uvolnit.

Vnější pomocí pro uvolnění objektu manipulace může být například pneumatický motor, který musí mít větší sílu, než je magnetická síla magnetu. Z toho plyne, že energii budeme stejně potřebovat na pohon pneumatického motoru. [1]



Obr. 3.7: Pasivní magnetický efektor [1]

3.4 Magnetické efekторы aktivní

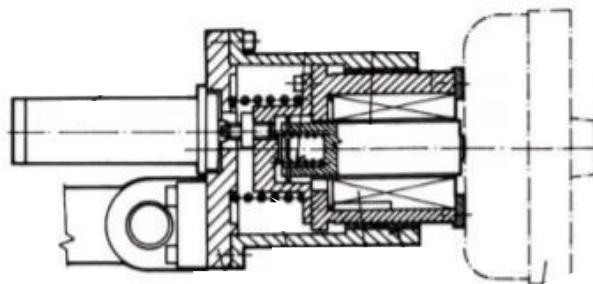
Aktivní magnetické efekторы (viz Obr. 3.8) k úchopu objektů manipulace z feromagnetických materiálů využívají elektromagnetů. Elektromagnety mohou být napájeny bateriemi, generátorem s motorem nebo přímo ze sítě.

Nevýhodou elektromagnetů je to, že stejnosměrný proud objekt manipulace zmagnetizuje, což má za následek možné problémy při pokládání objektů manipulace o nižších hmotnostech. Tento problém se řeší tak, že se pomocí krátkodobého obrácení směru proudu v magnetových cívkách objekt manipulace odmagnetuje. Další nevýhodou mohou být drobné magnetické částičky, které se zachytí na úchopné prvky a zhorší tak přesnost uchycení objektu manipulace.

Naopak jejich výhodou je široký rozsah působnosti a jednoduchá konstrukce, která je většinou jen ve formě jednoduchého prstencového elektromagnetu.

Podmínky pro užití magnetických efektorů:

- Objekt manipulace musí být z feromagnetického materiálu.
- Objekt manipulace by měl mít rovinné stykové plochy s magnety.
- U těžších objektů manipulace je třeba použít silnější elektromagnety.
- Permanentní magnety je možno užit až do teploty 94°C, zatímco elektromagnety jen do teploty 60°C.



Obr. 3.8: Aktivní magnetický efektor [1]

3.5 Podtlakové efekty pasivní

Pasivní podtlakové efekty většinou využívají přísavek vyrobených z pryže. Tyto přísavky jsou pomocí síly v rameni robotu přitlačeny k objektu manipulace. Tímto přitlakem se deformuje pryžová část přísavky a z jejího prostoru se vytlačí vzduch, čímž vznikne podtlak, který stačí ke zvednutí a manipulaci s objektem.

Síla, kterou přísavka drží objekt manipulace, je závislá především na kontaktní ploše objektu manipulace s přísavkou, ale také na tuhosti přísavky.

Pro vyvození větších úchopných sil bude třeba tužších přísavek a s tím spojená větší síla vyvozená robotem pro vytlačení vzduchu zpod přísavky. Což znamená, že pokud je možnost poškození objektu manipulace touto silou, přísavky nelze použít.

Velmi důležitým parametrem pro použití či nepoužití přísavek je kvalita povrchu objektu manipulace a jeho tvar. Jakákoliv nečistota či prach narušují kvalitu kontaktu. To samé můžeme říct o tvaru. Každé zakřivení objektu taktéž narušuje kvalitu kontaktu, proto nejideálnějšími objekty manipulace pro pasivní podtlakové efekty jsou předměty rovinného tvaru, např. skleněné tabule.

Pro zkvalitnění kontaktu může být použita viskózní tekutá látka, která se nanese na místo styku.

Výhodou pasivních podtlakových efektorů je jejich jednoduchá konstrukce, která je podobná jako u magnetických efektorů. Stejně jako u magnetických efektorů se počet přísavek, respektive magnetů, volí dle potřebné úchopné síly a tvaru povrchu objektu manipulace.

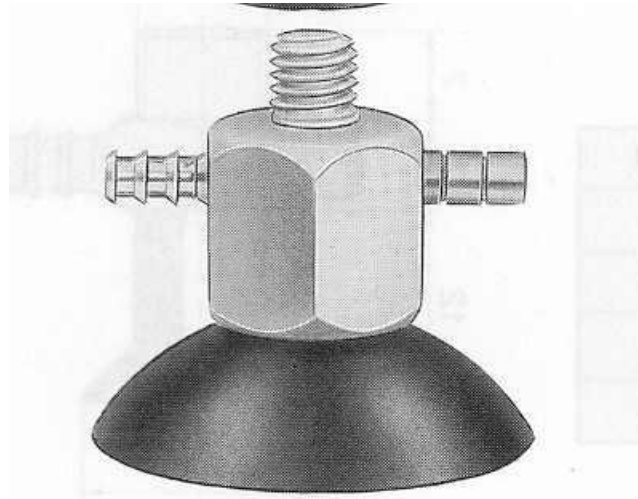


3.6 Podtlakové efekторы aktivní

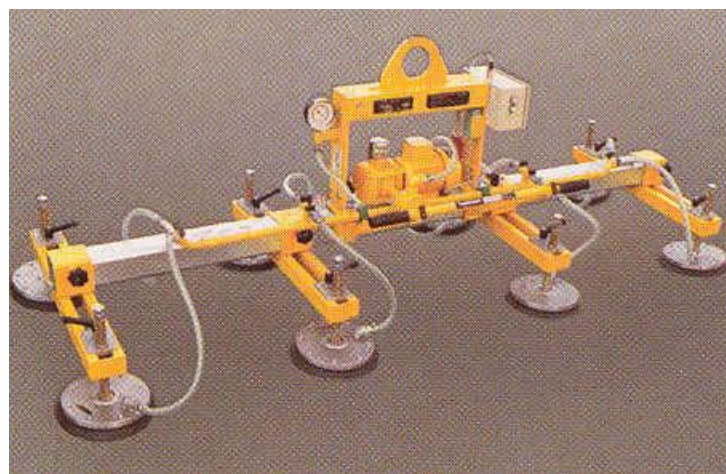
Konstrukce aktivního podtlakového efektoru je podobná konstrukci pasivního podtlakového efektoru. Taktéž je většinou tvořena přísavkou (viz Obr. 3.9). Hlavním rozdílem je ale způsob, jakým dosahujeme podtlaku pod přísavkou. U aktivních podtlakových efektorů je vzduch vysáván převážně ejektory, méně často vývěvami. [2]

Ejektor je mechanismus využívající stlačeného vzduchu k výrobě podtlaku pod přísavkou. Každá přísavka může mít svůj ejektor, nebo může být jeden společný ejektor pro více či všechny přísavky (viz obr. 3.10). Aby bylo možné podtlak vytvořit, musí být zajištěn kontakt mezi přísavkou a objektem manipulace.

Velkou výhodou oproti magnetickým efektorům je fakt, že podtlakové efekторы lze použít prakticky pro jakýkoliv materiál objektu manipulace, včetně skla, dřeva, kovu, plastu, atd. [1]



Obr. 3.9: Přísavka s ejektorem [1]





4 Objekt manipulace

Objekt manipulace je klíčovým parametrem nejen pro návrh úchopné hlavice, ale také pro výběr správného robotu. U těžších objektů manipulace je nutno vzít v potaz celkovou nosnost robotu, aby byl robot vůbec schopen objekt zvednout. Až poté, co jsou vyřešeny minimální požadavky na robot jako takový, se lze pustit do návrhu úchopné hlavice.

Mezi nejdůležitější parametry objektu manipulace patří bezpochyby rozměry, hmotnost, tvar, materiál, momenty setrvačnosti k osám, vhodné plochy k uchopení, vodivost jak tepelná, tak elektrická, povrch.

Není sledován jen celkový tvar objektu, ale všechny jeho otvory, výstupky, dutiny, které mohou být využity při úchopu (např. objekt může být uchopen za otvor) nebo mohou úchop zkomplikovat (výstupky).

Co se týče materiálu objektu, to hlavní, co je sledováno, jsou mechanické a fyzikální vlastnosti, jako pružnost materiálu, křehkost, teplota, plasticita.

Velmi důležitým parametrem je povrch objektu. Jelikož spousta úchopů je založena na třecích silách, musí se ošetřit vše, co by mohlo tyto třecí síly zmenšit. Hlavními faktory zmenšující tyto třecí síly jsou drsnost povrchu, čistota, vlhkost, maziva, oleje nebo koroze. Všechny tyto elementy snižují kvalitu úchopu. [1]



5 Parametry návrhu úchopné hlavice

V následující části práce bude navrhována vlastní úchopná hlavice, která bude uchopovat krabice ve tvaru kvádrů o dvou různých rozměrech. Krabice budou dopravovány po pásových dopravnících, odkud budou odebírány a následně skládány na paletu.

5.1 Proces skládání krabic

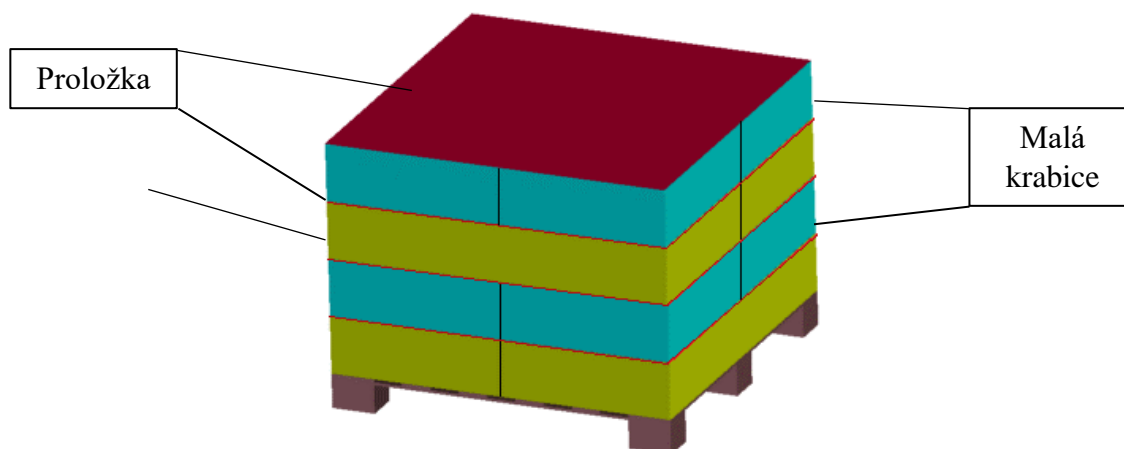
Krabice budou skládány na paletu v následujícím pořadí:

1. Vrstva: 2 velké krabice
2. Vrstva: proložka
3. Vrstva: 4 malé krabice
4. Vrstva: proložka
5. Vrstva: 2 velké krabice pootočené o 90° oproti krabicím v 1. vrstvě
6. Vrstva: proložka
7. Vrstva: 4 malé krabice
8. Vrstva: proložka

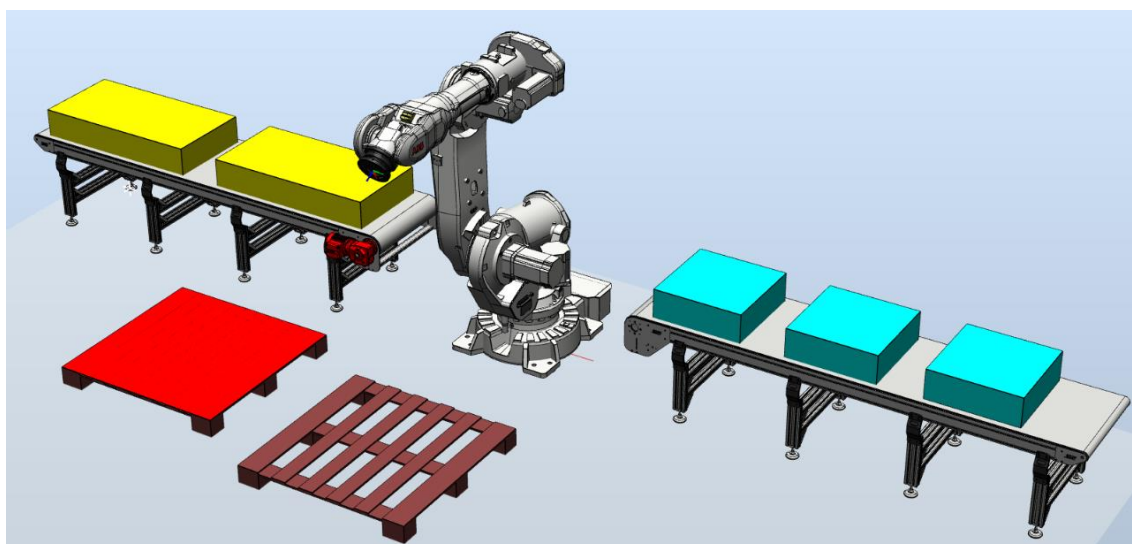
Poté se celý proces opakuje. Každá druhá vrstva velkých krabic bude pootočena o 90° vůči předchozí vrstvě velkých krabic z důvodu stability nákladu na paletě (viz Obr. 5.1).

Jelikož jednotlivé vrstvy krabic budou prokládány kartonovými proložkami, bude úchopná hlavice obsahovat dva systémy úchopu. Jeden systém pro uchopení krabic a druhý systém pro uchopení kartonových proložek.

Při navrhování úchopné hlavice bude využíváno především normalizovaných součástí, profilů a komponent, aby nemusely být jednotlivé součásti vyráběny na míru a to především z důvodu nákladů, protože každá na míru vyráběná součást dramaticky zvyšuje finanční náklady na úchopnou hlavici.



Obr. 5.1: Poskládané krabice na paletě



Obr. 5.2: Zjednodušený 3D model pracoviště

Na Obr. 5.2 je zobrazen zjednodušený model pracoviště. Šedivou barvou jsou vyobrazeny dopravníky, po kterých přijíždí z jedné strany modré, malé krabice, a z druhé strany žluté, velké krabice. Hnědě jsou vyobrazeny palety. Na jedné paletě jsou červeně vyobrazené proložky a na druhou paletu budou skládány krabice.

5.2 Parametry objektů manipulace (krabice)

Malá krabice

- Rozměry: (600 x 600 x 200) mm
- Hmotnost: 10 kg
- Materiál: tvrdý karton s tuhým nestlačitelným obsahem

Velká krabice

- Rozměry: (600 x 1200 x 200) mm
- Hmotnost: 20 kg
- Materiál: tvrdý karton s tuhým nestlačitelným obsahem

Parametry objektu manipulace (proložka):

- Rozměry: 1200 x 1200 x 5 mm
- Hmotnost: max. 5 kg
- Materiál: karton

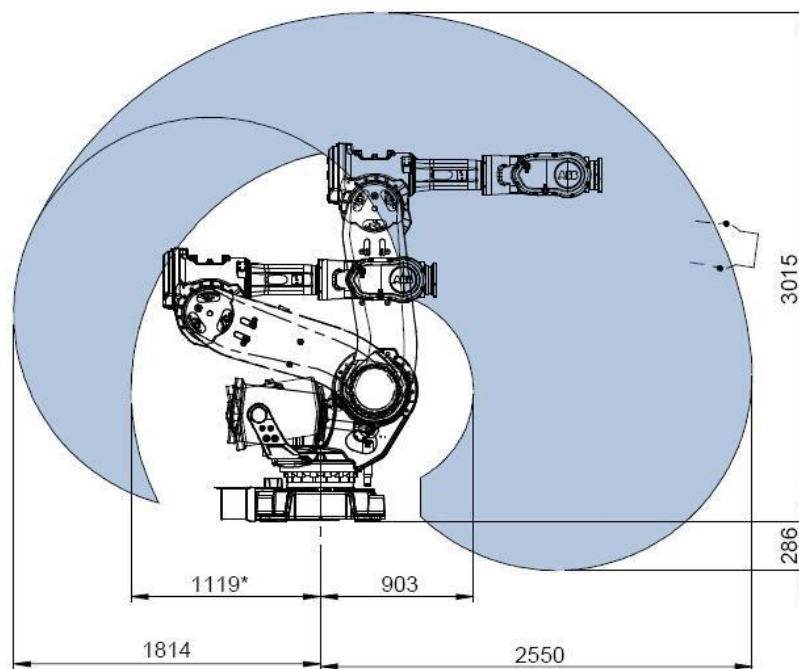
Jako ideální průmyslový robot pro tento typ pracoviště, dané parametry a úchopnou hlavici byl vybrán průmyslový robot společnosti ABB model IRB 6640 – 235.



5.3 Robot ABB IRB 6640-235

Vlastnosti robotu:

- Maximální dosah: 2,55 m (viz Obr. 5.3)
- Nosnost: 235 kg
- Stupeň ochrany: IP 67
- Počet os: 6 (vlastnosti jednotlivých os viz Tab. 5.1)



Osa	Pracovní rozsah	Maximální rychlost v ose
1 - rotace	+170° až -170°	100 to -110°/s
2 - paže	+85° až -65°	90°/s
3 - paže	+70° až -180°	90°/s
4 - zápěstí	+300° až -300°	170 to -190°/s
5 - ohnutí	+120° až -120°	120 to -140°/s
6 - otočení	+360° až -360°	190 to -235°/s

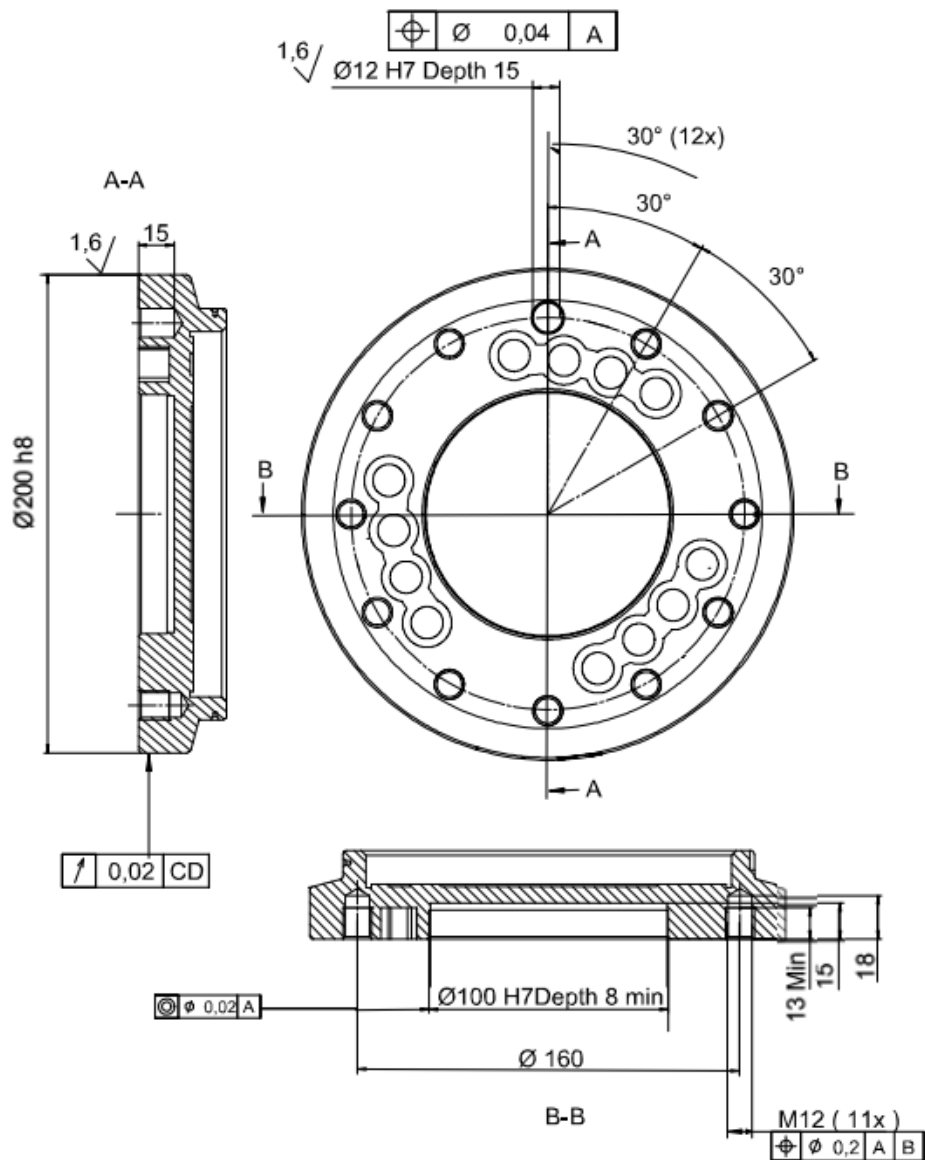
Tab. 5.1: Vlastnosti jednotlivých os [4]

Pro návrh úchopné hlavice je jedním z nejdůležitějších parametrů velikost uchopovací síly, pro jejíž výpočet potřebujeme znát maximální zrychlení koncového bodu robotu. Tento parametr vyplývá z havarijního zastavení robotu. Společnost ABB bohužel tento parametr konkrétně pro tento robot neuvádí, avšak u robotů jiných značek, ale podobných parametrů, se hodnota maximálního zrychlení koncového bodu pohybuje okolo 8 m/s^2 . Dále bude tedy počítáno s hodnotou $a = 8 \text{ m/s}^2$.



Interface

Tvar a rozměry pro konkrétní interface robotu ABB IRB 6640-235 jsou popsány na Obr. 5.4.



Obr. 5.4: Interface dle normy EN ISO 9409-1 [4]

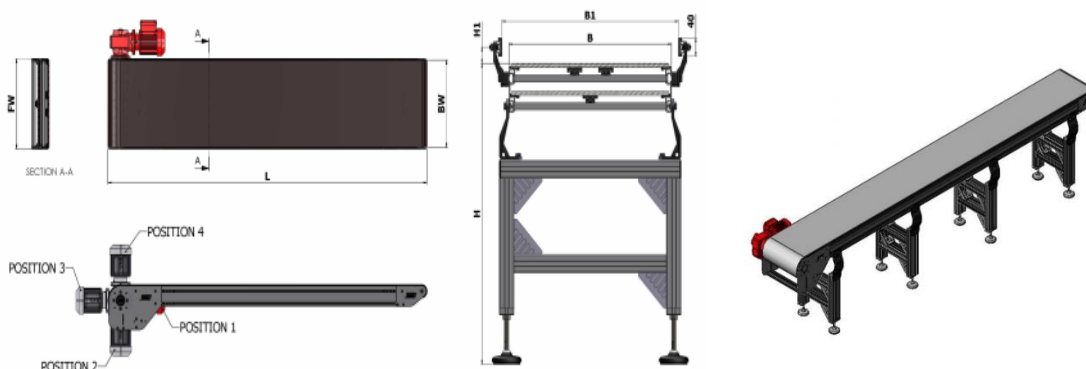


5.4 Pásový dopravník

Z důvodu paletizace krabic o dvou různých rozměrech bylo rozhodnuto, že nejideálnějším řešením bude použití dvou dopravníkových pásů, kde po jednom pásu z jedné strany budou dopravovány velké krabice a z druhé strany po druhém pásu budou dopravovány krabice malé. Toto řešení zajistí jednodušší manipulaci s krabicemi při pokládání krabic na pás.

Při použití pouze jednoho pásu by krabice musely být skládány na pás v daném pořadí, a to tak, že nejdříve dvě velké krabice, poté čtyři malé krabice, následovaly by opět dvě krabice velké a takto by se celý proces opakoval.

Jako dodavatel dopravních pásů byla zvolena společnost ASKMT a to nejen díky velkému výběru, ale především jejich konfigurátoru, kde je možnost si nastavit vstupní parametry dopravníkového pásu a program sám vygeneruje jeho 3D model včetně obrázků (viz Obr. 5.5) s parametry (viz Tab. 5.2).



Délka (pro účely této práce) (L)	3000 mm
Šířka (B)	680 mm
Pozice dopravníkového pásu	přímá
Výška (H)	660 mm
Možnost akumulace	ano
Motor	SAF37
Točivý moment	19,364 Nm
Rychlost	5 m/s

Tab. 5.2: Parametry pásového dopravníku [7]



6 Varianty úchopných hlavíc

Při návrhu úchopné hlavice byla největší překážkou kombinace mechanického úchopu s rozpětím 600 mm až 1200 mm a podtlakového úchopu, který se jeví jako ideální pro uchopování kartonových proložek.

Z důvodu poměrně velkého potřebného rozpětí čelistí je ideální pohyb čelistí posuvný, protože pokud by se čelisti pohybovaly po kružnici, byla by úchopná hlavice velkých rozměrů. Posuvný pohyb čelistí zajišťuje jejich takřka neomezené rozpětí.

Jak již bylo zmíněno, největší překážkou bylo spojit mechanický a podtlakový úchop hlavice. Jelikož by při jednotlivých úkonech mohlo docházet ke kolizím mezi úchopnými prvky a objekty manipulace, bylo zapotřebí najít takové řešení, kdy je ve své pracovní pozici vždy buď systém mechanického úchopu, nebo systém úchopu podtlakového.

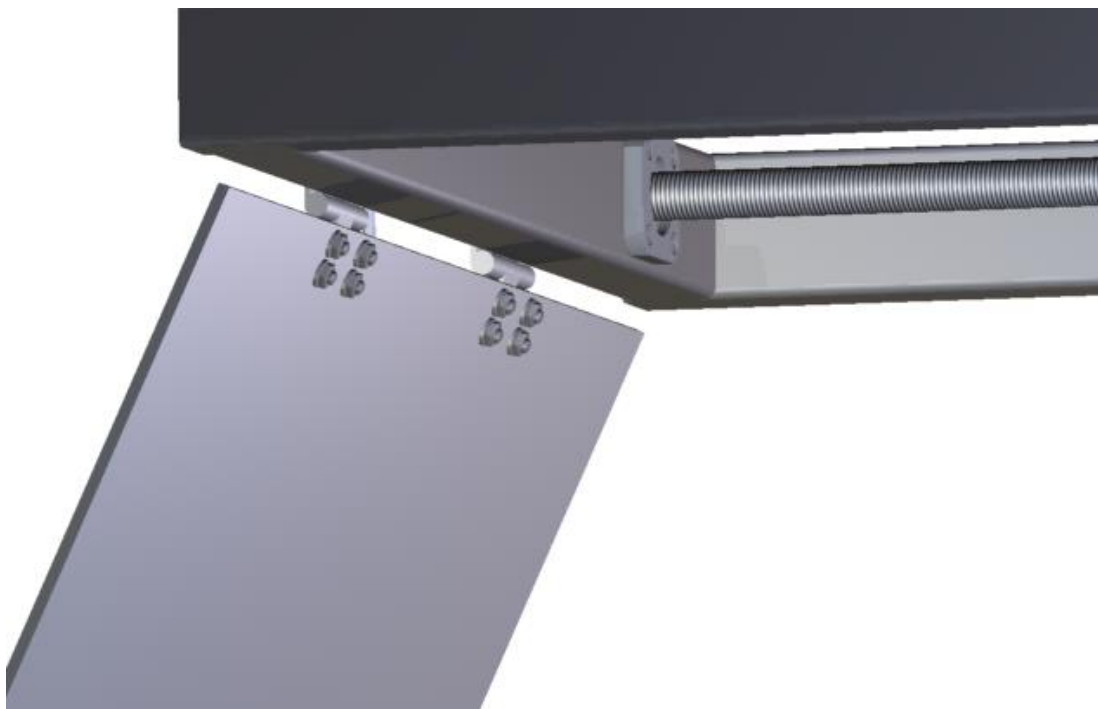
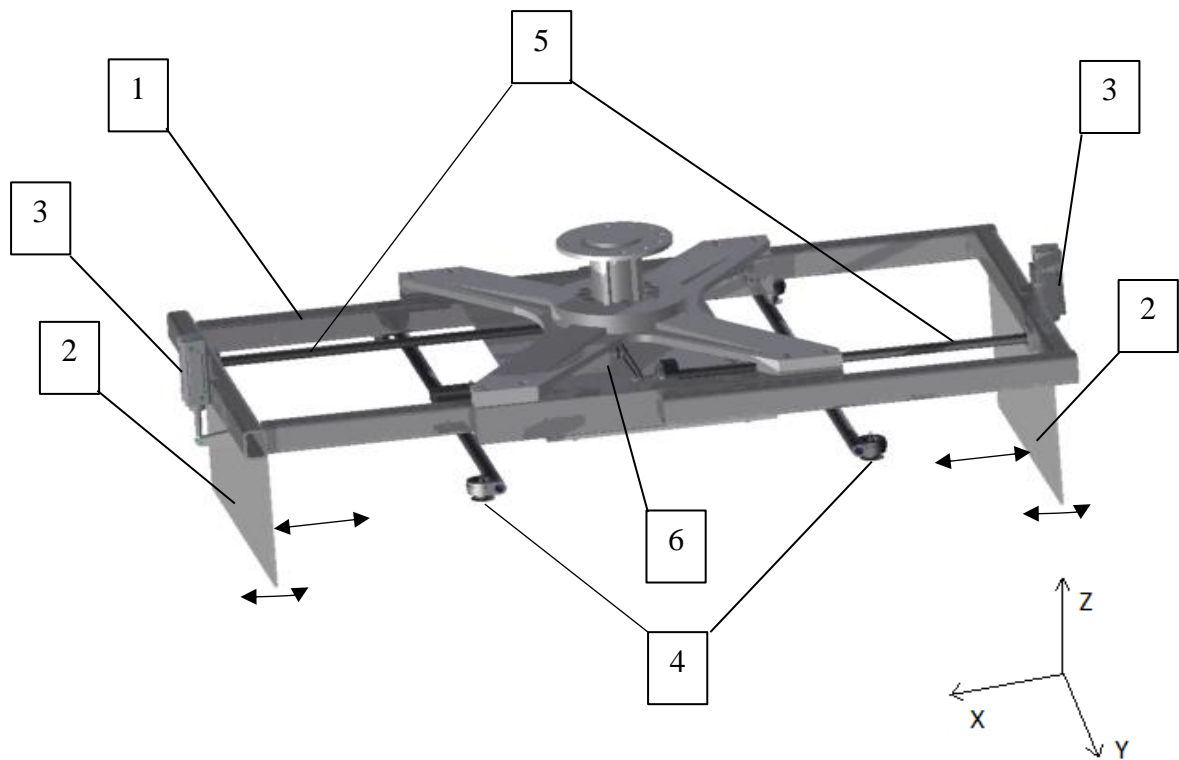
V následující části práce jsou popsány tři možné varianty, jak by se tato úloha mohla řešit.

6.1 Varianta č. 1

Jednotlivé prvky popsány v této kapitole jsou znázorněny na Obr. 6.1. Úchopná hlavice se skládá ze základního rámu (1), který se skládá z pevné části a dvou pohyblivých ramen, které jsou v kontaktu s pevnou částí rámu pomocí lineárního vedení od společnosti HIWIN. Čelisti (2) jsou s rámem spojeny pomocí kloubu (viz. Obr. 6.2), aby mohlo docházet k jejich zvedání pomocí lineárních pneumatických motorů (3), které jsou spojeny s rámem také pomocí kloubu, aby se mohly natočit v momentě, kdy je třeba zvednout kartonové proložky pomocí čtyř podtlakových přísavek (4). Přísavky jsou pevně spojeny s nepohyblivou částí rámu.

K posunu pohyblivé části rámu je použit elektromotor (6), který pomocí dvou ozubených řemenů pohání současně matice obou kuličkových šroubů (5).

Nevýhodou této konstrukce je, že na pneumatické motory je vyvíjena zbytečně velká síla, která je eliminována v dalších variantách. Tato konstrukce také snižuje celkovou tuhost čelistí. Další nevýhodou je, že při sevření malé krabice by docházelo ke kolizi mezi kuličkovým šroubem a pohyblivou částí rámu držící druhou čelist. Tento problém je vyřešen otvorem v místě potenciální kolize mezi prvky, avšak tento otvor narušuje celistvost celé konstrukce.



Obr. 6.2: Detail kloubu čelistí

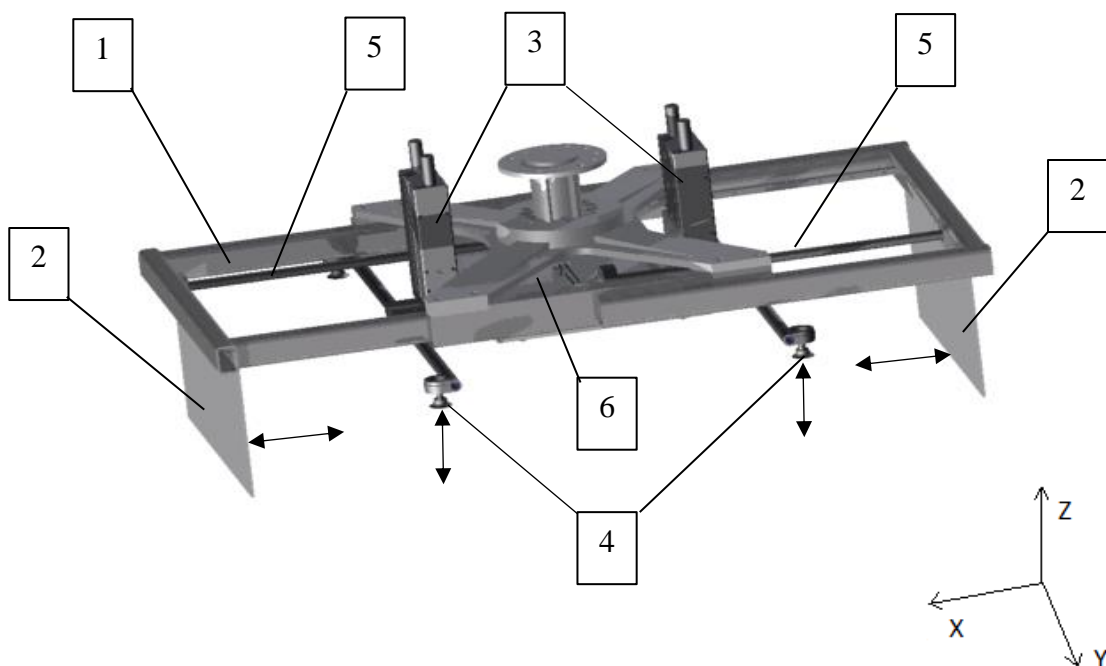


6.2 Varianta č. 2

Jednotlivé prvky popsány v této kapitole jsou znázorněny na Obr. 6.3. Hlavním rozdílem varianty č. 2 oproti variantě č. 1 je ten, že čelisti (2) jsou pevně spojeny s rámem (1) a pohyblivým prvkem jsou přísavky (4). Přísavky jsou připojeny k pneumatickým motorům (3), jejichž součástí je i lineární vedení, což konstrukčně značně usnadňuje podtlakový systém úchopu.

Zbytek konstrukce je v podstatě totožný jako u varianty č. 1. K posunu pohyblivé části rámu slouží elektromotor (6), který pomocí dvou ozubených řemenů pohání současně matice obou kuličkových šroubů (5).

Tato konstrukce řeší problém síly vyvíjené na pneumatické motory, neřeší však problém potencionální kolize kuličkového šroubu s pohyblivou částí rámu. Z těchto důvodů je varianta č.2 vhodnější, než varianta č. 1, avšak stále se nejedná o ideální variantu.

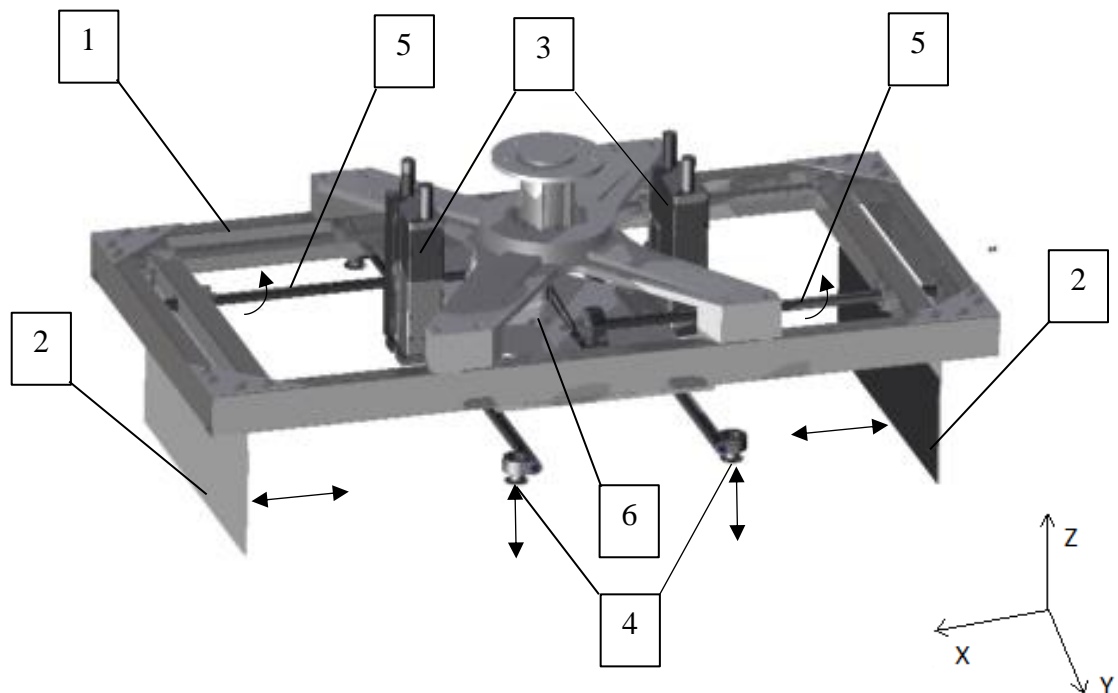




6.3 Varianta č. 3

Jednotlivé prvky popsány v této kapitole jsou znázorněny na Obr. 6.4. Varianta č. 3 je velmi podobná variantě č. 2. Podtlakový uchopovací systém je u této varianty totožný, jako u varianty č. 2. Přísavky (4) jsou pomocí pneumatických motorů s lineárním vedením (3) spojeny se základním rámem (1). Hlavním rozdílem je konstrukce základního rámu. Ten je u varianty č. 3 celý pevný. Pohyb čelistí umožňuje lineární vedení, které je složeno z kolejnic připevněných na základním rámu a z vozičku, který je pomocí obdélníkového profilu spojen s čelistí (2).

Pohyb čelistí zajišťuje elektromotor (6) spojený s kuličkovými šrouby (5) pomocí dvou ozubených řemenic. Na rozdíl od variant č. 1 a 2 nevykonávají kuličkové šrouby paralelní translační pohyb, ale pouze rotační. Tím je vyřešen problém kolize kuličkového šroubu a základního rámu.



Zhodnocení:

Vzhledem k nevýhodám úchopných hlavic č. 1 a č. 2 popsaných u jednotlivých variant se jeví varianta č. 3 jako ideální. Z těchto důvodů je varianta úchopné hlavice č. 3 vybrána jako vhodné řešení a všechny následující výpočty a návrhy budou realizovány pro tuto variantu.



7 Výpočtová a návrhová část

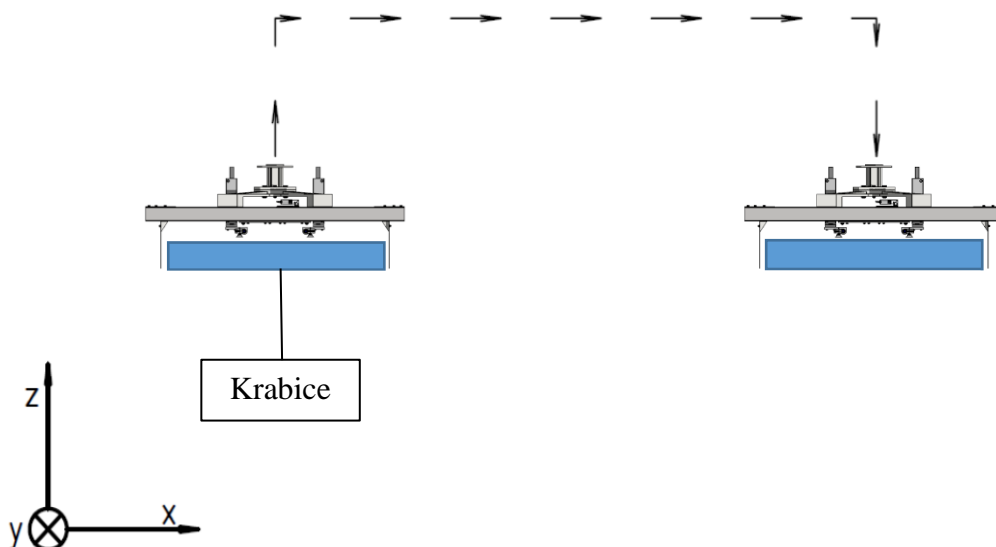
7.1 Výpočet uchopovací síly

Výpočet uchopovací síly bude proveden pro zrychlení v ose X, v ose Z směrem vzhůru a v ose Z směrem dolů. Úchopná hlavice poté bude navrhována pro největší potřebnou uchopovací sílu zvětšenou o danou hodnotu bezpečnosti.

Zjednodušená dráha, po které se bude uchopovací hlavice pohybovat, je znázorněna na Obr. 7.1 pomocí krabice, vyobrazené modrou barvou, a zmenšeného modelu úchopné hlavice.

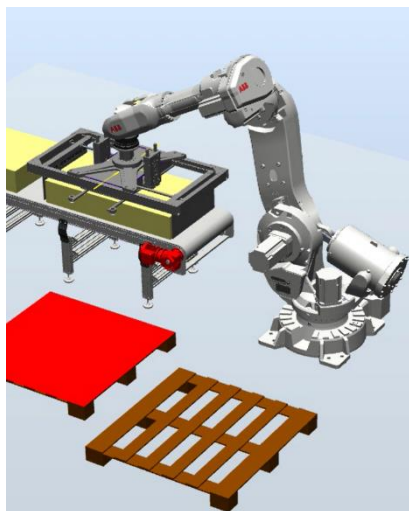
Dráha se skládá z pohybů:

- Směrem vzhůru v ose Z při odebrání krabice z dopravního pásu.
- Vodorovně v ose X při přemisťování krabice z prostoru nad dopravním pásem směrem nad paletu.
- Směrem dolů v ose Z při pokládání krabice na paletu.

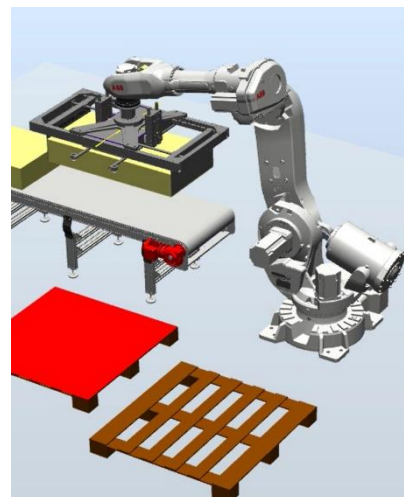




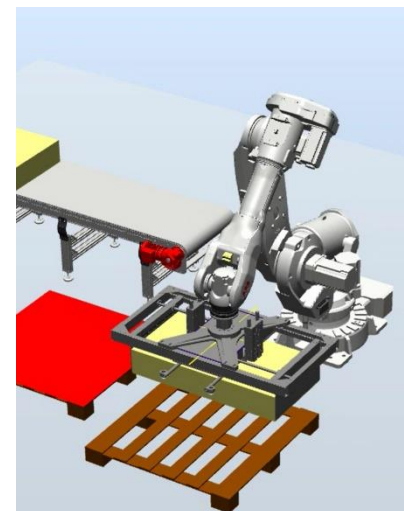
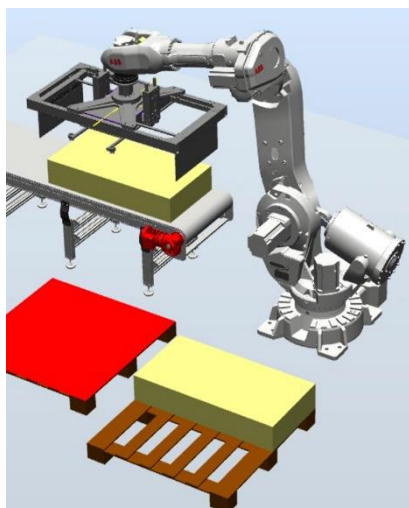
Pohyb úchopné hlavice ve 3D



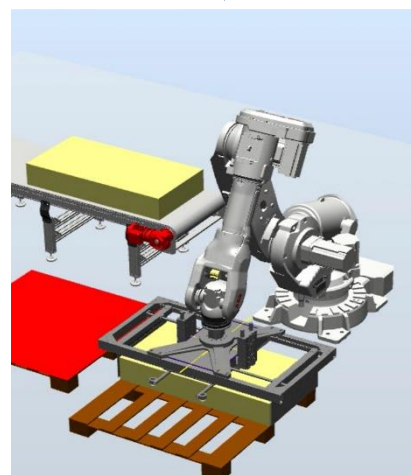
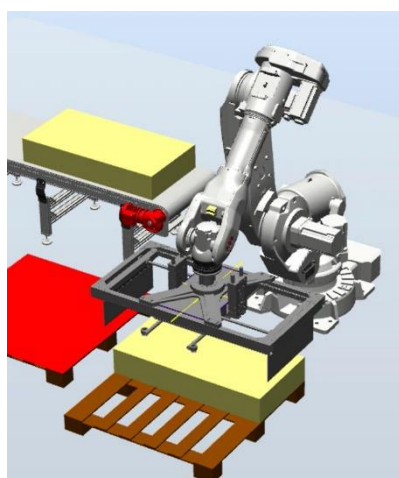
Pohyb vzhůru
v ose Z



Vodorovný
pohyb v ose X

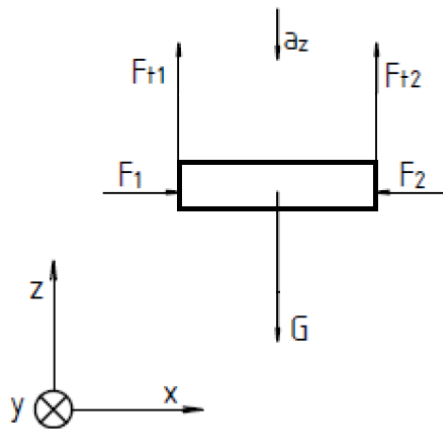


Pohyb dolů
v ose Z





Zrychlení v ose Z směrem vzhůru



Obr. 7.3: Zrychlení v ose Z směrem vzhůru

$$\sum F_x: F_1 - F_2 = 0 \quad (3)$$

$$F_1 = F_2$$

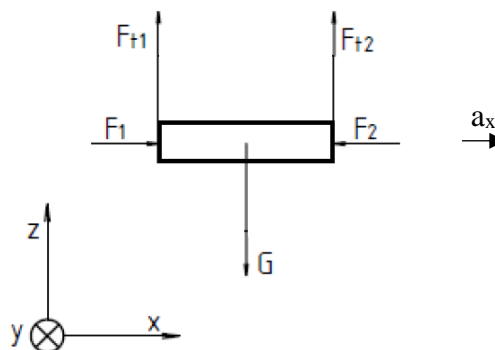
$$\sum F_z: F_{t1} - G + F_{t2} = m \cdot a_z \quad (4)$$

$$F_1 \cdot f - m \cdot g + F_2 \cdot f = m \cdot a_z$$

Za podmínky $F_1 = F_2$

$$F_2 = m \cdot (a_z + g) \cdot \frac{1}{2 \cdot f}$$

Zrychlení v ose X směrem vzhůru





$$\sum F_z: F_{t1} + F_{t2} - G = 0 \quad (5)$$

$$F_1 \cdot f + F_2 \cdot f - m \cdot g = 0$$

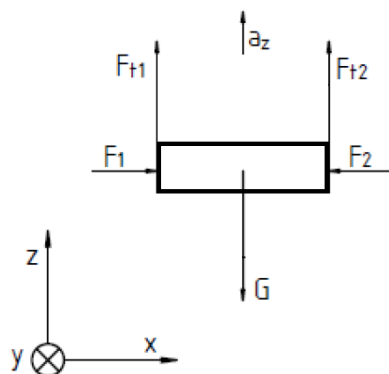
$$F_2 = \frac{m \cdot g}{f} - F_1$$

$$\sum F_x: F_1 - F_2 = m \cdot a_x \quad (6)$$

$$F_1 - \frac{m \cdot g}{f} + F_1 = m \cdot a_x$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a_x + g \cdot \frac{1}{f})$$

Zrychlení v ose Z směrem dolů



Obr. 7.5: Zrychlení v ose Z směrem dolů

$$\sum F_x: F_1 - F_2 = 0 \quad (7)$$

$$F_1 = F_2$$

$$\sum F_z: F_{t1} - G + F_{t2} = -m \cdot a_z \quad (8)$$

$$F_1 \cdot f - m \cdot g + F_2 \cdot f = -m \cdot a_z$$

Za podmínky $F_1 = F_2$

$$F_2 = m \cdot (-a_z + g) \cdot \frac{1}{2 \cdot f}$$



Hodnoty pro dosazení do rovnic:

- Hmotnost: $m = 20 \text{ kg}$
- Tíhové zrychlení: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Zrychlení: $a = 8 \text{ m/s}^2$
- Koeficient tření: $f = 0,6$

Koeficient tření je velmi důležitý parametr, jelikož dokáže velikost uchopovací síly ovlivnit až několikanásobně. Z tohoto důvodu budou na čelistech úchopné hlavice pryžové vrstvy, které zvýší koeficient tření mezi krabicí a čelistmi a bude tak třeba nižší uchopovací síly.

V Tab. 7.1 jsou příklady koeficientů tření mezi vybranými materiály včetně toho, který je třeba znát, tedy mezi kartonem a pryží. Při určování koeficientu tření se uvažuje statický a suchý povrch jak kartonových krabic, tak čelistí úchopné hlavice.

Materiál 1	Materiál 2	Statický, suchý povrch
Pryž	Karton	0,5 - 0,8
Pryž	Pryž	1,16
Pryž	Hliník	0,7
Pryž	Ocel	0,5

Tab. 7.1: Koeficient tření [5]

V Tab. 7.2 je vidět, že koeficient tření mezi pryží a kartonem je v rozmezí 0,5 – 0,8. Pokud by se při výpočtech uvažoval koeficient 0,8, byla by hodnota potřebné uchopovací síly nejnižší, naopak s koeficientem 0,5 by byla potřeba nejvyšší uchopovací síla. Je zvolena hodnota zhruba mezi krajními hodnotami, ale pro jistotu spíše nižší, tedy 0,6.

Uchopovací síly při jednotlivých pohybech:

Osa	Síla F_1 [N]	Síla F_2 [N]
Osa Z směrem vzhůru	296,83	296,83
Osa X	243,5	83,5
Osa Z směrem dolů	30,17	30,17

Tab. 7.2: Minimální uchopovací síly

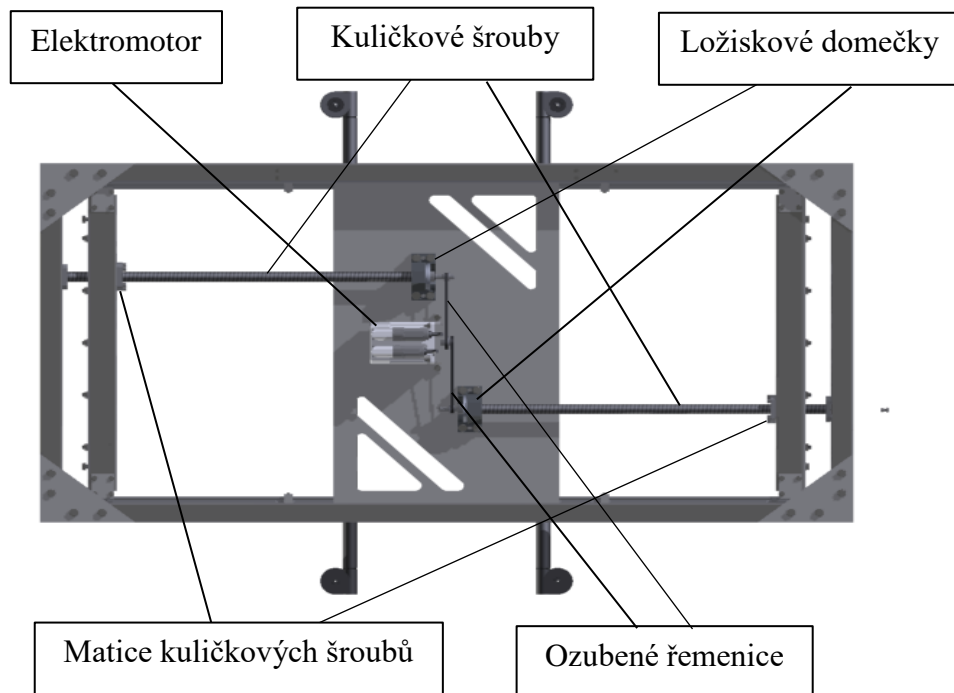
Z Tab. 7.2 vyplývá, že největší uchopovací síla $F_{max} = 296,83 \text{ N}$ je potřeba při pohybu v ose Z směrem vzhůru, tedy při zvedání krabice z dopravníkového pásu. Výsledná uchopovací síla se získá po zvětšení uchopovací síly koeficientem bezpečnosti $k = 2$.

$$F_u = F_{max} \cdot k \quad (9)$$

$$F_u = 296,83 \cdot 2$$

$$F_u = 593,66 \text{ [N]} \Rightarrow \text{pro další výpočty je zvolena } F_u = 600 \text{ [N]}$$

7.2 Návrh kuličkového šroubu



Obr. 7.6: Výpočtové schéma kuličkových šroubů [6]

Úkolem této práce je návrh úchopné hlavice s mechanickým transformačním blokem a právě kuličkový šroub slouží jako transformační blok, jelikož je to prvek, který převádí rotační pohyb na přímočarý. Sestava pohonu je na Obr. 7.6.

Kuličkový šroub je navrhován dle katalogu společnosti HIWIN. V úvodu je volen typ kuličkového šroubu dle Tab. 7.3.

Provedení	Třída přesnosti (max. úchylka stoupání v_{300} na 300 mm)	Rozsah průměrů	Rozsah stoupání
Válcované	T 5 (0.023 / 300 mm) T 7 (0.052 / 300 mm)	8 - 63 mm	2.5 - 40 mm
Okružované	P 5 (0.023 / 300 mm) P 7 (0.052 / 300 mm)	16 - 80 mm	5 - 20 mm
Broušené	P 1 (0.006 / 300 mm) P 3 (0.012 / 300 mm) P 5 (0.023 / 300 mm)	6 - 100 mm	1 - 50 mm

Tab. 7.3: Základní rozdělení kuličkových šroubů [7]

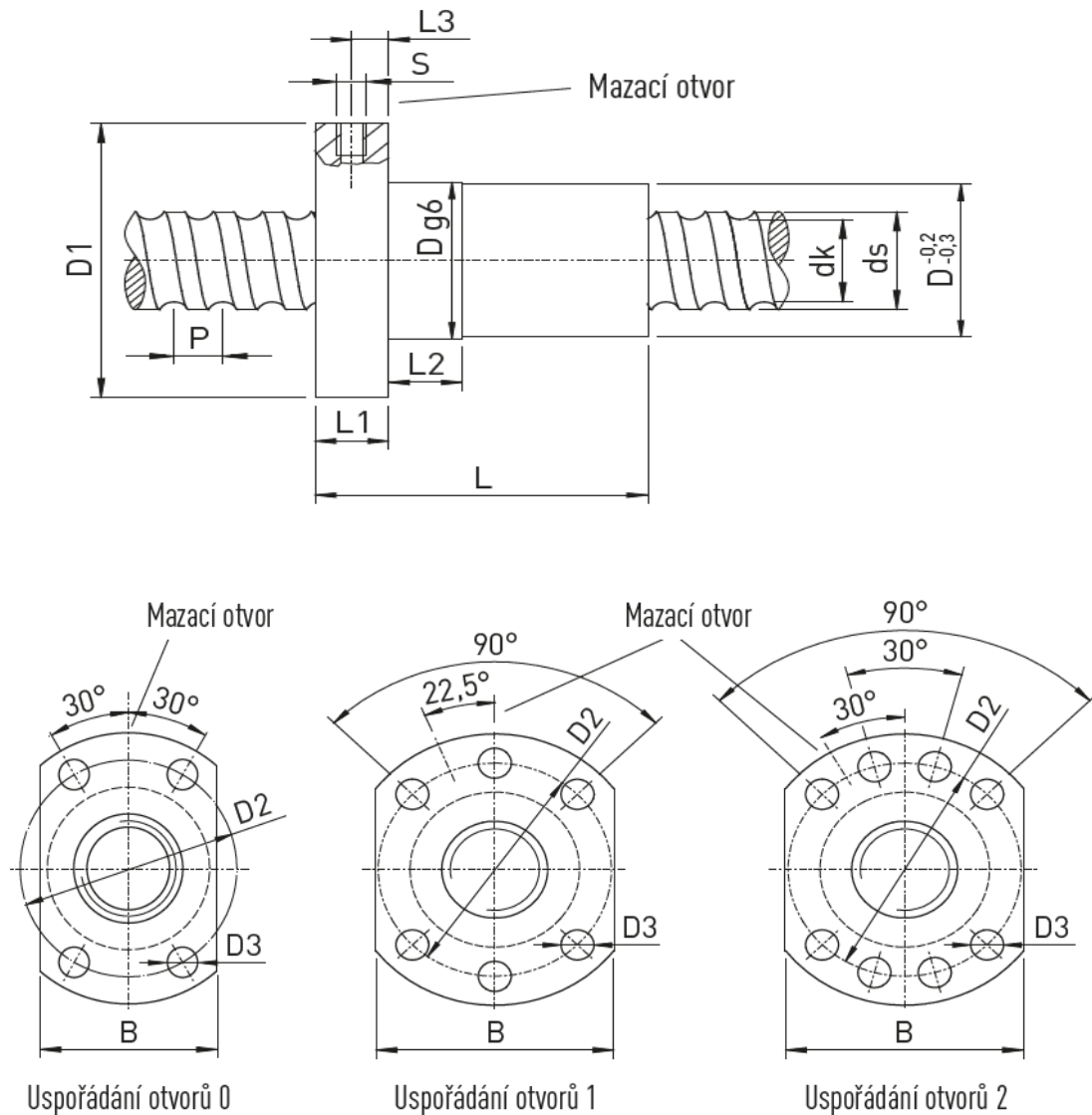
Válcovaný typ šroubu je svojí přesností plně dostačující i vzhledem k tomu, že se jedná o nejlevnější typ kuličkového šroubu.



7.2.1 Parametry kuličkových šroubů a matic

Vzhledem k celkové velikosti úchopné hlavice budou prováděny kontrolní výpočty pro kuličkové šrouby o průměru 16 a 20 mm.

Parametry kuličkových šroubů:



Obr. 7.7: Kuličkový šroub s jednoduchou přírubovou maticí [7]

Označení matice	Velikost závitu	ds ±0.1	P	D g6	D1	D2	D3	Uspořádání otvorů	L	L1	L2	L3	S	B	dk	Dynamická únosnost [N]	Statická únosnost [N]	Max. axiální vůle [mm]	Hmotnost matice [kg]	Hmotnost závitu [kg/m]	Třída přesnosti T5
R16-10K3-FSCDIN	16x10	14.6	10	28	48	38	5.5	1	45	10	10	5	M6	40	12.5	9100	19300	0.04	0.19	1.17	●
R20-10K3-FSCDIN	20x10	19.3	10	36	58	47	6.6	1	48	10	10	5	M6	44	16.6	10000	23500	0.04	0.32	2.07	●

Tab. 7.4: Parametry kuličkových šroubů [7]



7.2.2 Kontrola maximálních otáček

Kritické otáčky závisí na průměru, délce a uložení kuličkového šroubu. Maximální pracovní otáčky n_{max} by neměly přesáhnout 80 % kritických otáček n_k .

$n_k = k_d \cdot \frac{d_k}{l_d^2} \cdot 10^8 \quad (10)$	n_k - kritické otáčky [min^{-1}] n_{max} - max. přípustné otáčky [min^{-1}] k_d - koeficient uložení d_k - průměr hřídele [mm] l_d - vzdálenost mezi ložisky [mm]
$n_{k16} = 2,74 \cdot \frac{16}{650^2} \cdot 10^8$ $n_{k16} = 10\,376 \text{ min}^{-1}$ $n_{max16} = 10\,376 \cdot 0,8$ $n_{max16} = 8\,301 \text{ min}^{-1}$	$k_d = 2,74$ (oba konce pevné) $d_{k1} = 16$ $l_d = 650$
$n_{k20} = 2,74 \cdot \frac{20}{650^2} \cdot 10^8$ $n_{k20} = 12\,970 \text{ min}^{-1}$ $n_{max20} = 12\,970 \cdot 0,8$ $n_{max20} = 10\,376 \text{ min}^{-1}$	$k_d = 2,74$ (oba konce pevné) $d_{k2} = 20$ $l_d = 650$

Tab. 7.5: Kontrola maximálních otáček

7.2.3 Kontrola vzpěrné tuhosti

Axiální zatížení kuličkového šroubu může být pouze tak velké, aby nedošlo k deformaci kuličkového šroubu. Přípustná velikost axiálního zatížení závisí na jeho průměru, délce a uložení. Maximální axiální zatížení F_{kmax} se může rovnat nejvýš 50% teoretického zatížení F_k .

$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_k^2} \cdot 10^5 \quad (13)$	F_k - max. teor. dovolená axiální síla [N] F_{kmax} - max. dovolená provozní ax. síla [N] k_k - koeficient uložení d_k - průměr hřídele [mm] l_k - nepodepřená délka hřídele [mm]
$F_{kmax} = F_k \cdot 0,5 \quad (14)$	



$F_{k16} = 4,06 \cdot \frac{16^4}{620^2} \cdot 10^5$ $F_{k16} = 69\,219\, N$ $F_{kmax16} = 69\,219 \cdot 0,5$ $F_{kmax16} = 34\,609\, N$	$k_k = 4,06$ $d_{k1} = 16$ $l_k = 620$
$F_{k20} = 4,06 \cdot \frac{20^4}{620^2} \cdot 10^5$ $F_{k20} = 168\,991\, N$ $F_{kmax20} = 168\,991 \cdot 0,5$ $F_{kmax20} = 84\,495\, N$	$k_k = 4,06$ $d_{k2} = 20$ $l_k = 620$

Tab. 7.6: Kontrola vzpěrné tuhosti

7.2.4 Výpočet životnosti

Životnost kuličkového šroubu závisí na mnoha aspektech, jako jsou čistota prostředí, zatížení v čase, mazání, vibrace, rázy aj.

$L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m \cdot 60} \quad (15)$	L_h - životnost kuličkového šroubu [h] C_{dyn} - dynamická únosnost [N] F_m - střední zatížení [N] n_m - střední otáčky [min^{-1}]
$L_{h16} = \left(\frac{9100}{607,9}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{120 \cdot 60}$ $L_{h16} = 466\,000\, h$	$C_{dyn16} = 9\,100$ [N] $F_m = 607,9$ [N] $n_m = 120$ [min^{-1}]
$L_{h20} = \left(\frac{10000}{607,9}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{120 \cdot 60}$ $L_{h20} = 618\,000\, h$	$C_{dyn20} = 10\,000$ [N] $F_m = 607,9$ [N] $n_m = 120$ [min^{-1}]
$F_m = F_u + F_R \quad (16)$ $F_R = \mu \cdot F$ $F_R = \mu \cdot m_{\check{c}} \cdot g$ $F_R = 0,04 \cdot 20 \cdot 9,81$ $F_R = 7,9\, N$ $F_m = 600 + 7,9$ $F_m = 607,9\, N$	F_R - třecí odpor lineárního vedení μ - koeficient tření $m_{\check{c}}$ - hmotnost čelisti [kg]

Tab. 7.7: Výpočet životnosti v provozních hodinách



7.2.5 Výpočet hnacího kroučícího momentu

Hodnotu hnacího kroučícího momentu je potřeba znát především pro návrh hnacího elektromotoru. Jedná se o hodnotu kroučícího momentu potřebného k převodu rotačního pohybu na přímočarý. Vzorec pro výpočet hnacího kroučícího momentu opět pochází z katalogu společnosti HIWIN pro návrh a výběr kuličkového šroubu.

$M_{kč} = \frac{F_m \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad (17)$	$M_{kč}$ - hnací kroučící moment kul. šroubu [Nm] F_m - axiální síla působící na matici [N] P - stoupání kuličkového závitu [mm] η - účinnost (standardně 0,88)
$M_{kč} = \frac{607,9 \cdot 10}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88}$	
$M_{kč} = 1,1 \text{ Nm}$	

Tab. 7.8: Výpočet hnacího kroučícího momentu

Zhodnocení:

Z výpočtů provedených v předchozích podkapitolách vyplývá, že oba kuličkové šrouby splňují všechny potřebné parametry, a to až několikanásobně. Vzhledem k povaze pracoviště a velikosti samotné uchopovací hlavice je zvolen kuličkový šroub **R20-10K3-FSCDIN**.

Doporučenou maticí pro zvolený kuličkový šroub je jednoduchá přírubová matice dle DIN 69051 (viz Obr. 7.7) s parametry uvedenými v Tab. 7.4 pro uvedený kuličkový šroub v odstavci výše.



7.3 Návrh pohonu

Pohon úchopné čelisti bude obstarávat elektromotor, který bude pomocí ozubených řemenic přenášet svůj kroutící moment na kuličkové šrouby. Potřebný kroutící moment pro pohyb jedné čelisti byl již spočítán v kapitole 7.2.5. Tudíž při volbě převodového poměru $i = 1$ je třeba zvýšit potřebný kroutící moment vycházející z motoru o hodnotu, o kterou se zmenší vlivem účinnosti řemenového převodu $\eta = 97\%$.

Minimální kroutící moment motoru

$$M = \frac{2 \cdot M_{k\check{c}}}{\eta^2} \quad (18)$$

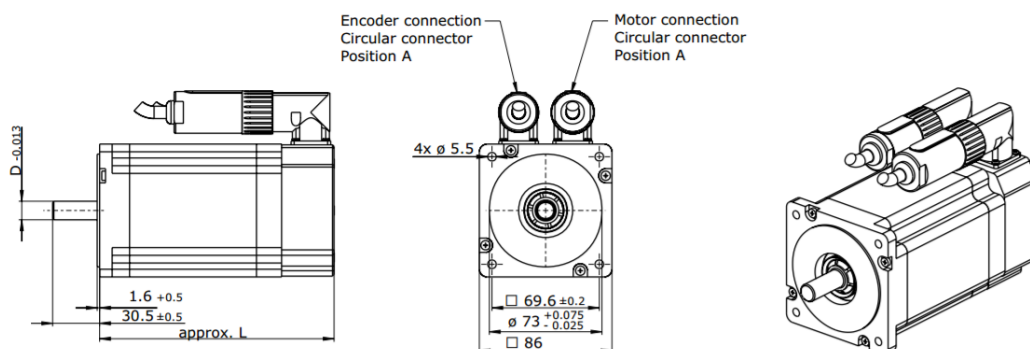
$$M = \frac{2 \cdot 1,1}{0,97^2} = 2,34 \text{ Nm}$$

Motor také musí zajistit, aby při zvedání krabice nedošlo k jejímu zmáčknutí. Všem těmto kritériím vyhovuje synchronní motor 34S42-0560-A05LA-AA společnosti Raveo, jehož základní parametry jsou v Tab. 7.9 a na Obr. 7.8. S rostoucí silou vyvíjenou motorem se zvětšuje i proud odebíraný ze sítě. Při překročení stanovené hodnoty proudu dojde k vypnutí motoru a jeho aretaci v dané poloze pomocí mechanické brzdy. Tím bude zajištěno, že krabice nebude zničena, ale přesto bude uchopena definovanou silou.

Parametry motoru

Kroutící moment [Nm]	Jmenovitý kroutící moment [Nm]	Výstupní otáčky [min^{-1}]	Délka motoru [mm]
3,5	2,5	500	114

Tab. 7.9: Parametry elektromotoru [8]



Obr. 7.8: Rozměry a popis elektromotoru [8]



7.4 Návrh přísavek

Podtlakový uchopovací systém je navrhován pro uchopení proložek a jejich následný přesun na krabice. Při návrhu přísavek je uvažováno zrychlení robotu $a = 8 \text{ m/s}^2$ a hmotnost proložek $m = 5 \text{ kg}$.

Výpočet uchopovací síly

$$\begin{aligned} F &= m \cdot (g + a) \\ F &= 5 \cdot (9,81 + 8) = 89,05 \text{ N} \end{aligned} \quad (19)$$

Výpočet průměru přísavek

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} \quad (20)$$

Kde:

D – průměr přísavky [mm]

F – uchopovací síla ($F = 89,05 \text{ N}$)

p – maximální hodnota vakua ($p = 80 \text{ kPa}$)

s – součinitel bezpečnosti ($s = 4$)

n – počet přísavek [ks] ($n = 4$)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 89,05 \cdot 4 \cdot 1000}{\pi \cdot 80 \cdot 4}} = 37,65 \text{ mm}$$

Pro minimální průměr přísavek 37,65 mm byly vybrány přísavky ESH-HA-1-PK (189194) o průměru $D = 40 \text{ mm}$.

Tvorbu vakua zajišťuje společný ejektor VN-20-H-T6-PQ4-VQ5-RO2-M společnosti FESTO.

Svislý pohyb přísavek bude řízen pomocí dvou pneumatických motorů DFM-50-200-P-A-GF společnosti FESTO. Součástí konstrukce pneumatických motorů je i lineární vedení, tudíž není potřeba dalšího externího lineárního vedení. Základní parametry pneumatického motoru jsou uvedeny v Tab. 7.10.



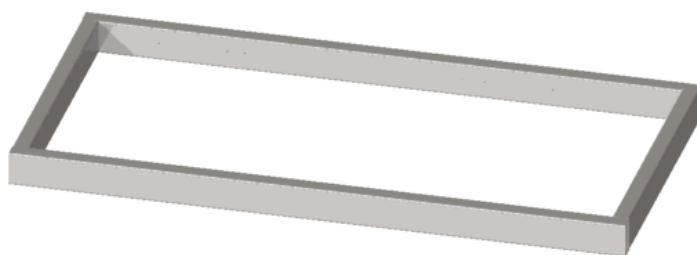
Parametr	Hodnota
Zdvih	200 mm
Průměr pístu	50 mm
Vedení	Kluzné vedení
Provozní tlak	1-10 bar
Maximální rychlost	0,6 m/s
Teoretická síla při 6 barech, zpětný chod	1 057 N
Teoretická síla při 6 barech, dopředný chod	1 178 N
Hmotnost výrobku	8 139 g

Tab. 7.10: Parametry pneumatického motoru [9]

7.5 Základní rám

Základní rám (viz Obr. 7.9) se skládá ze čtyř obdélníkových ocelových profilů o rozměrech 80x40x2 mm. Je to jediný prvek celé konstrukce, který je svařovaný. Všechna ostatní spojení mezi konstrukčními prvky jsou šroubová a to především z důvodu snadné montáže, ale i demontáže.

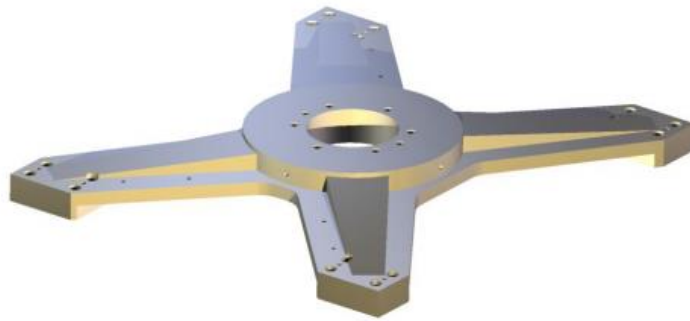
Povrch základního rámu musí být obroben, jelikož k němu bude připevněno lineární vedení, které má velké požadavky na přesnost.



Obr. 7.9: Základní rám z obdélníkových profilů

Ke konstrukci základního rámu bude připevněno lineární vedení, jak již bylo zmíněno, dále ložiskové domečky pro úchyt kuličkového šroubu a základní deska, která bude sloužit pro uchycení motoru, ložiskových domečků a pneumatických motorů.

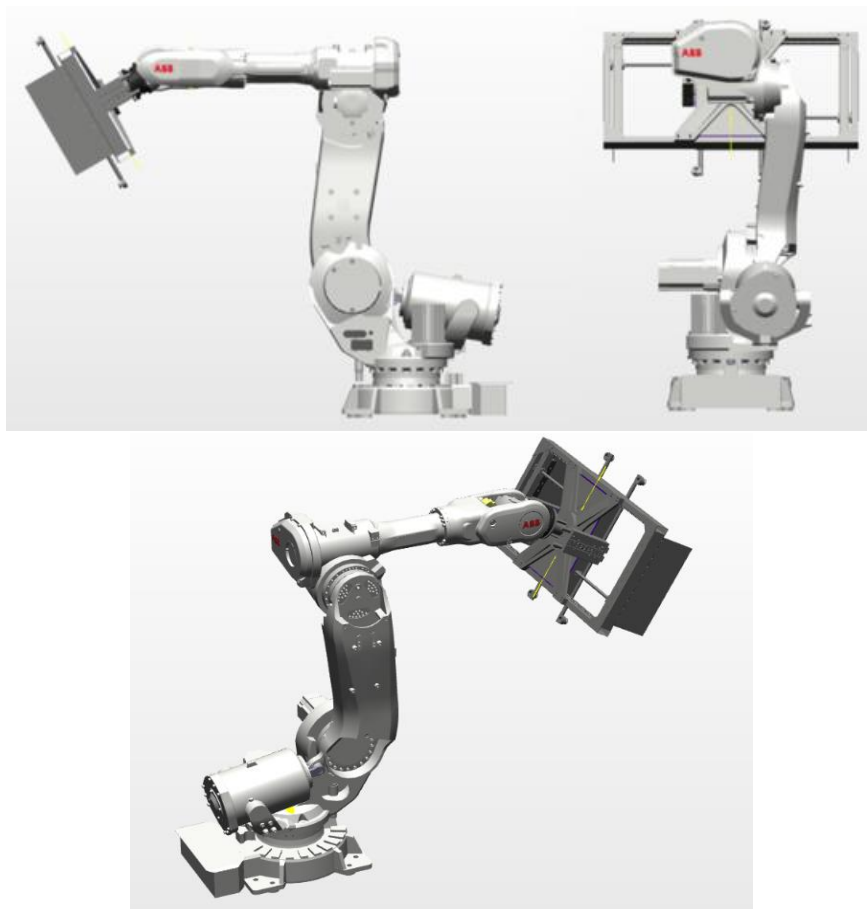
Základní rám bude spojen s koncovým ramenem robota pomocí hliníkového rámu (viz Obr. 7.10) a příruby, která slouží k protažení celé konstrukce do výšky, jelikož pneumatické motory by při určitých pohybech mohly kolidovat s ramenem robota. Hliníkový rám je vyráběn firmou DE-STA-CO, váží pouze 10 kg a maximální nosnost deklarována výrobcem je 590 kg.



Obr. 7.10: Hliníkový rám

7.6 Výsledný koncept

Pro lepší představu velikosti úchopné hlavice vůči robotu je na Obr. 7.11 robot ABB IRB 6640-235 již včetně úchopné hlavice. Obrázek pochází z programu RobotStudio společnosti ABB, ve kterém je také tvořena výsledná simulace celého procesu.





8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout úchopnou hlavici s mechanickým transformačním blokem pro robot ABB IRB 6640-235. Úkolem této hlavice je uchopovat a následně přemísťovat kartonové krabice velikosti 600x600x200 mm o hmotnosti 10 kg a 1200x600x200 mm o hmotnosti 20 kg. Obsahem krabic je tuhý materiál, který se nebude při definované uchopovací síle deformovat. Jednotlivé vrstvy krabic jsou prokládány kartonovými proložkami.

Vzhledem k tomu, že kartonové proložky není možno uchopit mechanickým způsobem, bylo potřeba navrhnout ještě druhý systém úchopu. Jelikož kartonové proložky jsou lehké, mají tvar desky a nemají nepravidelný povrch, nejvhodnější způsob úchopu je podtlakový.

Nejdůležitějším parametrem při návrhu úchopné hlavice je uchopovací síla. Výsledná uchopovací síla potřebná pro uchopení a zvednutí větší krabice je 600 N. Pro tuto hodnotu byly následně navrhovány další prvky úchopné hlavice.

Konstrukce rámu úchopné hlavice je tvořena z obdélníkových profilů z konstrukční oceli svařených do obdélníkového tvaru. Součástí rámu je také rám z hliníku, který společně s přírubou spojuje úchopnou hlavici s robotem. K rámu je pomocí šroubového spojení připevněno lineární vedení, které umožňuje pohyb čelistí takřka bez třecích sil.

Pohyb čelistí obstarává synchronní elektromotor 34S42-0560-A05LA-AA společnosti Raveo, jehož kroutící moment je přenášén na dva kuličkové šrouby pomocí dvou ozubených řemenic. Motor svou konstrukcí a nastavením zaručí, aby nedošlo ke zdeformování krabic vlivem velké uchopovací síly.

Druhým uchopovacím systémem vedle systému mechanického je systém podtlakový. Toto řešení pomocí přísavek a společného ejektoru je ideální pro uchopování kartonových proložek. Systém přísavek je schopen vykonávat pohyb v ose Z a to především proto, aby si oba způsoby uchopení navzájem nepřekážely ve svých pracovních pozicích. Pohyb v ose Z obstarává dvojice pneumatických motorů s lineárním vedením DFM-50-200-P-A-GF společnosti FESTO.

Část procesu paletizace byla nasimulována v programu RobotStudio (viz. Příloha), odkud lze zjistit, jak dlouho trvá celý proces paletizace skládající se z paletizace čtyř velkých krabic, osmi malých krabic a čtyř proložek. Výsledný čas celého procesu vychází na cca 4 minuty a 20 sekund.

Celková hmotnost uchopovací hlavice je cca 90 kg. Včetně nejtěžšího objektu manipulace, velké krabice, dosahuje celková hmotnost přenášená robotem 110 kg, max. 120 kg. Z tohoto důvodu by bylo možné nahradit robot ABB IRB 6640 – 235 s nosností 235 kg robotem s menší nosností. Ze stejné série by mohl být vybrán např. robot ABB IRB 6640ID – 170 s nosností 170 kg a dosahem až 2,75 m.

Všechny návrhy a výpočty byly provedeny dle aktuálně platných norem či katalogů firem.



Použitá literatura

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. První. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2017-06-26]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [2] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-030-0361-X.
- [3] NÁDVORNÍK, Matěj. *Konstrukce chapadla paletizace kartonů*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Vladimír Andrlík.
- [4] *Technical data for the IRB 6640 industrial robot* [online]. b.r. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6640/irb-6640-data>
- [5] *Friction coefficients* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
- [6] KRISTOVÁ, Kamila. *Konstrukce chapadla robotu pro plošné svařence prvků rozvaděčových skříní*. Praha, 2012. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Vladimír Andrlík.
- [7] *Kuličkové šrouby* [online]. Aktualizované 2015. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/download>
- [8] *Vícepólové servomotory Raveo* [online]. 2010 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2014/11/34S42.pdf>
- [9] *Válce s vedením DFM/DFM-B* [online]. b.r. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/DFM_CZ.PDF
- [10] *Lineární vedení* [online]. Aktualizované 2015. b.r. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/download>
- [11] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [12] TALÁCKO, Jaroslav a Rudolf MATIČKA. *Manipulátory, průmyslové roboty, návody ke konstrukčnímu cvičení z mechanizace a automatizace výrobních strojů*. Praha: ČVUT v Praze, 1986.



Seznam obrázků

OBR. 2.1: OBECNÁ STRUKTURA EFEKTORU [3]	11
OBR. 2.2:HLAVICE S TĚLESEM EFEKTORU [1]	13
OBR. 2.3: HLAVICE S TĚLESEM EFEKTORU A KOMPENZÁTOREM [1]	13
OBR. 2.4: HLAVICE S TĚLESEM EFEKTORU A POHONEM [1].....	14
OBR. 3.1: PODMÍNKA BEZPEČNOSTI PRO APLIKACI PASIVNÍHO ÚCHOPNÉHO PRVKU [1].	16
OBR. 3.2: PŘÍKLADY ŘEŠENÍ SKUPINY T1 [1].....	18
OBR. 3.3: PŘÍKLADY ŘEŠENÍ SKUPINY T2 [1].....	19
OBR. 3.4: PŘÍKLADY ŘEŠENÍ SKUPINY T3 [1].....	20
OBR. 3.5: PŘÍKLADY ŘEŠENÍ SKUPINY T4 [1].....	20
OBR. 3.6: MOŽNOSTI UCHOPENÍ OBJEKTU MANIPULACE ČELISTMI [1].....	22
OBR. 3.7: PASIVNÍ MAGNETICKÝ EFEKTOR [1]	23
OBR. 3.8: AKTIVNÍ MAGNETICKÝ EFEKTOR [1]	24
OBR. 3.9: PŘÍSAVKA S EJEKTOREM [1]	25
OBR. 3.10: EFEKTOR S PŘÍSAVKAMI S JEDNÍM SPOLEČNÝM EJEKTOREM [1].....	25
OBR. 5.1: POSKLÁDANÉ KRABICE NA PALETĚ.....	27
OBR. 5.2: ZJEDNODUŠENÝ 3D MODEL PRACOVIŠTĚ	28
OBR. 5.3: PRACOVNÍ DOSAH ROBOTU ABB IRB 6640-235 [4].....	29
OBR. 5.4: INTERFACE DLE NORMY EN ISO 9409-1 [4]	30
OBR. 5.5: PÁSOVÝ DOPRAVNÍK [7]	31
OBR. 6.1: ÚCHOPNÁ HLAVICE VARIANTA Č. 1	33
OBR. 6.2: DETAIL KLOUBU ČELISTÍ	33
OBR. 6.3: ÚCHOPNÁ HLAVICE VARIANTA Č. 2	34
OBR. 6.4: ÚCHOPNÁ HLAVICE VARIANTA Č. 3	35
OBR. 7.1: ZJEDNODUŠENÁ DRÁHA POHYBU KRABICE S ÚCHOPNOU HLAVICÍ.....	36
OBR. 7.2: POHYB ÚCHOPNÉ HLAVICE VE 3D	37
OBR. 7.3: ZRYCHLENÍ V OSE Z SMĚREM VZHŮRU	38
OBR. 7.4: ZRYCHLENÍ V OSE X	38
OBR. 7.5: ZRYCHLENÍ V OSE Z SMĚREM DOLU	39
OBR. 7.6: VÝPOČTOVÉ SCHÉMA KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ [6].....	41
OBR. 7.7: KULIČKOVÝ ŠROUB S JEDNODUCHOU PŘÍRUBOVOU MATICI [7].....	42
OBR. 7.8: ROZMĚRY A POPIS ELEKTROMOTORU [8].....	46
OBR. 7.9: ZÁKLADNÍ RÁM Z OBDÉLNÍKOVÝCH PROFILŮ	48
OBR. 7.10: HLINÍKOVÝ RÁM.....	49
OBR. 7.11: ROBOT ABB 6640-235 S ÚCHOPNOU HLAVICÍ.....	49



Seznam tabulek

TAB. 3.1: KLASIFIKACE ÚCHOPNÝCH EFEKTORŮ [1]	15
TAB. 3.2: TYPY AKTIVNÍCH MECHANICKÝCH ÚCHOPNÝCH EFEKTORŮ [1]	17
TAB. 3.3: MECHANISMY MECHANICKÝCH ÚCHOPNÝCH EFEKTORŮ [1].....	21
TAB. 5.1: VLASTNOSTI JEDNOTLIVÝCH OS [4].....	29
TAB. 5.2: PARAMETRY PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU [7].....	31
TAB. 7.1: KOEFICIENT TŘENÍ [5]	40
TAB. 7.2: MINIMÁLNÍ UCHOPOVACÍ SÍLY	40
TAB. 7.3: ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ [7].....	41
TAB. 7.4: PARAMETRY KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ [7].....	42
TAB. 7.5: KONTROLA MAXIMÁLNÍCH OTÁČEK	43
TAB. 7.6: KONTROLA VZPĚRNÉ TUHOSTI.....	44
TAB. 7.7: VÝPOČET ŽIVOTNOSTI V PROVOZNÍCH HODINÁCH.....	44
TAB. 7.8: VÝPOČET HNACÍHO KROUTÍCÍHO MOMENTU	45
TAB. 7.9: PARAMETRY ELEKTROMOTORU [8].....	46
TAB. 7.10: PARAMETRY PNEUMATICKÉHO MOTORU [9].....	48



Seznam příloh

Výkresová dokumentace

1. 17-0216-00-S – Sestava úchopné hlavice
2. 17-0216-01-PS – Podsestava pohonu
3. 17-0216-00-K – Kusovník sestavy
4. 17-0216-01-K – Kusovník podsestavy

Elektronické přílohy (CD)

1. Bakalářská práce BP0216 v pdf
2. Simulace procesu paletizace v programu ABB RobotStudio 6.03
3. Výkresová dokumentace v pdf
4. Model v sat.

Seznam použitého softwaru

1. Microsoft Office Word
2. Autodesk Inventor Professional 2015
3. ABB RobotStudio 6.03
4. Malování