

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Konstrukční návrh efektorů pro laboratorní  
úlohy na robotech ABB  
Design of Effectors for Laboratory Tasks on  
ABB Robots

Student: Adam Boleslavský

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Ostrava 2019

# Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Boleslavský**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R013 Robotika

Téma: **Konstrukční návrh efektorů pro laboratorní úlohy na robotech ABB**  
**Design of Effectors for Laboratory Tasks on ABB Robots**

Jazyk vypracování: čeština

## Zásady pro vypracování:

- 1) Analyzujte současný stav laboratorních úloh na robotech ABB v centru robotiky. Vytvořte přehled stávajících efektorů a objektů manipulace.
  - 2) Definujte požadavky na efektor pro jednotlivé roboty. Na základě předchozí analýzy a definovaných požadavků vyberte robot, pro který navrhnete efektor.
  - 3) Navrhněte varianty konstrukčního řešení efektoru. Pomocí vícekritériální analýzy vyberte nejvhodnější variantu.
  - 4) Vybranou variantu podrobně zpracujte, doložte technickou zprávou, potřebnými výpočty a úplnou výkresovou dokumentací, podle pokynů vedoucího práce.
  - 5) V závěru zhodnoťte navrženou variantu a vypočítejte výrobní náklady navrženého efektoru.
- Práci též doložte v elektronické podobě, ve formátu editoru MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

## Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [2] *Citace PRO plus* [online]. [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: <<https://www.citacepro.com>> [3] Moodle, kurz: Technická dokumentace ZS 2012. [online]. [cit. 2013-10-13]. Dostupné z [www: <http://lms.vsb.cz/course/view.php?id=5803>](http://lms.vsb.cz/course/view.php?id=5803)
- [3] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. [cit. 2018-10-04]. Ostrava, 2007. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta\\_PraM.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PraM.pdf)
- [4] KOLÍBAL, Z a kol. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. I. vydání. Havlíčkův Brod: VUTIUM, 2016, 786 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [5] PALKO, A , SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efektor pre priemyslné a servisné roboty: Navrhovanie-konstrukcia-Riesenia* . 1.vyd Košice: Edícia vedeckej a odbornej literatury TU v Košiciach, 2004. ISBN 80-8073-218-3.
- [6] SKAŘUPA, J., ZELINA, P. *Hlavice průmyslových robotů*. 1.vyd Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1993. ISBN 80-7078-210-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

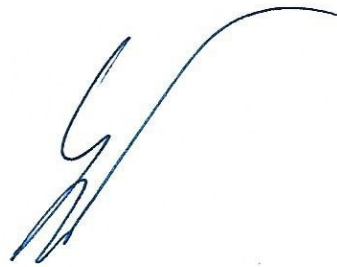
Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



---

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.5.2019

Adam Boleslavský

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě dne 20.5.2019

Adam Boleslavský

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Adam Boleslavský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kotrská 511

Velká Polom

747 64

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BOLESLAVSKÝ, A. *Konstrukční návrh efektorů pro laboratorní úlohy na robotech ABB: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2019, 92 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem efektorů pro laboratorní úlohy na robotech ABB. V úvodu je provedena analýza současného stavu laboratorních úloh na robotech ABB v centru robotiky. Je vytvořen přehled stávajících efektorů a objektů manipulace. Jsou definovány požadavky na efektor pro jednotlivé roboty. Na základě předchozí analýzy a definovaných požadavků je vybrán robot, pro který je navržen efektor. Jsou navrženy varianty konstrukčního řešení efektoru. Pomocí vícekritériální analýzy je vybrána nejvhodnější varianta. Vybraná varianta je podrobně zpracována, doložena technickou zprávou, podrobnými výpočty a úplnou výkresovou dokumentací. V závěru je zhodnocena navržená varianta a vypočteny výrobní náklady navrženého efektoru.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BOLESLAVSKÝ, A. *Construction design of effectors for laboratory tasks on ABB robots: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2019, 92 s. Thesis head: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

This bachelor thesis deals with the construction design of effectors for laboratory tasks on ABB robots. In the introduction, an analysis of the current state of laboratory tasks performed on the ABB robots in the Centre of Robotics is executed, as is an overview of existing effectors and objects of manipulation. Requirements are defined for individual robots. Based on the previous analysis and requirements a robot is chosen. An effector is designed for this robot. Variants of construction design are proposed. Out of these variants, the most appropriate one will be chosen by multi-criterial analysis. The chosen variant is thoroughly handled and processed, backed up by a technical report, detailed calculations and a complete design documentation. The proposed variant is assessed in the conclusion, as are the production costs of the designed effector.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Slovník termínů a zkratek	13
Seznam obrázků	14
Seznam tabulek	16
Seznam grafů	17
Úvod	18
1 Analýza současného stavu	19
1.1 Vybavení laboratoří	20
1.1.1 ABB IRB 140	20
1.1.2 ABB IRB 1 400	22
1.1.3 ABB IRB 14 000	23
1.2 Přehled efektorů pro roboty ABB	25
1.3 Přehled objektu manipulací pro roboty ABB	30
2 Výběr robota	31
2.1.1 ABB IRB 1200	32
3 Požadavkový list	35
4 Analýza efektorů s lineárním posuvem	36
5 Varianty řešení	39
5.1 Varianta č. 1	39
5.2 Varianta č. 2	40
5.3 Variant č. 3	41
5.4 Varianta č. 4	42
6 Vícekriteriální analýza	43
7 Konstrukce efektoru	46
8 Tělo	48
8.1 Návrh hnacího motoru	48

8.1.1	Rozbor pohybu	50
8.2	Výpočet brzdného mechanismu	53
8.2.1	V zastaveném stavu	54
8.2.2	Ve stavu odbrzděno	58
8.2.3	Výpočet motoru na odbrzdění	62
8.2.4	Shrnutí brzdného mechanismu	63
8.3	Kontrola kolíků	64
8.3.1	Kolík od ložisek	64
8.3.2	Kolík od pružiny	67
8.4	Kontrola kluzného pouzdra a lícovaného šroubu	68
8.4.1	Kontrola Lícování šroubu:	69
8.4.2	Kontrola kluzného pouzdra	71
8.5	Kontrola ložisek brzdných pák	72
9	Elektronika	74
10	Čelisti	78
11	Výrobní náklady	86
12	Závěr	88
	Zdroje	89
	Seznam příloh	91



## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Význam	Jednotka
$a_1$	vzdálenost dotyku b. páky s mezikusem, od osy h. motoru	m
$a_2$	vzdálenost dotyku b. páky s mezikusem, od osy líc. šroubu	m
$b_1$	vzdálenost působíště síly od pružiny od osy souměrnosti	m
$b_2$	vzdálenost pružiny od osy lícovaného šroubu	m
$C_0$	základní statická únosnost	-
$c_1$	délka opěrné části kolíku od ložiska, v místě brzdné páky	m
$c_2$	délka opěrné části kolíku od ložiska, v místě ložiska	m
$c_3$	délka opěrné části kolíku od pružiny	m
$c_4$	délka opěrné části lícování v místě brzdné páky	m
$c_5$	délka opěrné části kluzného pouzdra v místě brzdné páky	m
$C_{dyn}$	dynamické zatížení vozíku	N
$C_{OV}$	statické zatížení vozíků	N
$d_1$	výsledný průměr kolíků od ložisek	m
$d'_1$	předběžný návrh průměru kolíků od ložisek	m
$d_2$	výsledný průměr kolíků od pružiny	m
$d'_2$	předběžný návrh průměru kolíků od pružiny	m
$d_3$	průměr lícování šroubu	m
$d'_3$	návrh průměru lícování šroubu	
$f_{(hliník-hliník)}$	koeficient tření mezi hliníkem a hliníkem	-
$F_1$	síla vyvozená z momentu motoru	N
$F_{1S}$	je sklopená $F_1$ na rameno momentu od brzdné páky	N
$F_2$	síla od pružiny	N
$F_{2S}$	sklopená $F_2$ na rameno momentu od pružiny	N
$F_{2SkutMAX}$	maximální síla od pružiny	N
$F_{31}$	sklopená $F_{N11}$ na rameno momentu od první brzdné páky	N
$F_{32}$	sklopená $F_{N22}$ na rameno momentu od druhé brzdné páky	N
$F_{\check{c}1}$	radiální síla působící na lícovaný šroub a kluzné pouzdro	N
$F_{dov}$	základní dynamické únosnost (radiální směr)	N
$f_h$	faktor tvrdosti	-
$F_m$	síla, která vytváří ohybový moment z těžiště	N
$F_{M11}$	síla z momentu od brzdného motoru	N

$F_{N11}$	radiální síla působící od vačky na ložisko	N
$F_{N22}$	radiální síla působící od vačky na ložisko	N
$F_p$	síla, která působí od pružiny na jednu brzdou páku	N
$F_{pp}$	síla působící na kolík od pružiny v místě brzdé páky	N
$F_{ps1}$	je sklopená $F_p$ na rameno momentu od druhé brzdé páky	N
$F_{ps2}$	sklopená $F_p$ na rameno momentu od druhé brzdé páky	N
$F_{pul}$	síla, která vytváří ohybový moment na jeden	N
$f_{SL}$	statická konstrukční bezpečnost	-
$f_{SMX}$	statický bezp. faktor pro zatížení momentem v rovině x	-
$f_{SMY}$	statický bezp. faktor pro zatížení momentem v rovině y	-
$f_{SMZ}$	statický bezp. faktor pro zatížení momentem v rovině z	-
$f_t$	teplotní faktor	-
$F_{tř}$	třecí síla vozíku	N
$F_{třecí}$	výsledná třecí síla vozíku	N
$f_w$	zatěžovací faktor	-
$g$	gravitační zrychlení	$m/s^2$
$I_{MAXdriveru}$	maximální odběr proudu driverem	A
$I_{MAXřidicíjednotky}$	maximální odběr proud řídicí jednotkou	A
$I_{motoruB}$	odběr proudu motorem na odbrzdění	A
$I_{motoruH}$	odpor proudu hnacím motorem	A
$I_V$	výsledný potřebný proud z měniče napětí	A
$k_{Ohybu1}$	zvolená bezpečnost	-
$k_{Otláčení1}$	výsledná bezpečnost na otláčení v místě brzdé páky	-
$k_{Otláčení2}$	výsledná bezpečnost na otláčení v místě ložiska	-
$k_{Otláčení3}$	výsledná bezpečnost na otláčení v místě brzdé páky	-
$k_{Otláčení4}$	výsledná bezp. na otláčení v místě b. páky na líc. šroubu	-
$k_{Otláčení5}$	výsledná bezp. na otláčení kluzného pouzdra v místě b. páky	-
$k_{pastorku}$	roztečná kružnice pastorku	m
$k_{sílu}$	výsledná bezpečnost na sílu kluzného pouzdra	N
$k_{Smyku1}$	výsledná bezpečnost ve smyku v místě ložiska	-
$k_{Smyku4}$	výsledná bezpečnost ve smyku na lícování šroubu	-
$L$	jmenovitá životnost vozíku v kilometrech	km
$L_1$	délka pružiny ve stavu zastaveno	m

$L_{10}$	základní trvanlivost v otáčkách	ot.
$L_2$	délka pružiny ve stavu odbrzděno	m
$L_h$	jmenovitá životnost vozíku v hodinách	hod
m	hmotnost soustavy prstů, úchytů na prsty a OM	kg
$M_2$	moment od místa styku brzdné páky s mezikusem ke šroubu	Nm
$M_3$	moment od místa působení síly od pružiny ke šroubu	Nm
$M_{BM}$	potřebný moment na motoru na odbrzdění	Nm
$M_{\text{hnacího motoru}}$	návrh momentu hnacího motoru	Nm
$M_{m11}$	potřebný moment pro otevření první páky	Nm
$M_{m22}$	potřebný moment pro otevření druhé páky	Nm
$M_{\text{motoru}}$	skutečný moment hnacího motoru	Nm
$m_{OM}$	hmotnost objektu manipulace	kg
$M_{oMAX1}$	ohybový moment, který působí v kolíku od ložisek	Nm
$M_{oMAX2}$	ohybový moment, který působí v kolíku od pružiny	Nm
$M_{oMAX3}$	ohybový moment, který působí na lícovaný šroub	Nm
$M_{OX}$	statický moment v rovině x	Nm
$M_{OY}$	statický moment v rovině y	Nm
$M_{OZ}$	statický moment v rovině z	Nm
$M_X$	výsledný ohybový moment na vozík v rovině x	Nm
$M_{XF}$	moment od svěrné síly v rovině x	Nm
$M_{XFM}$	moment od těžiště soustavy v rovině x	Nm
$M_Y$	výsledný ohybový moment na vozík v rovině y	Nm
$M_{yF}$	moment od svěrné síly v rovině y	Nm
$M_{YFM}$	moment od těžiště soustavy v rovině y	Nm
$M_Z$	výsledný ohybový moment na vozík v rovině z	Nm
$M_{ZF}$	moment od svěrné síly v rovině z	Nm
$M_{ZFM}$	moment od těžiště soustavy v rovině z	Nm
N	normálová síla, působící na brzdné páky	N
$n_{\text{otáčky motoru}}$	počet otáček hnacího motoru	rpm
$N_{\text{počet otáček}}$	počet otáček potřebných pro maximální rozevření efektoru	°
P	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	N
$P_1$	provozní zatížení při vodorovném pohybu čelistí	N
$p_1$	tlak na kolík od ložiska, v místě brzdné páky	MPa

$P_2$	provozní zatížení při vertikálním pohybu čelistí	N
$p_2$	tlak na kolík od ložiska, v místě ložiska	MPa
$P_3$	provozní zatížení při horizontálním pohybu čelistí	N
$p_3$	tlak na kolík od pružiny, v místě brzdě páky	MPa
$p_4$	tlak na lícování v místě brzdě páky	MPa
$p_5$	tlak na kluzné pouzdro v místě brzdě páky	MPa
$p_{dov}$	dovolený tlak na otlacení	MPa
$P_{dov2}$	součinitel měrného dynamického zatížení	MPa
$R_1$	odpor prvního rezistoru	$\Omega$
$r_1$	poloměr mezikusu v části dotyku s brzdou pákou	m
$R_2$	odpor druhého rezistoru	$\Omega$
$r_2$	vzdálenost působíště b. síly na b. páce od osy líc. šroubu	m
$r_3$	vzdálenost působíště síly z pružiny, od osy šroubu	m
$r_4$	vzdálenost ložiska od osy šroubu	m
$r_{51}$	vzdálenost osy motoru od působíště síly na ložisko první páky	m
$r_{51}$	vzdálenost osy motoru od síly na ložisko druhé páky	m
$r_{pastorku}$	je poloměr pastorku	m
$S_0$	statická bezpečnost ložiska	-
$s_1$	vzdálenost síly na brzdě páce od působíště síly na ložisko	m
$s_2$	vzdálenost síly na brzdě páce od působíště síly pružiny	m
$s_3$	vzdálenost síly na brzdě páce od síly na ložisko	m
$S_{dráha\ hřebene}$	dráha, kterou urazí prst efektoru od max. rozevření k min.	m
$T$	čas, který je potřeba pro maximální rozevření	s
$T_{min}$	minimální čas, který je potřeba k sevření čelistí	s
$U_C$	teoretická svěrná síla	N
$U_{skut}$	skutečná svěrná síla	N
$V$	objem objektu manipulace	$cm^3$
$V_{in}$	vstupní napětí ze signálu robota	V
$v_{max}$	maximální rychlost svírání efektoru	m/s
$V_{out}$	výstupní napětí z měniče	V
$x$	vzdálenost působíště svěrné síly od těžiště vozíku v ose x	m
$x_t$	vzdálenost těžiště soustavy od těžiště vozíku v ose x	m
$y_t$	vzdálenost těžiště soustavy od těžiště vozíku v ose y	m
$z$	vzdálenost působíště svěrné síly od těžiště vozíku v ose z	m

$z_t$	vzdálenost těžiště soustavy od těžiště vozíku v ose z	m
$\alpha$	úhel mezi $N$ a $F_{1S}$	°
$\beta$	úhel mezi $F_2$ a $F_{2S}$	°
$\gamma_1$	úhel odklonění první brzdné páky od roviny symetrie	°
$\gamma_2$	úhel odklonění druhé brzdné páky od roviny symetrie	°
$\delta_1$	úhel mezi $F_{31}$ a $F_{N11}$	°
$\delta_2$	úhel mezi $F_{32}$ a $F_{N22}$	°
$\varepsilon$	zrychlení hnacího motoru	rad/s <sup>2</sup>
$\mu$	součinitel tření mezi vozíkem a kolejnicí	-
$\rho_{OM}$	hustota objektu manipulace	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_{DO}$	dovolený tlak v ohybu	MPa
$\tau_{dov}$	dovolený tlak ve smyku na kolíku u ložisek	MPa
$\tau_{s1}$	tlak ve smyku na kolíku u ložisek	MPa
$\tau_{s4}$	tlak ve smyku na lícování šroubu	MPa
$\omega_1$	úhel mezi $F_{M11}$ a $F_{N11}$	°
$\omega_2$	úhel mezi $F_{M22}$ a $F_{N22}$	°

## **Slovník termínů a zkratk**

Autonomie	svébytnost, nezávislost, samospráva, funkční samostatnost
Kolaborativní robot	robot, který dokáže spolupracovat s člověkem
OM	objekt manipulace

## Seznam obrázků

Obr. 1 ABB IRB 140 .....	20
Obr. 2 Úloha Fix .....	21
Obr. 3 Sebrat kostku .....	21
Obr. 4 Horký drát.....	22
Obr. 5 ABB IRB 1 410 .....	22
Obr. 6 ABB IRB 14 000 .....	23
Obr. 7 ABB IRB 1 200 – 3D model .....	31
Obr. 8 ABB IRB 1 200 – Současný stav.....	32
Obr. 9 Objekt manipulace.....	34
Obr. 10 Možné principy řešení mechanických úchopných efektorů typu T1[2] .....	36
Obr. 11 Možné principy řešení mechanických úchopných efektorů typu T3 [2] .....	37
Obr. 12 Uplatnění mechanismů u různých typů mechanických úchopných efektorů [2].....	38
Obr. 13 Varianta č. 1.....	39
Obr. 14 Varianta č. 2.....	40
Obr. 15 Varianta č. 3.....	41
Obr. 16 Varianta č. 4.....	42
Obr. 17 Efektor pro laboratorní účely na robotu ABB IRB 1 200.....	46
Obr. 18 Rozdělení celkové konstrukce efektoru.....	47
Obr. 19 Popis těla.....	48
Obr. 20 Schéma vybuzení svěrné síly.....	48
Obr. 21 Micro Metal Gearmotor LP [3] .....	49
Obr. 22 Schématický rozbor pohybu .....	50
Obr. 23 Popis brzdného mechanismu .....	53
Obr. 24 Schéma zastaveného stavu.....	54
Obr. 25 Výpočet pružiny pomocí výpočetního programu dodavatele [6] .....	57
Obr. 26 Schéma ve stavu maximálního odbrzdění .....	58
Obr. 27 Motor na odbrzdění [7].....	62
Obr. 28 Pomocné schéma pro výpočet kolíku od ložisek.....	64
Obr. 29 Pomocné schéma pro výpočet kolíku od pružiny .....	67
Obr. 30 Pomocné schéma pro výpočet lícování šroubu.....	69
Obr. 31 Kluzné pouzdro [9].....	71
Obr. 32 Výpočet ložiska 623 [10].....	73
Obr. 33 Část elektronika .....	74

Obr. 34 A-Star 32U4 Micro [11] .....	74
Obr. 35 DRV8835 [12] .....	75
Obr. 36 Enkodéry [13] .....	75
Obr. 37 Měnič napětí [14] .....	76
Obr. 38 Vlastní měnič napětí [17] .....	77
Obr. 39 Část čelisti .....	78
Obr. 40 Měření parametrů v rýsovací programu .....	79



## Seznam tabulek

Tab. 1 Technické parametry robota ABB IRB 140 .....	21
Tab. 2 Technické parametry robota ABB IRB 1 400 .....	23
Tab. 3 Technické parametry robota ABB IRB 14 000 .....	24
Tab. 4 Efektory pro roboty ABB IRB 140 a ABB IRB 1 410 .....	28
Tab. 5 Efektory pro robota ABB IRB 14 000 .....	29
Tab. 6 Objekty manipulace v laboratořích katedry robotiky .....	30
Tab. 7 Technické parametry robota ABB IRB 1 200 .....	32
Tab. 8 Požadavkový list .....	35
Tab. 9 Hodnoty kritérií .....	43
Tab. 10 Kritéria .....	43
Tab. 11 Významnost kritérií .....	44
Tab. 12 Hodnocení varianty č. 1 .....	44
Tab. 13 Hodnocení varianty č. 2 .....	45
Tab. 14 Hodnocení varianty č. 3 .....	45
Tab. 15 Hodnocení varianty č. 4 .....	45
Tab. 16 Parametry hnacího motoru .....	49
Tab. 17 Parametry motoru na odbrzdění .....	62
Tab. 18 Parametry kluzného pouzdra .....	71
Tab. 19 Parametry A-Star 32 U4 Micro .....	74
Tab. 20 Parametry DRV8835 .....	75
Tab. 21 Parametry enkodérů .....	75
Tab. 22 Parametry měniče napětí .....	76
Tab. 23 Výrobní náklady .....	87

## Seznam grafů

Graf 1 Graf významnosti kritérií .....	44
Graf 2 Závislosti momentu na poloměru ozubeného kola .....	49

## Úvod

Cílem této práce je zhotovit konstrukční návrh efektorů pro laboratorní úlohy na robota od firmy ABB.

Nejdříve se v této práci nachází analýza současného stavu vybavení laboratoří. V kapitolách jsou uvedeny seznamy robotů, efektorů a objektu manipulací v laboratořích katedry robotiky.

Na základě průzkumů je stanoven robot a objekt manipulace, na který se bude navrhovat nový efektor pro laboratorní úlohy.

Je zde uveden návrh variant a výběr jedné optimální. Tato varianta je pak dále zpracována a kontrolována potřebnými výpočty.

K dokumentu jsou přiloženy patřičné přílohy, ve kterých se, mimo jiné, nachází kompletní výrobní dokumentace efektoru pro laboratorní úlohy. V náležité sekci lze nalézt i ekonomické zhodnocení efektoru.

# 1 Analýza současného stavu

## Průmyslové roboty

Jsou roboty, které jsou používány pro úkony, jež souvisí s výrobní činností rozličných typů produktů.

Tyto úkony vykonávají cyklicky nebo autonomně. Při realizaci výrobních úkonů, průmyslové roboty mohou sbírat data ze senzorů nebo kamer. Na základě získaných dat pak roboty vykonávají činnost dle předepsaného zdrojového kódu. Využívání kamer a senzorů u průmyslových robotů zvyšuje jejich přesnost a zlepšuje bezpečnost výroby.

Průmyslové roboty se mezi sebou mohou lišit v mnoha ohledech. Mohou mít různé kinematické struktury, různý počet stupňů volnosti, různé nosnosti, různé druhy pohonů, mohou být buď univerzální nebo kompaktní a v neposlední řadě je můžeme také dělit podle geometrie jejich pracovního prostoru.

## Efektory

Robotické nebo manipulační systémy nesou na svém konci (na přírubě) uchopovací zařízení neboli efektor, které slouží k uchopení objektů manipulace. Objekty manipulace mohou být různých tvaru, rozměrů, materiálů a hmotností. Uchopení musí být dosti pevné a bezpečné, aby nedošlo k vyklouznutí či pádu objektu manipulace. Sevření ale nesmí být zase příliš velké, aby uchopovací silou nedošlo k jeho poškození.

Z toho vyplývá, že efektor může nabývat spousty různých struktur a je nejvariabilnější a nedílnou částí robota. Efektor lze u robota lehce vyměnit a tím změnit druh činnosti, které se věnuje. Je to tedy konstrukční celek, který lze považovat i jako nástroj pro jednotlivé pracovní činnosti, které mohou souviset například ve výrobě takřka s čímkoliv od uchopování s cílem přenosu objektu manipulace (např. mezioperačním transportem) až po skládání komponentů do hotových celků.

Efektory tedy lze rovněž dělit podle různých kritérií. Můžeme je dělit například podle druhů činností, nosnosti, pohonu nebo způsobu vyvození úchopné síly, kterou lze realizovat pomocí spousty variant, kde mezi nejznámější patří mechanická, magnetická a podtlaková. Mechanické sevření je, když k úchopu jsou využívány prsty, jako u lidské ruky. Magnetický úchop lze použít, pokud je objekt manipulace z feromagnetického materiálu. Podtlakový druh úchopu je realizován nejčastěji pomocí přísavek, či ejektorů.

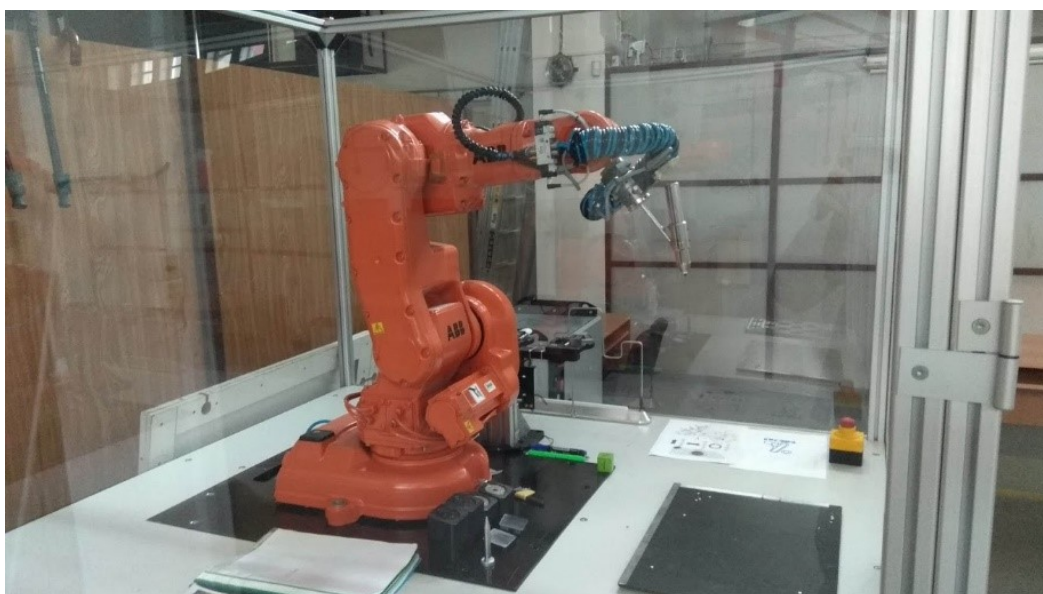
## 1.1 Vybavení laboratoří

Laboratoře na naší katedře obsahují různé roboty, pro které jsou připravené úlohy, na nichž se studenti vzdělávají a učí se, jak robotické systémy pracují a jak se ovládají. Úlohy jsou vymyšleny tak, aby demonstrovaly schopnosti robotů, které dané úlohy provádějí. Studenti se také učí, jakými způsoby lze robot řídit, komunikovat s ním, jak funguje vnitřní logika a jak celkově probíhá komunikace robota s okolním prostředím.

Dle pokynů jsem se soustředil na roboty od firmy ABB, které vyrábí celou škálu robotů s různými vlastnostmi, nosnostmi, velikostmi a schopnostmi. Na katedře se konkrétně nacházejí roboty typu ABB IRB 140, ABB IRB 1 400 a ABB IRB 14 000.

### 1.1.1 ABB IRB 140

Je šestiosý, angulární robot. Má plně integrovaný kabelový systém. Pro zajištění vyšší bezpečnosti a spolehlivosti a bezpečnosti má robot funkci detekce nárazu s následným pohybem zpět. Z těchto a z mnoha dalších důvodů byl tento robot vybrán jako výukový prostředek na naší katedru. (viz příloha A).



Obr. 1 ABB IRB 140

## Technické parametry robota ABB IRB 140:

<u>Parametr</u>	<u>Velikost parametru</u>
Počet stupňů volnosti	6
Dosah	0,81 m
Nosnost	6 kg
Maximální rychlost	2,5 m/s
Maximální zrychlení	20 m/s <sup>2</sup>
Hmotnost	98 kg
Napájení	200–600 V, 50–60 Hz

Tab. 1 Technické parametry robota ABB IRB 140

### Na tomto robotu se provádí následující laboratorní úlohy:

První úlohou je fix. Robot má na sobě nasazený efektor, který se rovněž jmenuje stejně jako úloha – fix. Student, který plní tuto úlohu, má za úkol zadat robotu dráhu z jeho výchozí pozice, do pozice, kdy se špičkou fixu dotýká podložky s papírem. Dále musí do robota nahrát zdrojový kód, pomocí kterého robot vykreslí fixem různé geometrické obrazce. Jakmile robot vykreslí obrazec, opět se vrátí do výchozí pozice.



Obr. 2 Úloha Fix

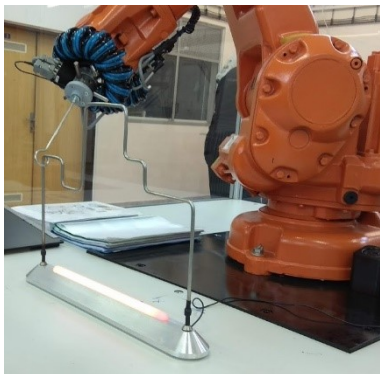


Obr. 3 Sebrat kostku

Druhá úloha je sebrat kostku. Na tuto úlohu studenti používají efektor s názvem dvoudotykové chapadlo. Pomocí tohoto efektoru mají studenti za úkol uchopit kostku v místě A, a přemístit ji do místa B. Dále pak mohou robota naprogramovat, ať bere kostky z řady a staví z nich věž nebo jiné útvary. Zde si žáci procvičují programování algoritmů, u nichž se s postupem odjetého cyklu mění proměnné. Prověří si zde

také opakovatelnost jednotlivých úkonů daného robota.

Třetí úlohou na tomto typu robota je přemístit kostku. Používá se jednopřísavkový efektor. Úkol je zde téměř stejný, jako v druhé úloze – přemísťovat kostky z místa A do místa B, a dále přemísťovat kostky do řad, věží a dalších útvarů a procvičovat si tak použití algoritmů při programování robotů.



*Obr. 4 Horký drát*

Čtvrtá úloha je horký drát. V první řadě slouží tato úloha k demonstraci přesnosti a rychlosti, s jakou daný robot pracuje. Studenti si zkusí naprogramovat projetí dráhy, aniž by se dotkli drátu. Tato úloha obsahuje dráhu, kterou prohází proud, a efektor s indikací elektrického proudu.

### 1.1.2 ABB IRB 1 400

Je šestiosý průmyslový robot, určený pro výrobní průmysl. Robot se v průmyslu vybavuje různým hardwarem pro jeho další pracovní úkony, například lepení nebo obloukové svařování. V současné době není na tomto robotu, na naší katedře, vykonávána žádná laboratorní úloha. Tento robot je však vybaven stejnou přírubou pro připojení efektoru jako výše zmíněný robot ABB IRB 140, a proto může používat stejné efektory. Tudiž tyto dva roboty mohou vykonávat stejné úlohy. (viz příloha B)



*Obr. 5 ABB IRB 1 410*

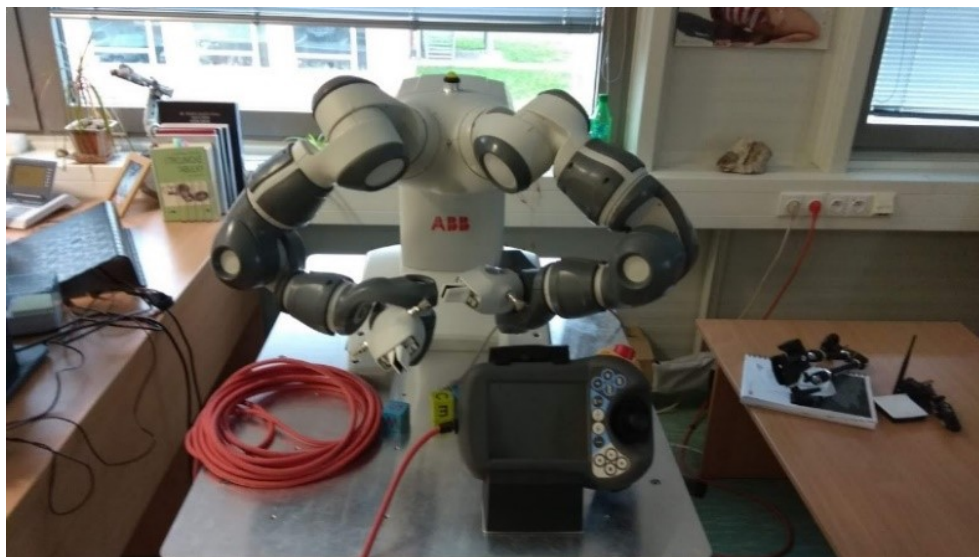
## Technické parametry robota ABB IRB 1 400:

<u>Parametr</u>	<u>Velikost parametru</u>
<i>Počet stupňů volnosti</i>	6
<i>Dosah</i>	1,44 m
<i>Nosnost</i>	5 kg
<i>Hmotnost</i>	225 kg
<i>Napájení</i>	200–600 V, 50–60 Hz

*Tab. 2 Technické parametry robota ABB IRB 1 400*

### 1.1.3 ABB IRB 14 000

Společnost ABB vyvinula průmyslového robota ABB IRB 14 000, neboli YuMiho, se dvěma pažemi, pro montáž drobných součástek. Nejčastěji se v průmyslu využívá pro výrobu drobných součástí a elektroniky. YuMi je robot, který dokáže spolupracovat s člověkem, aniž by člověk či robot přišli k úrazu. Jde tedy o kolaborativního robota. Proto i výrobci vhodně zvolili přezdívku YuMi což znamená „You and Me”, tedy „ty a já”. Na naší katedře se na tomto robotu žáci seznamují s pojmem kolaborativní robot a se vším, co tento systém obnáší. (viz příloha C).



*Obr. 6 ABB IRB 14 000*



## Technické parametry robota ABB IRB 14 000:

<u>Parametr</u>	<u>Velikost parametru</u>
<i>Počet stupňů volnosti</i>	14
<i>Dosah</i>	0,5 m
<i>Nosnost</i>	0,5 kg
<i>Maximální rychlost</i>	1,5
<i>Maximální zrychlení</i>	11
<i>Hmotnost</i>	38 kg
<i>Napájení</i>	200–600 V, 50–60 Hz

*Tab. 3 Technické parametry robota ABB IRB 14 000*

### **Na tomto robotu se provádí následující laboratorní úlohy:**

V laboratorní úloze s názvem předávání kostek studenti programují robota k úloze, při níž si robot vezme jedním ramenem kostku a předá si ji do druhé paže. Poté kostku položí druhou paží zpět na místo, odkud ji první rameno vzalo.



Další úloha má název skládání součástek. Jde o úlohu, kdy levé i pravé rameno uchopí každé jednu kostku a poté robot přikládá tyto kostky v prostoru k sobě různými hranami. Tato úloha má simulovat úkon skládání malých součástek, pro který byl robot výrobcem navrhnut.

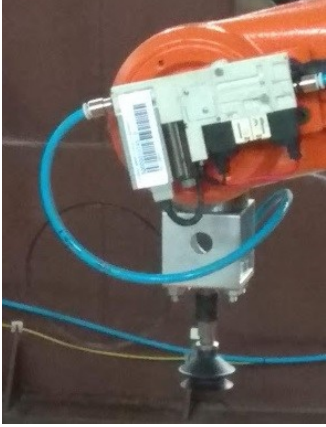

Tyto úlohy vyžadují již míru znalostí tohoto systému a jeho programování. Proto tyto úlohy provádějí studenti vyšších ročníků.

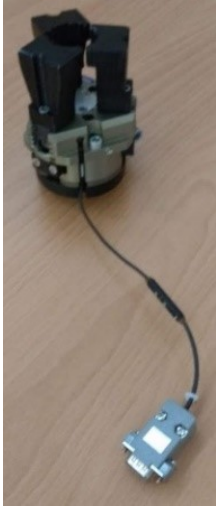

## 1.2 Přehled efektorů pro roboty ABB



V této kapitole jsem formou tabulky zhotovil přehled efektorů pro roboty od firmy ABB, které se na naší katedře nacházejí.

### Přehled efektorů pro roboty ABB IRB 140 a ABB IRB 1 400:

Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p style="text-align: center;">Fix</p> 	<p>Efektorem je násada, do níž se umístí fix, který se zajistí pružinou a odmontovatelným víkem. Osa fixu oproti přírubě je vychýlená o 22,5°. Součástí efektoru je násada na automatickou výměnu nástrojů a čidlo pro detekci nasazení efektoru. Ve skladu je na katedře ještě jeden stejný efektor se stejnými parametry, ten ale nemá násadu na automatickou výměnu nástrojů a čidlo pro detekci nasazení efektoru. Jinak je ve všech ohledech stejný a připraven k použití.</p> <p>Požadavky na efektor:</p> <p>Efektor, který je schopný za sebou zanechávat detekovatelnou stopu, díky které bude snadné demonstrovat uplynulou dráhu a přesnost. Dále pak možnost zautomatizovat výměnu tohoto nástroje pomocí systému automatické výměny nástrojů.</p>
Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p style="text-align: center;">Dvoudotykové chapadlo</p> 	<p>Skládá ze dvou plechových prstů, příruby pro systém automatické výměny i s čidlem pro detekci nasazení a PGN-plus 64 od firmy SCHUNK. Je to efektor pro uchopování předmětů s plochými stranami.</p> <p>Požadavky na efektor:</p> <p>Efektor, který dokáže uchopit kostku. Vysoká bezpečnost provozu, kvůli probíhajícímu vzdělávání na tomto efektoru. Automatická výměna pro demonstraci tohoto systému. Robustnost a bytelnost konstrukce z důvodu možných kolizních stavů během probíhající výuky.</p>



Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p data-bbox="316 212 635 246">Jednopřísavkový efektor</p> 	<p data-bbox="671 212 1455 526">Je řízen kompaktním ejektorem s vakuovým spínačem (obsahuje třicestný dvoupolohový elektricky řízený rozvaděč, díky kterému dokáže nejen nasát objekt, ale disponuje i funkcí odvodu, přičemž se daného přenášeného objektu lépe zbavuje). Číslo ejektoru je: 50000014745/0. Pracovní tlak je 6 barů.</p> <p data-bbox="671 629 962 663">Požadavky na efektor:</p> <p data-bbox="671 685 1455 999">Efektor pro přemísťování kostek. Efektor pro základní demonstraci efektorů využívajících pneumatických systémů. Konstrukčně lehký efektor. Snadná manipulace. Řízení efektoru. Co nejnižší cena. Kompaktnost konstrukce. Konstrukčně řešit tak, aby se konstrukce dala v případě potřeby rozšířit (zvětšit) pro případné přidání přísavek.</p>
Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p data-bbox="400 1155 547 1189">Horký drát</p> 	<p data-bbox="671 1155 1455 1469">Slouží k reprezentaci schopností výše zmíněného robotu. Na efektor je přiveden záporný náboj a na trať je přiveden náboj kladný. Při dotyku efektoru a tratě se uzavře elektrický obvod a spustí se zvuková a vizuální (světelná) signalizace kolize efektoru a tratě. Má na sobě násadu na automatický výměník efektorů.</p> <p data-bbox="671 1514 962 1547">Požadavky na efektor:</p> <p data-bbox="671 1570 1455 1771">Efektor pro laboratorní úlohu horký drát. Násada na automatickou výměnu nástrojů. Čidlo pro detekci průchodu elektrického proudu. Lehce odnímatelná tyčová násada pro případ kolize.</p>

Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p data-bbox="331 212 619 248">Třídotykové chapadlo</p> 	<p data-bbox="671 212 1457 521">Součástí efektoru je PZN-plus 100-1 třídy 303310 od firmy SCHUNK. Třídotykové chapadlo je univerzální tříprsté středové chapadlo s vysokou uchopovací silou a maximálním momentem díky vedení s více zuby. Má nasazené tři zuby, které byly vytisknuty na školní 3D tiskárně.</p> <p data-bbox="671 544 962 580">Požadavky na efektor:</p> <p data-bbox="671 602 1457 799">Třídotykové uchopovací zařízení pro demonstraci víceprstých efektorů. Snadná vyměnitelnost. Malé zástavbové rozměry, velká nosnost a malá váha. Co nejnižší cena.</p>
Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p data-bbox="325 1072 625 1162">Pneumatický čtyřpřisavkový efektor</p> 	<p data-bbox="671 1072 1457 1216">Je čtyřpřisavkový efektor. V aktuální podobě neobsahuje připojení na přírubový systém robotu. Funguje na stejném principu jako jednopřisavkový efektor.</p> <p data-bbox="671 1485 962 1520">Požadavky na efektor:</p> <p data-bbox="671 1543 1457 1798">Efektor pro demonstraci manipulace s lehkými ale rozměrnými objekty manipulace jako jsou například dřevěné desky nebo plechové tácy. Lehký efektor s využitím více přísavek. Co nejnižší cena. Kompaktnost, modulárnost konstrukce.</p>

Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p data-bbox="352 215 593 246">Dvouprstý efektor</p> 	<p data-bbox="671 215 1455 356">GWB 34-100 od firmy SCHUNK je univerzální dvouprsté chapadlo. Má dva ocelové prsty, ze kterých jeden momentálně není k dispozici.</p> <p data-bbox="671 629 960 660">Požadavky na efektor:</p> <p data-bbox="671 687 1455 828">Dvoudotykový efektor s robustní konstrukcí. Efektor s vysokým výkonem. Efektor s velkým polem působnosti. Efektor s vyměnitelnými čelistmi.</p>
Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
<p data-bbox="325 1081 620 1113">Dvoudotykový efektor</p> 	<p data-bbox="671 1081 1455 1223">PGF 80 třídy 340371 od firmy SCHUNK je univerzální servo-elektrický dvouprstý paralelní chapač. V aktuálním stavu má sundané dva prsty, vytisknuté na 3D tiskárně.</p> <p data-bbox="671 1496 960 1527">Požadavky na efektor:</p> <p data-bbox="671 1554 1455 1753">Efektor s vyměnitelnými čelistmi. Dvou dotykový paralelní chapač. Robustní konstrukce. Možnost použití na více typů robotů. Modulární konstrukce. Možnost snadné výměny prstů. Lehce ovladatelný.</p>

Tab. 4 Efektory pro roboty ABB IRB 140 a ABB IRB 1 410

### Přehled efektorů pro roboty ABB IRB 14 000:



Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
Servo + Vacuum 1 + Vacuum 2 	<p>Efektor obsahuje jeden servo modul a dva moduly vakuové. Tento efektor vyrábí přímo firma ABB pro tento typ robotu. Je napájen 24 V (stejnoseměrného proudu).</p>
	Požadavky na efektor:
	<p>Efektor pro ABB IRB 14 000. S možností snadné výměny. Efektor pro kolaborativního robota. Žádné ostré hrany. Dvou dotykový úchop. Snadné ovládání sevření.</p>
Fotografie a název efektoru:	Popis efektoru:
Servo + Vision + Vacuum 1 	<p>Efektor s jedním servo modulem, jedním vakuovým modulem a jedním vizuální modulem. Tento efektor vyrábí přímo firma ABB pro tento typ robotu. Efektor je napájen 24 V (stejnoseměrného proudu).</p>
	Požadavky na efektor:
	<p>Efektor pro ABB IRB 14 000. S možností snadného odnětí. Efektor pro kolaborativního robota. Žádné ostré hrany. Dvou dotykový úchop. Snadné ovládání sevření. Možnost snímání kamerou.</p>

Tab. 5 Efektory pro robota ABB IRB 14 000

### 1.3 Přehled objektu manipulací pro roboty ABB

V této kapitole jsem se věnoval analýze objektů manipulace (dále už jen OM) na katedře robotiky. Vytvořil jsem přehled předmětů, na kterých se žáci učí ovládat robotická zařízení v laboratořích a se kterými tedy vykonávají zadané laboratorní úlohy.

#### **Přehled OM pro roboty ABB IRB 140, ABB IRB 1 400 a ABB IRB 14 000:**

Fotografie a název objektu manipulace:	Popis objektu manipulace:
Velká kostka 	Kostka o hraně 40 mm. Je ze dřeva. Původně byla asi z dětské stavebnice či hry. Požadavky na objekt manipulace: Objekt manipulace s plochými stranami. Objekt manipulace s malou hmotností a rozměry. Reprezentativní konstrukce OM z důvodu nahrazování v 3D modelech, výpočtech a laboratorních úlohách.
Fotografie a název objektu manipulace:	Popis objektu manipulace:
Malá kostka 	Kostka o hraně 35 mm. Je ze dřeva. Původně byla asi z dětské stavebnice či nějaké hry. Požadavky na objekt manipulace: Jsou shodné s požadavky na OM u OM s názvem velká kostka.

Tab. 6 Objekty manipulace v laboratořích katedry robotiky

## 2 Výběr robota

Tato kapitola se věnuje výběru robota, pro kterého jsem navrhl efektor, na němž se v rámci studia budou studenti vzdělávat a procvičovat své znalosti.

Během vypracování analýzy laboratoří jsem se seznámil s roboty od firmy ABB, které se v té době nacházely na katedře robotiky. Pro tyto roboty jsem zpracoval výše uvedenou analýzu pracovišť, laboratorních úloh a efektorů, které se na naší katedře nacházely. V tu samou chvíli jsem se ale dozvěděl, že laboratoře projdou renovací a že se budou v následujících měsících zavádět do laboratoří nové roboty. Od pana Ing. Michala Vocetky jsem zjistil, že se bude zavádět nové laboratorní pracoviště se dvěma roboty ABB IRB 1 200. Toto pracoviště je navrženo jako systém robotických dvojčat. Po domluvě s vedoucím práce doc. Ing. Zdeňkem Konečným, Ph.D. bylo vybráno toto laboratorní pracoviště s těmito roboty jako to, pro které zhotovím konstrukční návrh efektorů. Na obrázku 7 je 3D model pracoviště a na obrázku 8 lze vidět současný stav pracoviště, které je již v této době sestaveno a připraveno k okamžitému využití.



*Obr. 7 ABB IRB 1 200 – 3D model*





Obr. 8 ABB IRB 1 200 – Současný stav

### 2.1.1 ABB IRB 1200

Je nový robot, kterým katedra vybaví své laboratoře. Má sloužit k demonstraci kolaborativních robotů, digitálních dvojčat. Robot ABB IRB 1 200 je šestiosý průmyslový robot, určený speciálně pro výrobní průmysl. (příloha D).

#### **Technické parametry robota ABB IRB 1 200:**

<u>Parametr</u>	<u>Velikost parametru</u>
<i>Počet stupňů volnosti</i>	6
<i>Dosah</i>	0,81 m
<i>Nosnost</i>	6 kg
<i>Výkon</i>	0,4 kW
<i>Maximální rychlost</i>	2,5 m/s
<i>Maximální zrychlení</i>	20 m/s <sup>2</sup>
<i>Hmotnost</i>	98 kg
<i>Napájení</i>	200–600 V, 50–60 Hz

Tab. 7 Technické parametry robota ABB IRB 1 200

#### **Laboratorní úlohy na novém robotickém pracovišti:**

Při konzultacích s panem doc. Ing. Zdeňkem Konečným, Ph.D. a panem Ing. Michalem Vocetkou byly navrženy laboratorní úlohy, které by mohly na tomto pracovišti probíhat. Šlo by

o laboratorní cvičení, které by se podobaly úlohám kolaborativního robota YuMiho. Demonstrovala by se v nich přesnost systému robotických dvojčat.

První a druhou úlohou by mohly být předávání kostek a skládání součástek, stejně jako u robota ABB IRB 14 000.

V další úloze by robot mohl stavět věž, a to tím způsobem, že liché kostky bude dávat jedno rameno a sudé kostky bude dávat druhé rameno. Šlo by o demonstraci přesnosti a spolupráce ramen mezi sebou.

### **Objekt manipulace:**

Objektem manipulace by mohl být jeden z uvedených v tabulce číslo 6, ale jelikož je toto pracoviště nové, uvažuje se i o novém objektu manipulace. Při konzultacích s panem doc. Ing. Zdeňkem Konečným, Ph.D. a panem Ing. Michalem Vocetkou byl navržen nový objekt manipulace, který vychází z přehledu výše zmíněných laboratorních úloh, návrhu laboratorních úloh pro nové pracoviště a seznamu objektů manipulace v tabulce číslo 6.

Novým objektem manipulace bude kostka, která bude mít hranu o straně 4 cm a váhu maximálně 100 g. Při dodržení těchto maximálních hodnot jsem spočetl materiál objektu manipulace podle vzorce číslo (1).

Je známo:  $V = 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  ;  $m_{OM} = 0,1 \text{ kg}$

$$\rho_{OM} = \frac{m_{OM}}{V} \quad (1)$$

$$\rho_{OM} = \frac{0,1}{6,4 \cdot 10^{-5}}$$

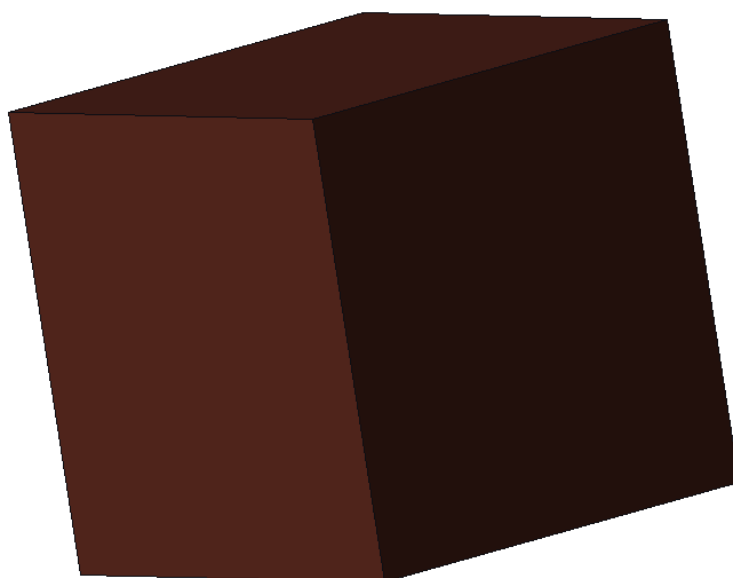
$$\rho_{OM} = 1562,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

V..... objem objektu manipulace

$m_{OM}$  ..... hmotnost objektu manipulace

$\rho_{OM}$  ..... hustota objektu manipulace

Tato hustota odpovídá dle zdroje [1] hustotě obyčejné cihly. Zdroj uvádí hustotu obyčejné cihly od  $1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  do  $1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . U tohoto materiálu záleží na vlhkosti. Předpokládám, že vlhkost pracoviště bude dle doporučených laboratorních podmínek 60 % podle ČSN 06 0210. Díky tomu by měla být hustota co nejnižší, tudíž kolem  $1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Dále budu počítat s hustotou, kterou jsem vypočetl ze vzorce číslo (1).



*Obr. 9 Objekt manipulace*

### 3 Požadavkový list

Na základě předchozí analýzy popisu efektorů, požadavků na efekty, laboratorních úloh a objektů manipulace byl vytvořen požadavkový list s parametry, které vymezují základní potřeby pro konstrukci zadaného efektoru pro laboratorní použití.

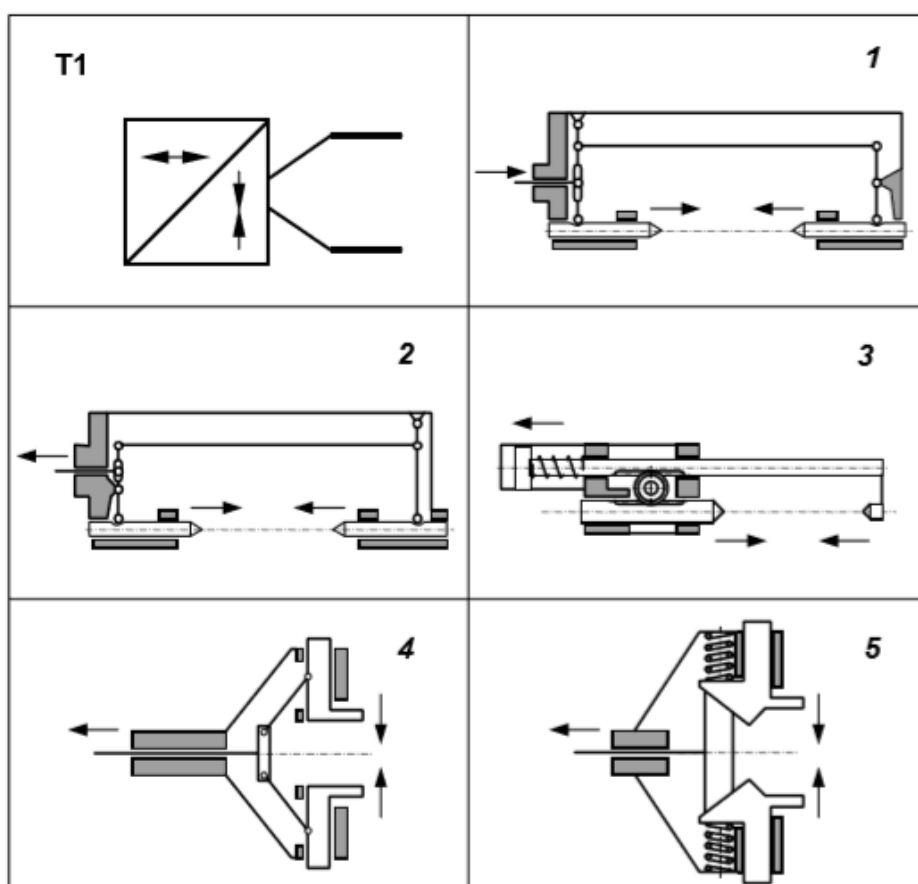
<u>Požadavek</u>	<u>Rozměry / upřesňující údaj</u>
<i>Rozevření</i>	Maximální rozevření kolem 60 mm
<i>Pohyb čelistí</i>	Lineární sevření (lineární posuv)
<i>Rychlost sevření</i>	1 až 3 sekundy
<i>Maximální váha</i>	4 kg
<i>Materiál kostry konstrukce</i>	hliník
<i>Úchopná síla</i>	30 až 50 N

Tab. 8 Požadavkový list

## 4 Analýza efektorů s lineárním posuvem

Tato kapitola se věnuje průzkumu efektorů s lineárním sevřením. Průzkum je třeba z důvodu požadavku na konstrukci efektoru. Požadavek byl stanoven z důvodu lepší ovladatelnosti pro začínající operátory.

Při analýze těchto systému jsem se soustředil na ty, které budou mít co nejmenší vzdálenosti od příruby robotu, abych nadměrnou velikostí a vzdáleností zbytečně nezmenšil nosnost robotického ramene. Při vypracování jsem vycházel z této literatury [2].

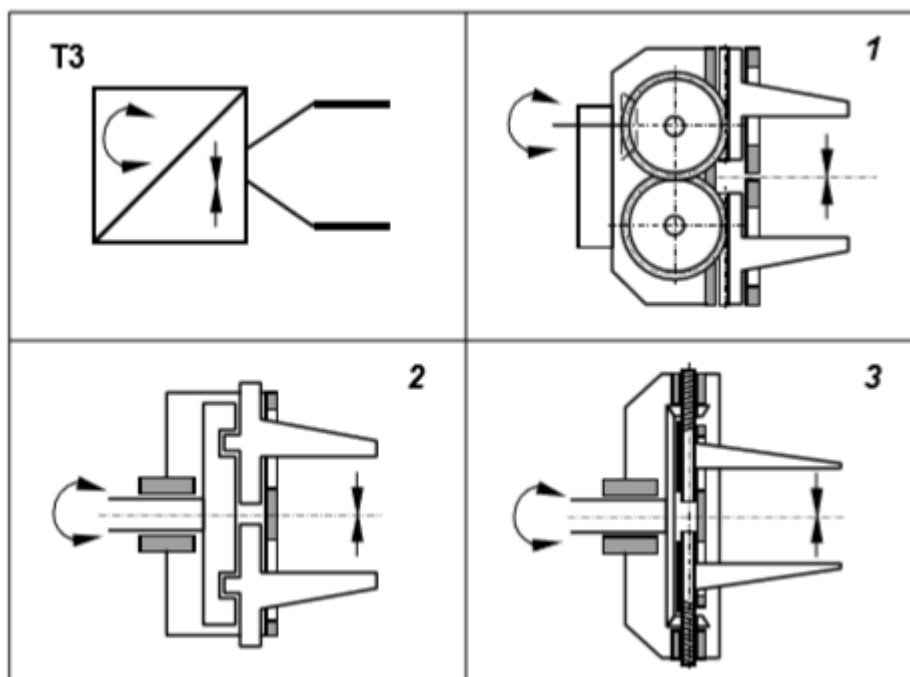


Obr. 10 Možné principy řešení mechanických úchopných efektorů typu T1[2]

Na obrázku 10 jsou vidět některé návrhy efektorů s posuvným sevřením. K posuvnému sevření dochází za pomoci pohonných členů (motorů), které mají rovněž posuvný pohyb. Tento typ efektoru je v literatuře popsán jako T1.

Z obrázku lze vyčíst, že sekce 1;2 a 4 je transformace pohybu zprostředkována pomocí systému kloubů. V sekci 3 a 5 jsou pro vyvození svěrné síly použity pružiny a motor je zde použit pouze k rozevírání. U třetího modelu můžeme vidět použití ozubeného kola, pro

transformaci směru sevření druhého prstu efektoru. V páté sekci lze vidět použití kamene pro rozevření čelistí.

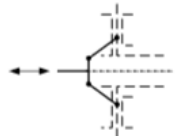
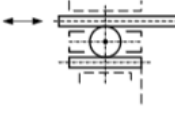
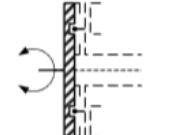
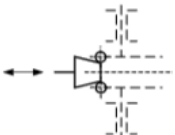
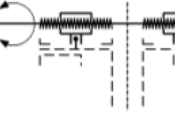


Obr. 11 Možné principy řešení mechanických úchopných efektorů typu T3 [2]

Z tohoto obrázku lze opět vyčíst návrhy efektorů pro posuvné sevření. Tento typ je v literatuře [2] označen jako T3. V těchto případech je posuvný pohyb prstů efektoru vyvolán motorem s rotačním výstupem.

Na prvním modelu v obrázku číslo 11 je pro vyvolání svěrné síly využit systém ozubených kol. V druhém modelu je vačkový systém pro pohyb prstů efektoru. V třetí sekci je znázorněn model efektoru, který používá pro sevření systém ozubených kol, jenž pohání pohybové šrouby, díky kterým dojde k sevření objektu manipulace mezi prsty efektoru.

Z předchozích obrázků v této kapitole vyplývá, že je třeba se zajímat i o transformaci pohybu mezi hnacím členem a prsty efektoru. Tyto systémy mohou být různé, jak ukazuje obrázek 12. Na tomto obrázku jsou blíže a schematicky popsány již zmíněné systémy transformace, které se vyskytovaly v obrázcích 10 a 11.

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

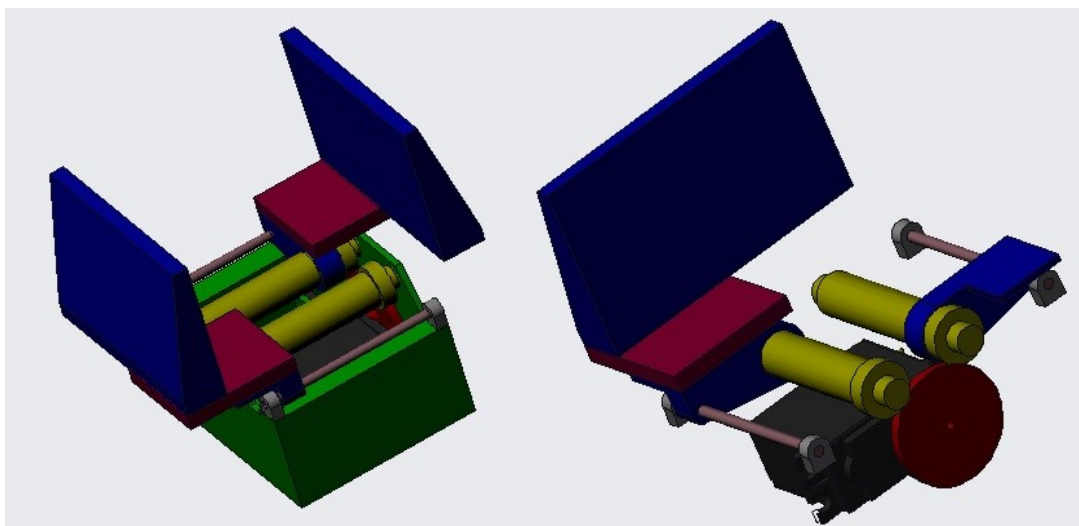
Obr. 12 Uplatnění mechanismů u různých typů mechanických úchopných efektorů [2]

## 5 Varianty řešení

Tato kapitola se věnuje demonstraci schémat navržených variant. U každé varianty je její bližší popis a specifikace jejího principu. Po zvolení optimální varianty v další kapitole bude jedna z těchto variant detailně rozpracována a připravena ke zkonstruování.

### 5.1 Varianta č. 1

Efektor pohání elektromotor (černá, červená), který otáčí ozubenými koly, které jsou připevněny ke dvěma pohybovým šroubům (žlutá). Na pohybových šroubech jsou matice, které jsou připojeny k pojezdům (modrá). K této součástce je připojen prst (modrá), pomocí plíšku (fialová), který prodlužuje rozpětí efektoru. Zelená je kostra efektoru.



Obr. 13 Varianta č. 1

#### Výhody tohoto systému:

- Konstrukce má poměrně malou výšku, takže se nosnost sníží jen minimálně
- samosvornost šroubu, která vede k bezpečnějšímu úchopu

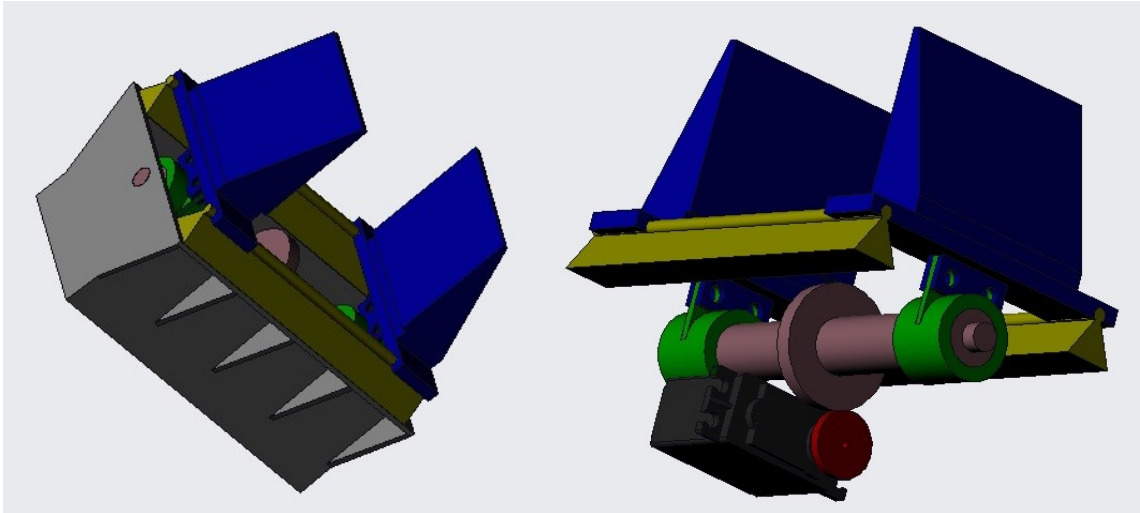
#### Nevýhody tohoto systému:

- bude třeba odladit vůle mezi ozubenými koly
- nelze jednoduše zakrytovat vnitřní část efektoru



## 5.2 Varianta č. 2

Efektor pohání elektromotor (černá, červená), který otáčí ozubeným kolem na hřídeli (růžová). Hřídel tvoří dva pohybové šrouby (s opačnými zavity) a uprostřed je ozubené kolo (růžová). Na pohybovém šroubu jsou kuličkové matice (zelená), které jsou připevněny k desce (modrá), a ta je připojena k pojezdům po stranách (žlutá). Na desky jsou připevněny prsty efektoru (modrá). Kosta efektoru je zbarvená šedě.



Obr. 14 Varianta č. 2

### **Výhody tohoto systému:**

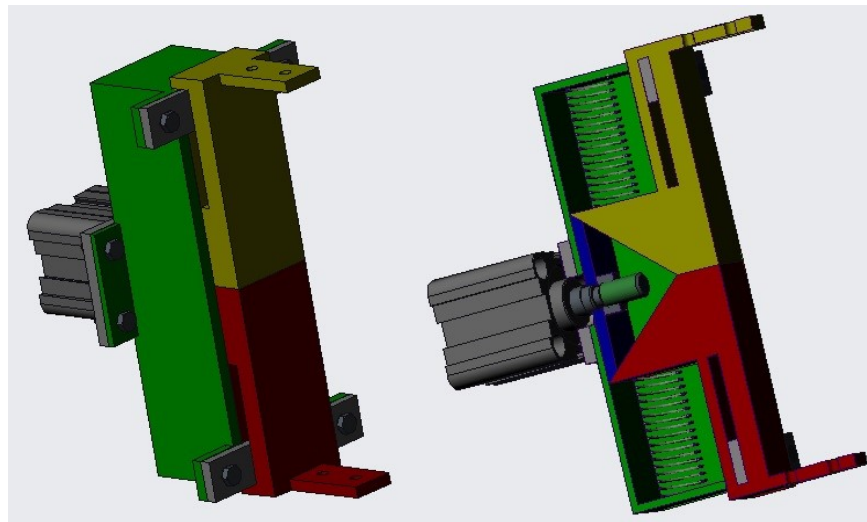
- bytelná konstrukce
- samosvornost šroubu, která vede k bezpečnějšímu úchopu

### **Nevýhody tohoto systému:**

- nelze efektivně zakrytovat vnitřní část efektoru
- poměrně velké zástavbové rozměry

### 5.3 Variant č. 3

Základní poloha je uzavřená. Pružiny (šedá) tlačí prsty k sobě. Pro otevření bude muset být přiveden vzduch do pneumatického válce (šedá). Ten posune zešikmenou destičku (modrá) směrem dopředu a pomocí úhlového styku oddálí prsty (červená, žlutá) od sebe – efektor bude “otevřený“. Kostra efektoru je zelená.



Obr. 15 Varianta č. 3

#### **Výhody tohoto systému:**

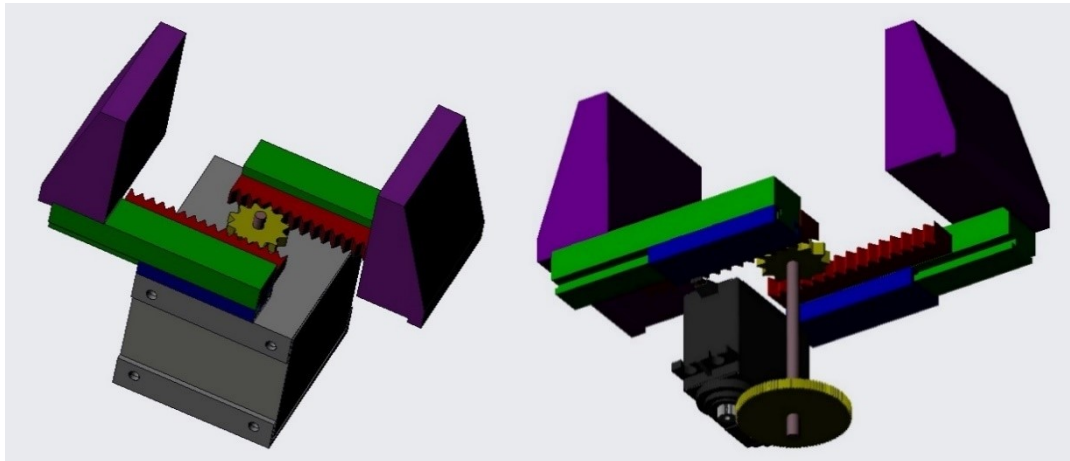
- bytelná konstrukce
- samosvornost šroubu, která vede k bezpečnějšímu úchopu
- lze zakrytovat tělo efektoru

#### **Nevýhody tohoto systému:**

- poměrně velké zástavbové rozměry
- svěrná síla je vyvozena pružinami, což znamená že při různých šířkách úchopu bude působit různá svěrná síla
- malý rozsah uchopovacích rozměrů

## 5.4 Varianta č. 4

Efektor pohání elektromotor (černá), který otáčí hřídelí uprostřed efektoru (růžová). Na hřídeli jsou dvě ozubená kola (žlutá) pro převod otáček z elektromotoru. Horní (menší) ozubené kolo na hřídeli se odvaluje po dvou hřebenech (červená), které jsou připevněny k prstům (zelená, fialová), jež jsou připojeny k vozíkům (modrá). Kostra efektoru je šedá.



Obr. 16 Varianta č. 4

### Výhody tohoto systému:

- bytelná konstrukce
- lze zakrytovat tělo efektoru
- Konstrukce má poměrně malou výšku, takže se nosnost sníží jen minimálně

### Nevýhody tohoto systému:

- je třeba odladit ozubené kolo s ozubeným řemenem

## 6 Vícekriteriální analýza

V této části jsem se věnoval výběru optimální varianty pomocí vícekriteriální analýzy, kdy jsou mezi sebou porovnávána jednotlivá kritéria nezávislými hodnotiteli. Kritéria jsou stanovena na základě požadavkového listu a předchozích analýz.

### Hodnoty kritérií:

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 9 Hodnoty kritérií

### Kritéria:

Označení kritéria	Kritérium	Popis kritéria
K1	Univerzálnost	Univerzálnost použití tohoto vybavení v laboratořích
K2	Rychlost sevření	Možnost řízení rychlosti svírání
K3	Náročnost výroby	Zhodnocení časové a technologické náročnosti výroby dílů
K4	Možnost zakrytování	Možnost zakrytování těla efektoru
K5	Rozměry konstrukce	Co nejmenší rozměry a co nejmenší vzdálenost od příruby efektoru
K6	Cena	Náklady na zhotovení celé konstrukce

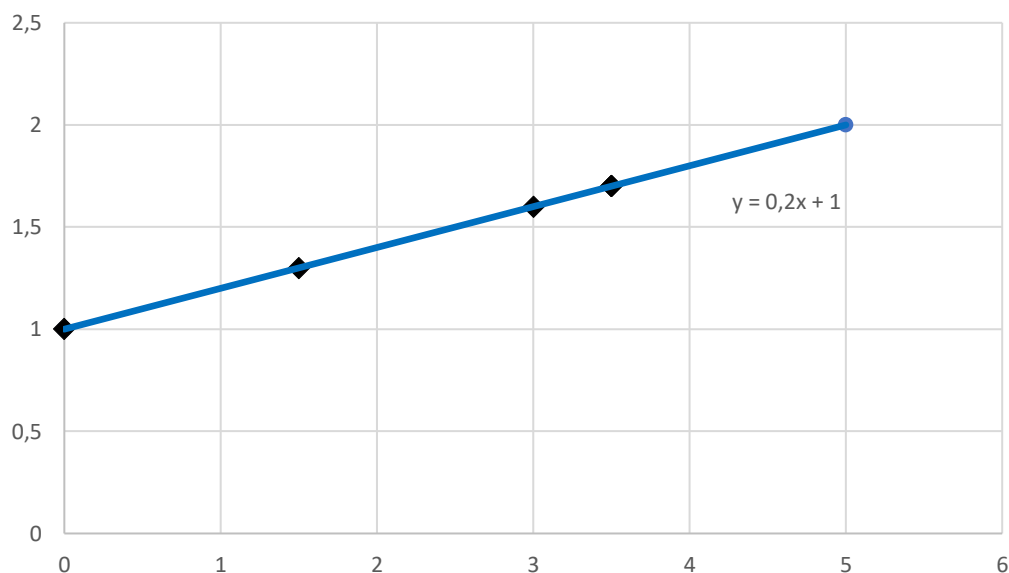
Tab. 10 Kritéria

### Významnost kritérii:

Porovnávání kritérii mezi sebou					Počet voleb	Kritérium	Významnost
K1	K1	K1	K1	K1	3,5	K1	1,7
K2	K3	K4	K5	K6			
	K2	K2	K2	K2	3,5	K2	1,7
	K3	K4	K5	K6			
		K3	K3	K3	0	K3	1
		K4	K5	K6			
			K4	K4	3	K4	1,6
			K5	K6			
				K5	3,5	K5	1,7
				K6	1,5	K6	1,3

Tab. 11 Významnost kritérii

### Graf významnosti kritérii:



Graf 1 Graf významnosti kritérii

### Hodnocení varianty č. 1

Kritérium	1. Hodnotitel	2. Hodnotitel	3. Hodnotitel	Součet	Násobek s významností	Výsledek
K1	5	6	5	16	27,2	131,5
K2	6	5	3	14	23,8	
K3	3	4	6	13	13	
K4	4	5	4	13	20,8	
K5	6	5	5	16	27,2	
K6	6	3	6	15	19,5	

Tab. 12 Hodnocení varianty č. 1

### **Hodnocení varianty č. 2**

Kritérium	1. Hodnotitel	2. Hodnotitel	3. Hodnotitel	Součet	Násobek s významností	Výsledek
K1	5	3	4	12	20,4	107,6
K2	4	4	4	12	20,4	
K3	4	3	3	10	10	
K4	3	3	3	9	14,4	
K5	5	5	5	15	25,5	
K6	4	5	4	13	16,9	

Tab. 13 Hodnocení varianty č. 2

### **Hodnocení varianty č. 3**

Kritérium	1. Hodnotitel	2. Hodnotitel	3. Hodnotitel	Součet	Násobek s významností	Výsledek
K1	3	3	4	10	17	99,1
K2	4	4	4	12	20,4	
K3	4	4	5	13	13	
K4	3	3	3	9	14,4	
K5	4	3	4	11	18,7	
K6	4	4	4	12	15,6	

Tab. 14 Hodnocení varianty č. 3

### **Hodnocení varianty č. 4**

Kritérium	1. Hodnotitel	2. Hodnotitel	3. Hodnotitel	Součet	Násobek s významností	Výsledek
K1	6	6	6	18	30,6	<b>151,6</b>
K2	5	6	6	17	28,9	
K3	6	5	5	16	16	
K4	5	6	6	17	27,2	
K5	5	5	5	15	25,5	
K6	6	6	6	18	23,4	

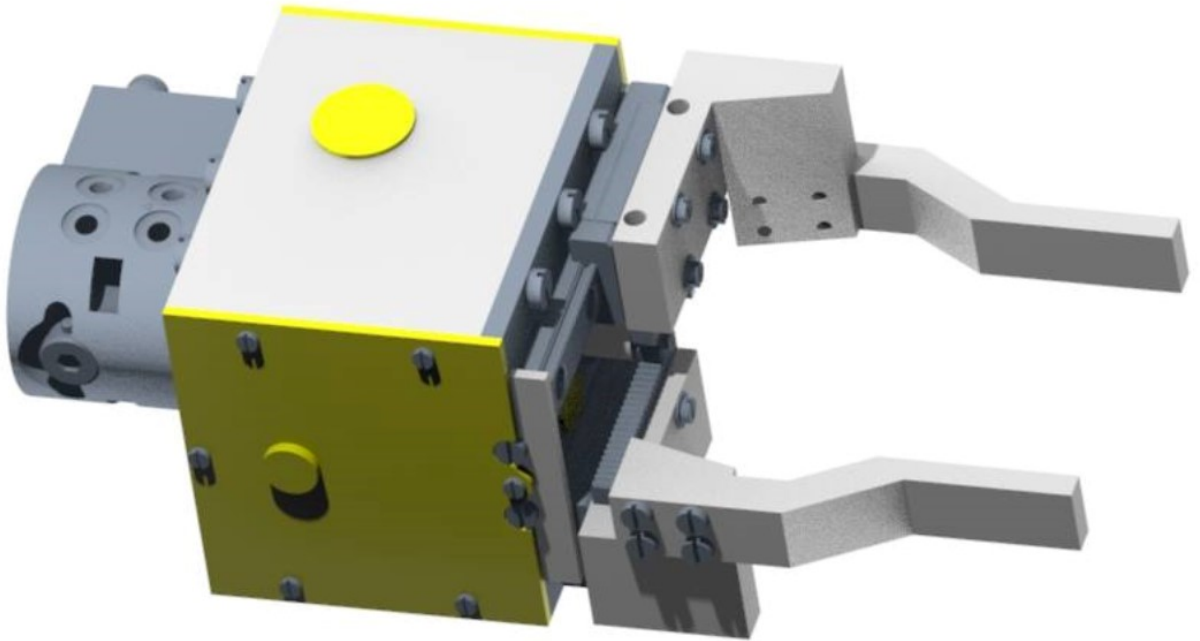
Tab. 15 Hodnocení varianty č. 4

### **Zhodnocení vícekriteriální analýzy:**

Výsledkem vícekriteriální analýzy je optimální varianta řešené problematiky. Při řešení tohoto zadání vyšla jako optimální varianta číslo 4. Z hodnocení vyplývá předpoklad, že oproti ostatním variantám má tato lepší řízení rychlosti, možnost zakrytování, univerzálnost použití tohoto vybavení v laboratořích a peníze vynaložené na tuto konstrukci by měly být dle předpokladu hodnotitelů nižší.

## 7 Konstrukce efektoru

Konstrukce efektoru optimální varianty je zobrazena na obrázku pod odstavcem. Jak je z tohoto obrázku možné vidět, konstrukce obsahuje spoustu dílů, které je jednodušší rozčlenit do částí, jež bude možné lépe popisovat.

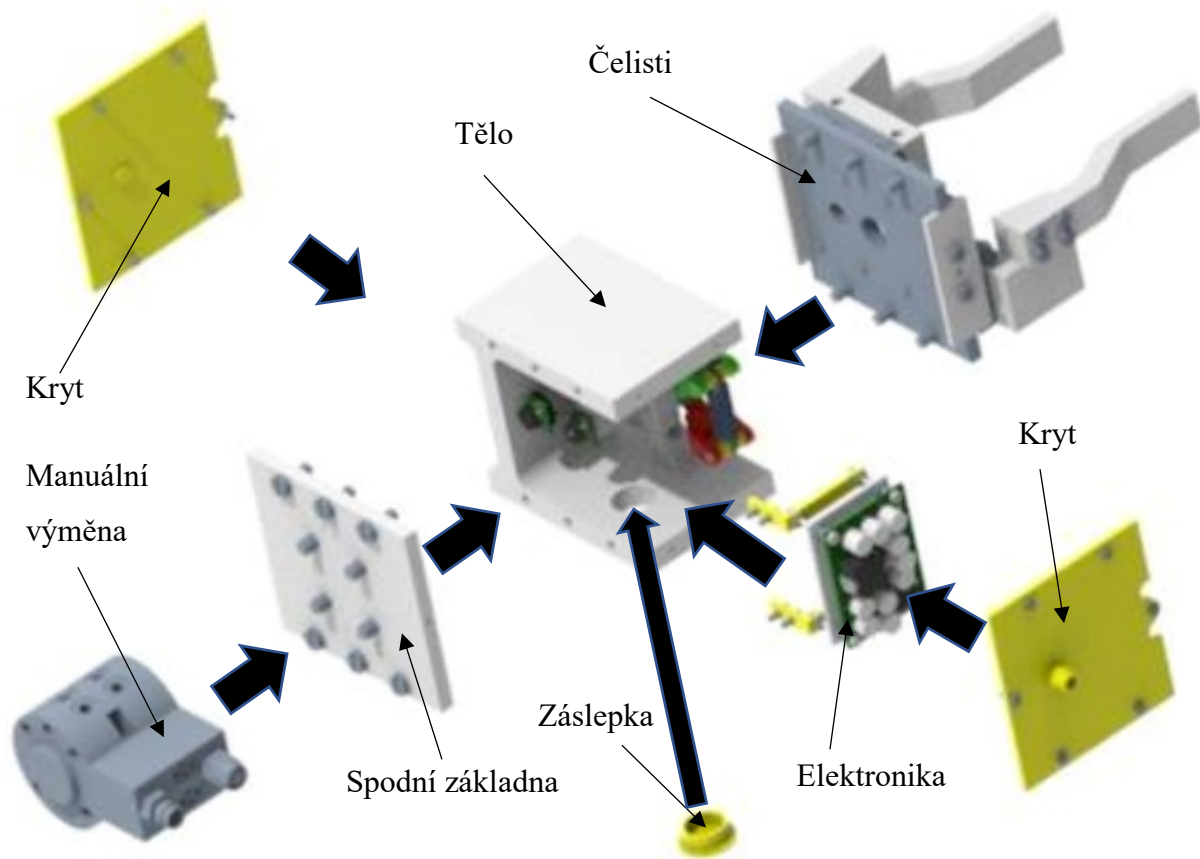


*Obr. 17 Efektor pro laboratorní účely na robotu ABB IRB 1 200*

Rozdělení konstrukce do čtyř částí:

- Celková konstrukce
- Tělo
- Elektronika
- Čelisti

Tato kapitola se zabývá bodem celková konstrukce, tedy rozestavením ostatních částí a komponentů v efektoru. Na dalším obrázku je vidět, jak je efektor rozdělen.



*Obr. 18 Rozdělení celkové konstrukce efektoru*

Dále je rozdělen do dalších tří podčástí, které spadají do sekce celkové konstrukce. Postupně se v následujících kapitolách věnuji podrobněji každé z nich.

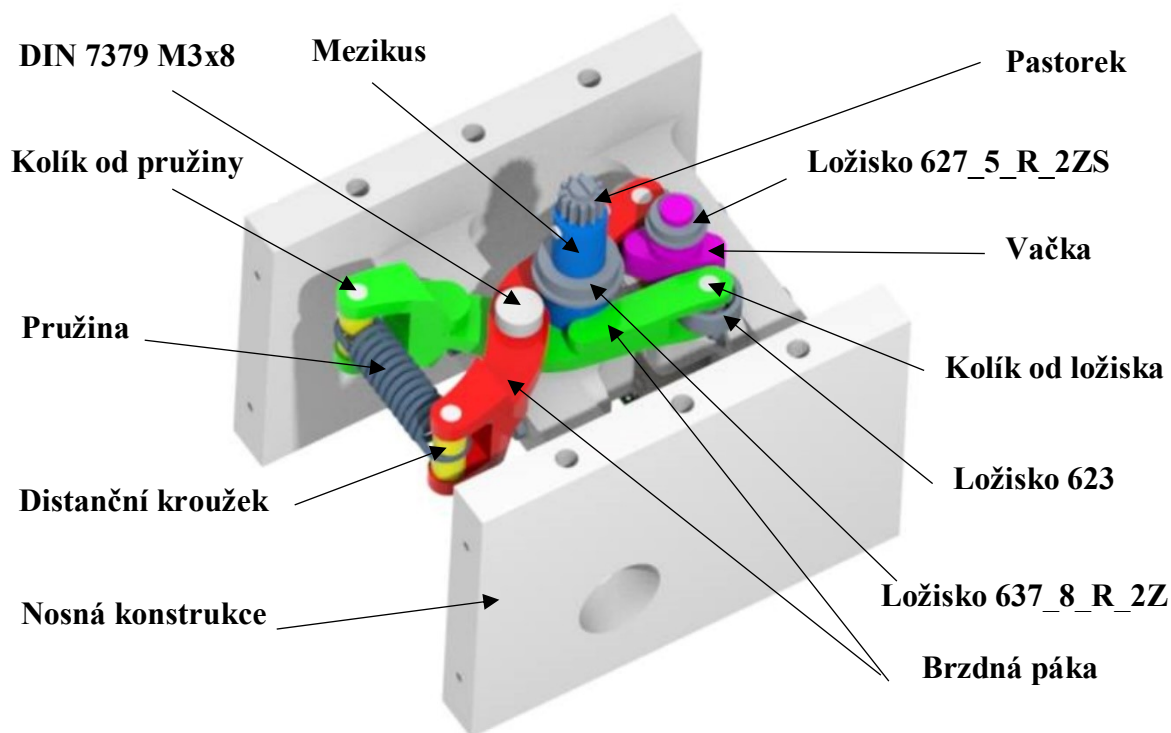
Součástí efektoru je manuální výměna. Ta bude zakoupena od firmy ZIMMER GROUP (viz příloha E). K této součástce je při nákupu dodán návod k použití a zapojení. Při montáži a manipulaci se bude postupovat podle něj.



## 8 Tělo

Tělo je pojmenování střední části efektoru. Nachází se zde podpůrná konstrukce s motorem, redukcí a brzdým mechanismem. Tato část efektoru je nosná a je k ní přišroubovaná část čelisti a manuální výměna se spodní základnou. Do těla je vložena sekce elektronika.

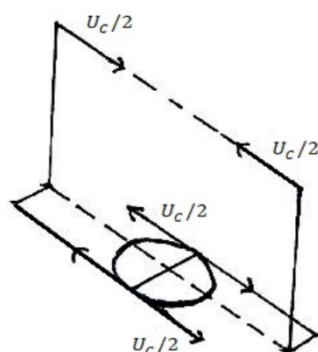
Součástí sekce tělo je pastorek. Tato součástka se bude kupovat od firmy T.E.A. TECHNIK s.r.o. a dále pak upravovat dle výkresové dokumentace. Konkrétně jde o pastorek 0512 ST s modulem 0,5.



Obr. 19 Popis těla

### 8.1 Návrh hnacího motoru

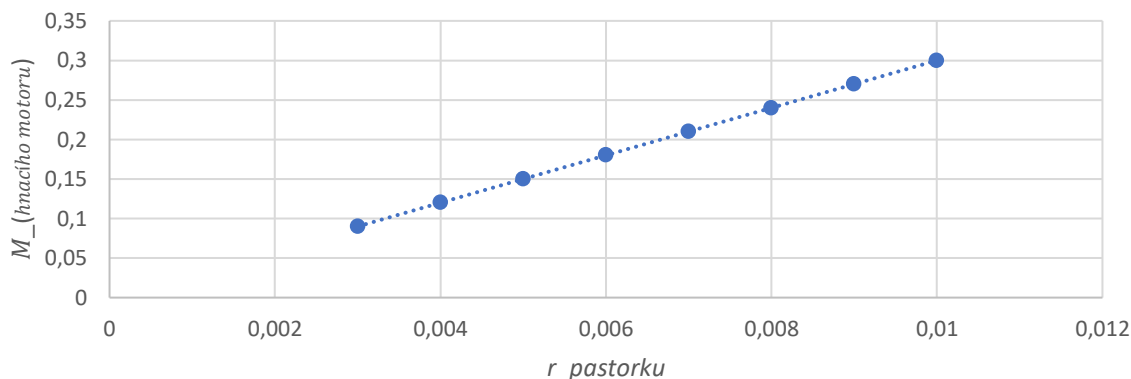
Motor bude pohybovat prsty efektoru a vyvozovat svým momentem svěrnou sílu. Svěrná síla bude vyvozována mezi prsty efektoru.



Obr. 20 Schéma vybuzení svěrné síly

Ke stanovení potřebného momentu je třeba zvolit velikost pastorku. Od poloměru pastorku se odvíjí velikost momentu. Velikost svěrné síly  $U_C$  je známa z požadavkového listu. Zvolil jsem velikost  $U_C$  30 N. V grafu číslo 2 je vidět závislost momentu na poloměru ozubeného kola dle vzorce (2).

### Závislost momentu na poloměru ozubeného kola



Graf 2 Závislosti momentu na poloměru ozubeného kola

Na základě grafu byl vybrán pastorek s poloměrem 3 mm.

Je známo:  $U_C = 30 \text{ N}$ ;  $r_{\text{pastorku}} = 0,003 \text{ mm}$

$$M_{\text{hnacího motoru}} = U_C \cdot r_{\text{pastorku}} \quad (2)$$

$$M_{\text{hnacího motoru}} = 30 \cdot 0,003$$

$$M_{\text{hnacího motoru}} = 0,09 \text{ Nm}$$

$M_{\text{hnacího motoru}}$  ..... je moment hnacího motoru

$r_{\text{pastorku}}$  ..... je poloměr pastorku

Motor byl zvolen od firmy Pololu [3]. Jedná se o malý motor ze série Micro Metal Gearmotor LP. Jeho parametry dostačují požadavkům na hnací motor.



Obr. 21 Micro Metal Gearmotor LP [3]

Parametr	Hodnota parametru
Napětí na zdroji	6 V
Krouticí moment	107,873 Nmm
Rozměry	10 x 12 x 26 mm
Otáčky	90 rpm
Hmotnost	9,5 g
Spotřeba proudu	0,36 A

Tab. 16 Parametry hnacího motoru

Je třeba provést přepočítání a zjistit tak skutečnou velikost svěrné síly, která působí od zvoleného motoru.

Je známo:  $M_{\text{motoru}} = 107,873 \text{ Nmm}$  ;  $r_{\text{pastorku}} = 0,003 \text{ mm}$

$$U_{\text{skut}} = \frac{M_{\text{motoru}}}{r_{\text{pastorku}}} \quad (3)$$

$$U_{\text{skut}} = \frac{0,107873}{0,003}$$

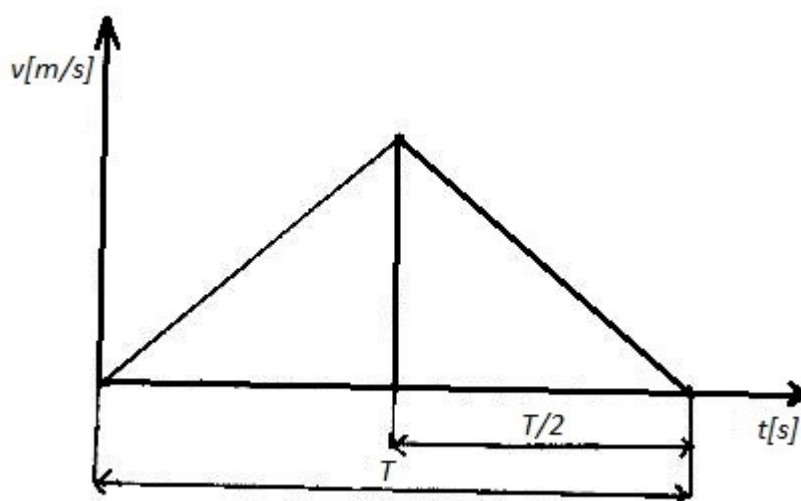
$$U_{\text{skut}} = 35,958 \text{ N}$$

$U_{\text{skut}}$  ..... je skutečná svěrná síla

$M_{\text{motoru}}$  ..... skutečný moment hnacího motoru

### 8.1.1 Rozbor pohybu

Dále jsou zjišťovány parametry týkající se pohybu čelistí efektoru. Zabývá se zde výpočtem času průběhu, zrychlení a maximální rychlosti sevření.



Obr. 22 Schématický rozbor pohybu

Z důvodu požadavku na čas rozevření a zavření čelistí je třeba zkontrolovat časový průběh. Pro kontrolu parametrů jsem vycházel z této literatury [4]. Pro získání výsledného času bylo zapotřebí dopočítat velikost roztečné kružnice pastorku a počet potřebných otáček pro maximální rozevření.

Je známo:  $r_{\text{pastorku}} = 0,003 \text{ mm}$

$$k_{\text{pastorku}} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{pastorku}} \quad (4)$$

$$k_{\text{pastorku}} = 2 \cdot \pi \cdot 0,003$$

$$k_{\text{pastorku}} = 0,01885 \text{ m}$$

$k_{\text{pastorku}}$  ..... roztečná kružnice pastorku

Pro další postup je nutné stanovit počet otáček na uražení délky od maximálního rozevření do minimálního, což je 30 mm, jelikož maximální rozevření je 60 mm, čelisti se pohybují k sobě a každá z nich urazí polovinu dráhy.

Je známo:  $S_{\text{dráha hřebene}} = 0,03 \text{ m}$ ;  $k_{\text{pastorku}} = 0,01885 \text{ m}$

$$N_{\text{počet otáček}} = \frac{S_{\text{dráha hřebene}}}{k_{\text{pastorku}}} \quad (5)$$

$$N_{\text{počet otáček}} = \frac{0,03}{0,01885}$$

$$N_{\text{počet otáček}} = 1,59155 \text{ ot} = 1,59155 \cdot 360 = 572,9443^\circ = 10 \text{ rad}$$

$N_{\text{počet otáček}}$  ..... počet otáček potřebných pro maximální rozevření efektoru

$S_{\text{dráha hřebene}}$  ..... dráha, kterou urazí prst efektoru od maximálního rozevření k maximálnímu sevření

Je známo:  $N_{\text{počet otáček}} = 10 \text{ rad}$ ;  $n_{\text{otáčky motoru}} = 90 \text{ rpm}$

$$T = \frac{2 \cdot 30 \cdot N_{\text{počet otáček}}}{\pi \cdot n_{\text{otáčky motoru}}} \quad (6)$$

$$T = \frac{2 \cdot 30 \cdot 10}{\pi \cdot 90}$$

$$T = 2,122 \text{ s}$$

$T$  ..... čas, který je potřeba pro maximální rozevření či zavření čelistí efektoru

$n_{\text{otáčky motoru}}$  ..... počet otáček hnacího motoru

Pro další výpočty budeme potřebovat zrychlení motoru.

Je známo:  $N_{\text{počet otáček}} = 10 \text{ rad}$ ;  $n_{\text{otáčky motoru}} = 90 \text{ rpm}$

$$\varepsilon = \frac{n_{\text{otáčky motoru}}^2 \cdot \pi^2}{N_{\text{počet otáček}} \cdot 30^2} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{90^2 \cdot \pi^2}{10 \cdot 30^2}$$

$$\varepsilon = 8,883 \text{ rad}$$

$\varepsilon$  ..... zrychlení hnacího motoru

Pro další výpočty je nutno zjistit maximální rychlost svírání efektoru. Tu zjistím díky minimálnímu času sevření.

Je známo:  $N_{\text{počet otáček}} = 10 \text{ rad}$ ;  $n_{\text{otáčky motoru}} = 90 \text{ rpm}$

$$T_{\min} = \frac{N_{\text{počet otáček}} \cdot 60}{n_{\text{otáčky motoru}}} \quad (8)$$

$$T_{\min} = \frac{1,59155 \cdot 60}{90}$$

$$T_{\min} = 1,061 \text{ s}$$

$T_{\min}$  ..... minimální čas, který je potřeba k sevření čelistí (pro zjištění max. rychlosti sevření)

Je známo:  $S_{\text{dráha hřebene}} = 0,03 \text{ m}$ ;  $T_{\min} = 1,061 \text{ s}$

$$v_{\max} = \frac{S_{\text{dráha hřebene}}}{T_{\min}} \quad (9)$$

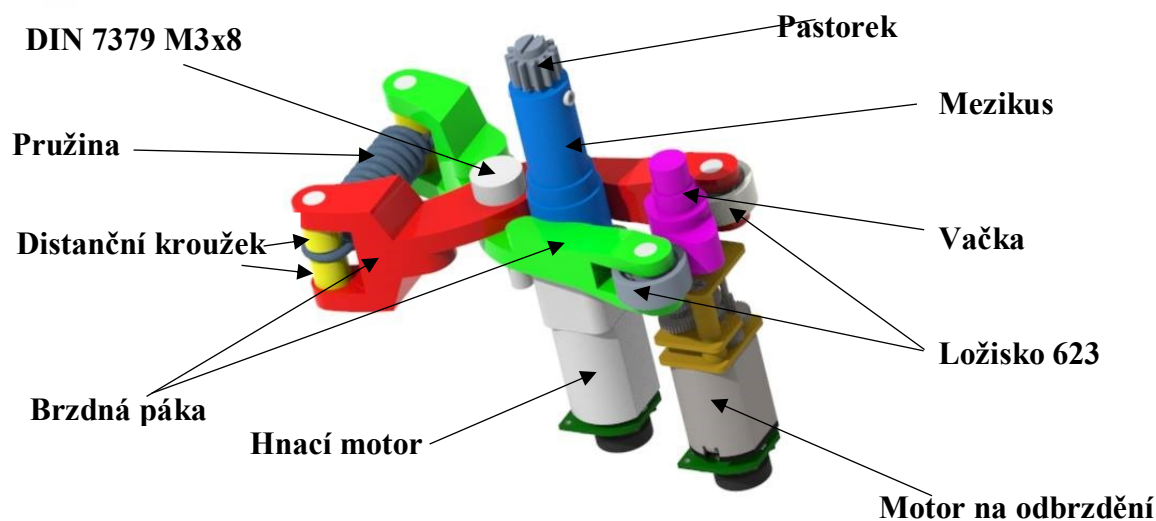
$$v_{\max} = \frac{0,03}{1,061}$$

$$v_{\max} = 0,028275 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,6965 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$v_{\max}$  ..... maximální rychlost svírání efektoru (nejhorší stav, při maximálních otáčkách)

## 8.2 Výpočet brzdného mechanismu

Jelikož tento efektor je navrhován pro laboratorní účely, vzniká zde potřeba zajištění svěrné síly efektoru. Obvykle je v tomto typu efektoru motor se zabudovaným brzdným



Obr. 23 Popis brzdného mechanismu

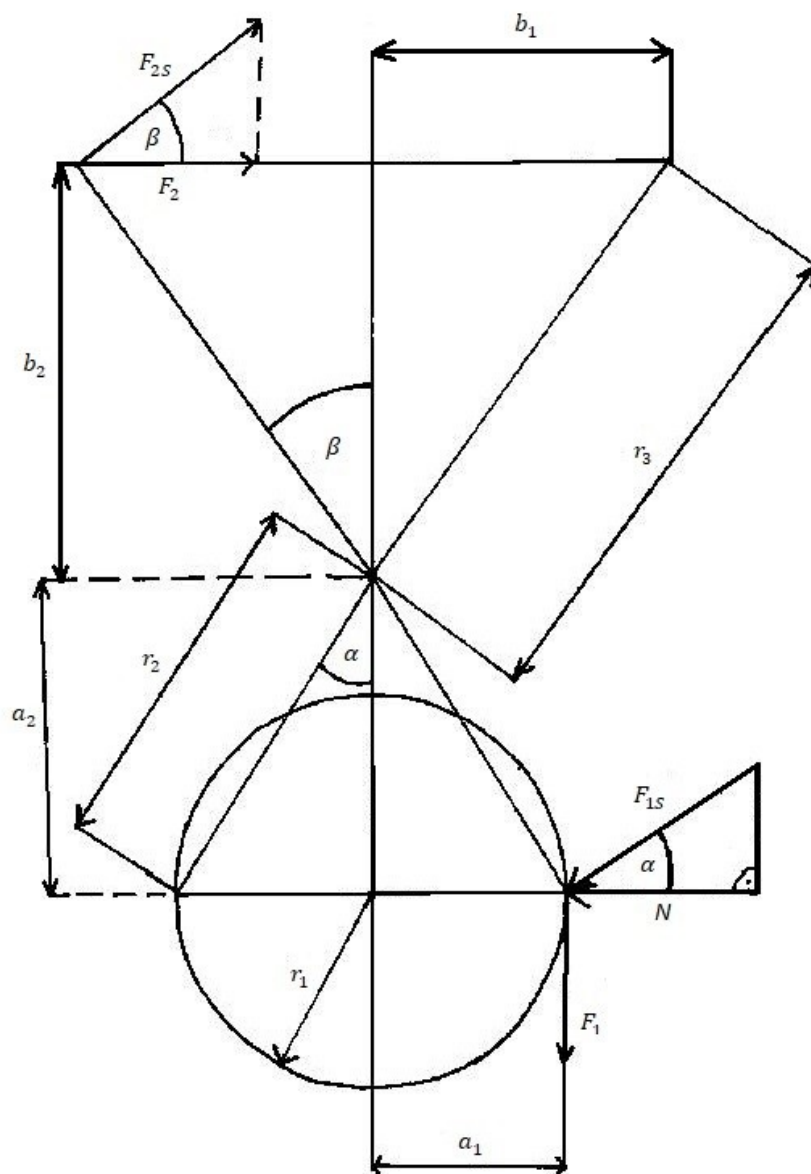
mechanismem. V tomto případě však je použit motor tak malý, že u něho, ani dalších motorů tak malých rozměrů, brzdný mechanismus zabudovaný není. Z toho vyplývá nutnost tento nedostatek doplnit vlastním brzdným mechanismem.

Brzdný mechanismus funguje na principu nůžek. Brzdné páky jsou umístěny na kluzné pouzdro, které se nachází na lícovaném šroubu DIN 7379 M3x8. Brzdnou sílu vyvolává tažná pružina. Síla vyvolaná pružinou se přenáší pomocí brzdných pák na součástku zvanou mezikus, která slouží jako redukce z hřídele motoru na pastorek. Na mezikus působí dostatečně velká síla, aby zabránila pootočení motoru, respektive pastorku, a tím dojde k zabránění jakéhokoliv pohybu pastorků. Tento stav popisují jako zastavený.

K odbrzdění brzdných pák dochází pomocí vačky, kterou pohání motor na odbrzdění. Motor pootočí vačkou, která rozevře brzdné páky. Místa dotyku s pákou jsou nahrazena ložisky, aby se snížil odpor tření a opotřebenosti, které by vzniklo kontaktem vačky s brzdou pákou. Tento způsob přenosu sil se i lépe stanovuje ve výpočetní části. Tento stav jsem pojmenoval jako odbrzděný. Ve výpočetní části počítám tento stav v krajním bodě, a to při maximálním odbrzdění.

### 8.2.1 V zastaveném stavu

V zastaveném stavu dochází k přenosu síly, která působí od tažné pružiny, na mezikus pomocí brzdných pák přes lícovaný šroub DIN 7379 M3x8. Síla, která bude působit od pružiny, musí být v místě dotyku s mezikusem větší než síla, která bude působit od momentu motoru.



Obr. 24 Schéma zastaveného stavu

Dále počítám s proměnnými, které jsou uvedeny na schématu výše. Jejich velikost jsem zjistil pomocí měření v 3D modelu.

### Výpočet pružiny:

Je známo:  $M_{\text{motoru}} = 107,873 \text{ Nmm}$  ;  $r_1 = 0,005 \text{ m}$

$$F_1 = \frac{M_{\text{motoru}}}{r_1} \quad (10)$$

$$F_1 = \frac{0,107873}{0,005}$$

$$F_1 = 21,575 \text{ N}$$

$F_1$ ..... síla vyvozená z momentu motoru

$r_1$ ..... poloměr mezíkusů v části dotyku s brzdou pákou

Je známo:  $F_1 = 21,575 \text{ N}$ ;  $f_{(\text{hliník-hliník})} = 0,3$

$$N = \frac{F_1}{f_{(\text{hliník-hliník})}} \quad (11)$$

$$N = \frac{21,575}{0,3}$$

$$N = 71,915 \text{ N}$$

$f_{(\text{hliník-hliník})}$ ..... koeficient tření mezi hliníkem a hliníkem podle tohoto zdroje [5]

$N$ ..... normálová síla, působící na brzdě páky

Je známo:  $a_1 = 0,005 \text{ m}$ ;  $a_2 = 0,01 \text{ m}$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left( \frac{a_1}{a_2} \right) \quad (12)$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left( \frac{0,005}{0,01} \right)$$

$$\alpha = 26,565^\circ$$

$a_1$ ..... vzdálenost dotyku brzdě páky s mezíkusem, od osy hnacího motoru

$a_2$ ..... vzdálenost dotyku brzdě páky s mezíkusem, od osy lícovaného šroubu

$\alpha$ ..... úhel mezi  $N$  a  $F_{1S}$

Je známo:  $N = 71,915 \text{ N}$ ;  $\alpha = 26,565^\circ$

$$F_{1S} = \frac{N}{\cos(\alpha)} \quad (13)$$

$$F_{1S} = \frac{71,915}{\cos(26,565^\circ)}$$

$$F_{1S} = 80,404 \text{ N}$$



$F_{1S}$ ..... sklopená  $F_1$  na rameno momentu od brzdě páky na straně pružiny

Je známo:  $r_2 = 0,01118034$  m;  $F_{1S} = 80,404$  N

$$M_2 = r_2 \cdot F_{1S} = 0,01118034 \cdot 80,404 = 0,898943 \text{ Nm} \quad (14)$$

$$M_2 = r_2 \cdot F_{1S} = 0,01118034 \cdot 80,404 = 0,898943 \text{ Nm}$$

$$M_2 = r_2 \cdot F_{1S} = 0,01118034 \cdot 80,404 = 0,898943 \text{ Nm}$$

$r_2$ .....vzdálenost místa působitě brzdě síly na brzdě páce od osy lícovaného šroubu

$M_2$ ..... moment od místa styku brzdě páky s mezikusem ke šroubu

$M_3$ ..... moment od místa působení síly od pružiny ke šroubu

$M_2 = M_3$ ..... z důvodu rovnosti momentů

Je známo:  $r_2 = 0,01118034$  m;  $F_{1S} = 80,404$  N

$$F_{2S} = \frac{M_2}{r_3} \quad (15)$$

$$F_{2S} = \frac{0,898943}{0,024703}$$

$$F_{2S} = 36,39 \text{ N}$$

$r_3$ ..... vzdálenost působitě síly z pružiny, od osy šroubu

$F_{2S}$ ..... sklopená  $F_2$  na rameno momentu od pružiny

Je známo:  $b_1 = 0,0145$  m;  $b_2 = 0,02$  m

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left( \frac{b_1}{b_2} \right) \quad (16)$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left( \frac{0,0145}{0,02} \right)$$

$$\beta = 35,942^\circ$$

$b_1$ .....vzdálenost působitě síly od pružiny od osy souměrnosti

$b_2$ .....vzdálenost pružiny od osy lícovaného šroubu

$\beta$ ..... úhel mezi  $F_2$  a  $F_{2S}$

Je známo:  $r_2 = 0,01118034 \text{ m}$ ;  $F_{1S} = 80,404 \text{ N}$

$$F_2 = \frac{F_{2S}}{\cos(\beta)} \quad (17)$$

$$F_2 = \frac{36,39}{\cos(35,942^\circ)}$$

$$F_2 = 44,94715 \text{ N}$$

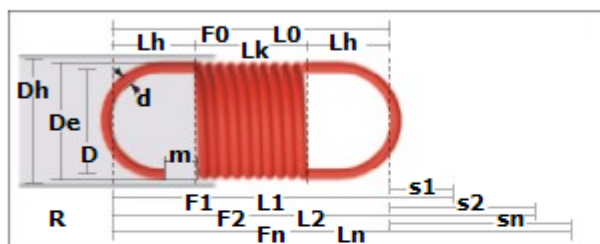
$F_2$ ..... síla od pružiny

Zvolená pružina musí mít při rozměrech daných konstrukcí sílu stejnou nebo větší, než je spočtená síla  $F_2$ . Pružinu jsem vybral od firmy GUTEKUNST FEDERN [6]. Tato firma má na internetu i vlastní výpočetní program pro pružiny, které distribuuje. Výpočet síly pružiny je proveden pomocí výpočetního programu dodavatelské firmy. Parametr  $L_1$  je vzdálenost působišť konců pružiny ve stavu zastaveno.  $L_2$  je vzdálenost působišť konců pružiny ve stavu odbrzděno. Hodnoty  $L_1$  a  $L_2$  jsou zjištěny z 3D modelu měřením.

Je známo:  $L_1 = 29 \text{ mm}$ ;  $L_2 = 30,8294 \text{ mm}$

### Výpočet dráhy a síly

#### Tažné pružiny Z-113l



#### Prestressed spring:

L1 (mm):	<input type="text" value="29"/>	Délka předepnuté pružiny (mezi vnitřními hranami ok)
s1 (mm):	4,700	Dráha předepjaté pružiny
F1 (N):	49,968	Síla předepjaté pružiny

#### Loaded Spring:

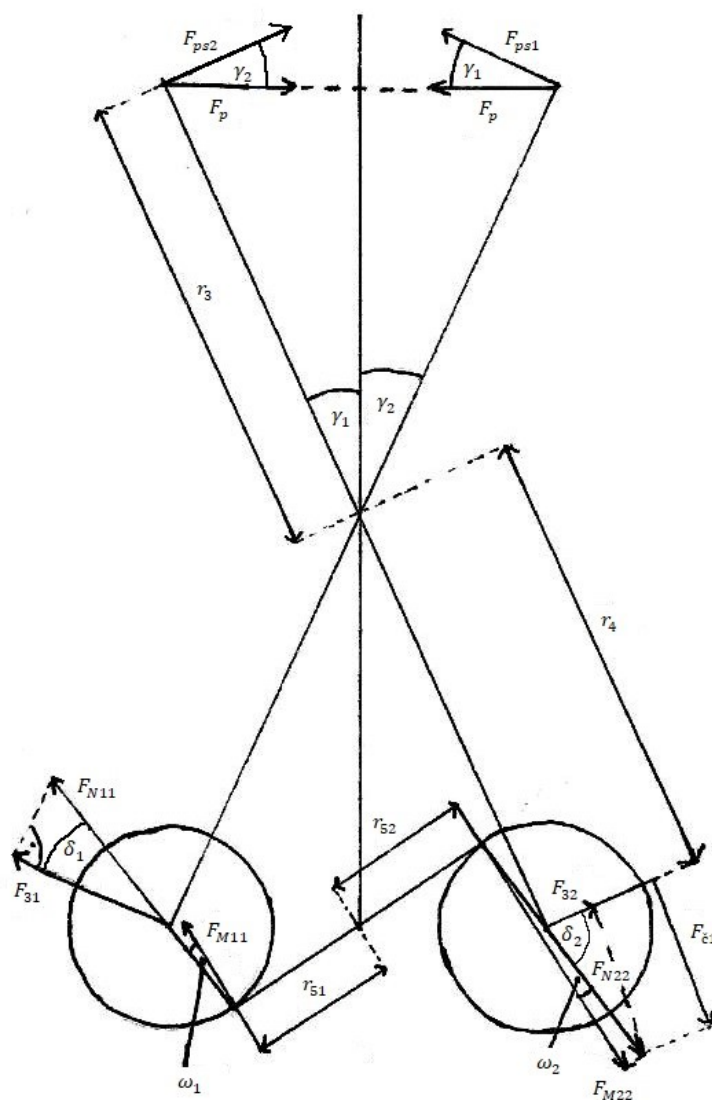
L2 (mm):	<input type="text" value="30,829"/>	Délka zatížené pružiny (mezi vnitřními hranami ok)
s2 (mm):	6,529	Dráha zatížené pružiny
F2 (N):	66,175	Síla zatížené pružiny

Obr. 25 Výpočet pružiny pomocí výpočetního programu dodavatele [6]

Z obrázku 25 lze vidět, že skutečná síla  $F_{2Skut}$  je při stavu zastaveno 49,948 N, což vyhovuje podmínce. Při stavu maximální odbrzdění bude pružina působit silou  $F_{2SkutMAX}$  o velikosti 66,175N.

### 8.2.2 Ve stavu odbrzděno

V tomto stavu na mezikus nepůsobí brzdné síly od brzdných pák. Mechanismus se odbrzdí pomocí druhého motoru, na kterém je umístěna součástka jménem vačka, která, když se motor pootočí, působí proti síle pružiny a rozevře od sebe brzdné páky, čímž umožní mezikusu přenášet moment k vyvození svěrné síly na čelistech efektoru. Vačka působí na brzdné páky v místech, kde jsou připojena ložiska, tudíž při rozevírání nedochází k tření mezi vačkou a brzdnými pákami. Ve stavu maximálního otevření, který byl stanoven, když se motor s vačkou pootočí o  $50^\circ$ , působí v mechanismu vnitřní síly, které jsou v tomto stavu největší.



Obr. 26 Schéma ve stavu maximálního odbrzdění

Mechanismus byl kontrolován i ve stavu začátku odbrzdování, ale síly, které tam působily, byly o dost menší než ve stavu maximálního odbrzdění. Z toho důvodu byl silový rozklad dělán pouze ve stavu maximálního odbrzdění.

**Kontrola první brzdné páky:**

Je známo:  $F_{2SkutMAX} = 66,175 \text{ N}$ ;  $F_p = \frac{F_{2SkutMAX}}{2} = 33,09 \text{ N}$ ;  $\gamma_1 = 38,0607^\circ$

$$F_{ps1} = \cos(\gamma_1) \cdot F_p \quad (18)$$

$$F_{ps1} = \cos(38,0607^\circ) \cdot 33,09$$

$$F_{ps1} = 26,05368 \text{ N}$$

$\gamma_1$ .....úhel odklonění první brzdné páky od roviny symetrie

$F_p$ ..... síla, která působí od pružiny na jednu brzdou páku

$F_{ps1}$ ..... sklopená  $F_p$  na rameno momentu od druhé brzdné páky

Je známo:  $F_{ps1} = 26,05368 \text{ N}$ ;  $r_3 = 0,024703 \text{ m}$ ;  $r_4 = 0,0285843 \text{ m}$

$$F_{31} = \frac{F_{ps1} \cdot r_3}{r_4} \quad (19)$$

$$F_{31} = \frac{26,05368 \cdot 0,024703}{0,0285843}$$

$$F_{31} = 22,51618 \text{ N}$$

$r_4$ ..... vzdálenost ložiska od osy šroubu

$F_{31}$ ..... sklopená  $F_{N11}$  na rameno momentu od první brzdné páky

Je známo:  $F_{31} = 22,51618 \text{ N}$ ;  $\delta_1 = 7,29341^\circ$

$$F_{N11} = \frac{F_{31}}{\cos(\delta_1)} \quad (20)$$

$$F_{N11} = \frac{22,51618}{\cos(7,29341^\circ)}$$

$$F_{N11} = 22,69984 \text{ N}$$

$\delta_1$ ..... úhel mezi  $F_{31}$  a  $F_{N11}$

$F_{N11}$ ..... radiální síla působící od vačky na ložisko

Je známo:  $F_{N11} = 22,69984 \text{ N}$ ;  $\omega_1 = 42,8269^\circ$

$$F_{M11} = \frac{F_{N11}}{\cos(\omega_1)} \quad (21)$$
$$F_{M11} = \frac{22,69984}{\cos(42,8269^\circ)}$$
$$F_{M11} = 30,95106 \text{ N}$$

$\omega_1$ ..... úhel mezi  $F_{M11}$  a  $F_{N11}$

$F_{M11}$ ..... síla z momentu od brzdného motoru

Je známo:  $F_{M11} = 30,95106 \text{ N}$ ;  $r_{51} = 0,00635451 \text{ m}$

$$M_{m11} = F_{M11} \cdot r_{51} \cdot 2 \quad (22)$$
$$M_{m11} = 30,95106 \cdot 0,00635451 \cdot 2$$
$$M_{m11} = 0,393358 \text{ Nm}$$

$r_{51}$ ..... vzdálenost osy motoru od působíště síly na ložisko první páky

$M_{m11}$ ..... potřebný moment pro otevření první páky

### **Kontrola druhé brzdné páky:**

Je známo:  $F_p = 33,09 \text{ N}$ ;  $\gamma_2 = 38,951^\circ$

$$F_{ps2} = \cos(\gamma_2) \cdot F_p \quad (23)$$
$$F_{ps2} = \cos(38,951^\circ) \cdot 33,09$$
$$F_{ps2} = 25,73356 \text{ N}$$

$\gamma_2$ .....úhel odklonění druhé brzdné páky od roviny symetrie

$F_{ps2}$ ..... sklopená  $F_p$  na rameno momentu od druhé brzdné páky

Je známo:  $F_{ps2} = 25,73356 \text{ N}$ ;  $r_3 = 0,024703 \text{ m}$ ;  $r_4 = 0,0285843 \text{ m}$

$$F_{32} = \frac{F_{ps2} \cdot r_3}{r_4} \quad (24)$$
$$F_{32} = \frac{25,73356 \cdot 0,024703}{0,0285843}$$
$$F_{32} = 22,23953 \text{ N}$$

$F_{32}$ ..... sklopená  $F_{N22}$  na rameno momentu od druhé brzdné páky

Je známo:  $F_{32} = 22,23953 \text{ N}$ ;  $\delta_2 = 43,2541^\circ$

$$F_{N22} = \frac{F_{32}}{\cos(\delta_2)} \quad (25)$$

$$F_{N22} = \frac{22,23953}{\cos(43,2541^\circ)}$$

$$F_{N22} = 30,5353 \text{ N}$$

$\delta_2$ ..... úhel mezi  $F_{32}$  a  $F_{N22}$

$F_{N22}$ ..... radiální síla působící od vačky na ložisko

Je známo:  $F_{N22} = 30,5353 \text{ N}$ ;  $\omega_2 = 48,2699^\circ$

$$F_{M22} = \frac{F_{N22}}{\cos(\omega_2)} \quad (26)$$

$$F_{M22} = \frac{30,5353}{\cos(48,2699^\circ)}$$

$$F_{M22} = 45,87479 \text{ N}$$

$\omega_2$ ..... úhel mezi  $F_{M22}$  a  $F_{N22}$

$F_{M22}$ ..... síla z momentu od brzdného motoru

Je známo:  $F_{M22} = 45,87479 \text{ N}$ ;  $r_{52} = 0,00660156 \text{ m}$

$$M_{m22} = F_{M22} \cdot r_{52} \cdot 2 \quad (27)$$

$$M_{m22} = 45,87479 \cdot 0,00660156 \cdot 2$$

$$M_{m22} = 0,60569 \text{ Nm}$$

$r_{51}$ ..... vzdálenost osy motoru od působíště síly na ložisko druhé páky

$M_{m22}$ ..... potřebný moment pro otevření druhé páky

Díky výpočtům byly zjištěny velikosti sil, které jsou použity pro další výpočty. Největší radiální síla působící na ložiska byla stanovena  $F_{N22}$ . Její velikost je 30,5353 N. Největší sklopená síla na rameno momentu brzdné páky byla vypočtena síla  $F_{ps1}$ , konkrétně 26,05368 N. Pro výpočet velikosti brzdného momentu jsou důležité hodnoty potřebných momentů pro obě ramena.

### 8.2.3 Výpočet motoru na odbrzdění

Potřebný moment motoru na odbrzdění je logicky součtem potřebných momentů na přenastavení pák do stavu maximálního odbrzdění.

Je známo:  $M_{m11} = 0,393358 \text{ Nm}$ ;  $M_{m22} = 0,60569 \text{ Nm}$

$$M_{BM} = M_{m11} + M_{m22} \quad (28)$$

$$M_{BM} = 0,393358 + 0,60569$$

$$M_{BM} = 0,999048 \text{ Nm}$$

$M_{BM}$ ..... potřebný moment na motoru na odbrzdění

Zvolil jsem motor, který má moment větší než  $0,999048 \text{ Nm}$ , od firmy Pololu [7]. Jedná se opět o malý motor ze série Micro Metal Gearmotor LP. Jeho parametry dostačují požadavkům na motor na odbrzdění.



Obr. 27 Motor na odbrzdění [7]

<u>Parametr</u>	<u>Hodnota parametru</u>
<i>Napětí na zdroji</i>	6 V
<i>Kroutící moment</i>	1,177 Nm
<i>Rozměry</i>	10 x 12 x 29,5 mm
<i>Otáčky</i>	31 rpm
<i>Hmotnost</i>	10,5 g
<i>Spotřeba proudu</i>	1,6 A

Tab. 17 Parametry motoru na odbrzdění

#### 8.2.4 Shrnutí brzdného mechanismu

Brzdný mechanismus slouží k zajištění svěrné síly na čelistech efektoru. Cyklus pohybu vypadá takto:

- Z řízení je vyslán požadavek na rozevření nebo sevření čelistí
- Řídící jednotka odjistí brzdný mechanismus tak, že přenastaví brzdné páky ze stavu zastaveno do stavu maximálního odbrzdění pomocí motoru na odbrzdění
- Dále dá řídící jednotka pokyn hlavnímu motoru, aby přenastavil čelisti do požadované polohy
- Poté přijde z řízení pokyn na přenastavení brzdných pák z polohy maximálního odbrzdění do polohy zastaveno, čímž se zajistí poloha čelistí a svěrná síla jimi vyvolaná.

Přínos mechanismu:

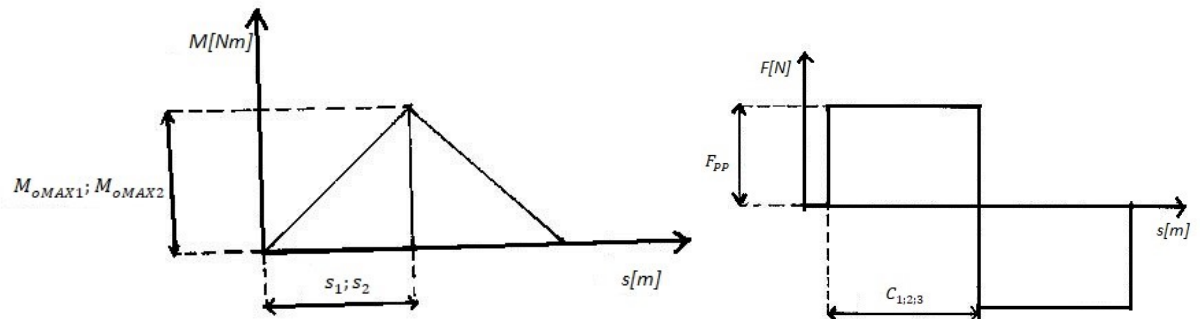
- Svěrná síla bude zajištěna i v případě výpadku proudu, takže nedojde k poškození objektu manipulace.
- Dochází k úspoře energie, jelikož hnací motor slouží jen k přenastavení čelistí a krátkému vybuzení svěrné síly. Nemusí pracovat neustále.
- Díky konstrukčnímu provedení efektoru spojenému s tímto mechanismem se robot stává univerzálnějším, co se efektoru týče. Může uchopit i předměty s dutým profilem z vnitřní části.



## 8.3 Kontrola kolíků

Kontrola kolíků od ložisek a od pružiny je prováděna k ujištění, že navržené kolíky, které budou lisovány do brzdě páky, vydrží v podmínkách navržené konstrukce efektoru. Vzorce, dovolené tlaky a napětí mám z této literatury [8].

### 8.3.1 Kolík od ložisek



Obr. 28 Pomocné schéma pro výpočet kolíku od ložisek

#### Kontrola na ohyb:

Je známo:  $s_1 = 0,0032 \text{ m}$ ;  $F_{N22} = 30,5353 \text{ N}$

$$M_{oMAX1} = F_{N22} \cdot s_1 \quad (29)$$

$$M_{oMAX1} = 30,5353 \cdot 0,0032$$

$$M_{oMAX1} = 97,713 \text{ Nmm}$$

$s_1$ ..... vzdálenost působíště síly na brzdě páce od působíště síly na ložisko

$M_{oMAX1}$ ..... ohybový moment, který působí v kolíku od ložisek

Je známo:  $\sigma_{DO} = 140 \text{ MPa}$ ;  $k_{Ohybu1} = 3$ ;  $M_{oMAX1} = 97,713 \text{ Nmm}$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{oMAX1} \cdot k_{Ohybu1}}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} \quad (30)$$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 97,713 \cdot 3}{\pi \cdot 140}}$$

$$d'_1 = 2,773 \text{ mm} \Rightarrow d_1 = 3 \text{ mm}$$

$\sigma_{DO}$ ..... dovolený tlak v ohybu

$k_{Ohybu1}$ ..... zvolená bezpečnost

$d_1$ ..... výsledný průměr kolíků od ložisek

$d'_1$ ..... předběžný návrh průměru kolíků od ložisek

**Kontrola na otláčení:**

Je známo:  $c_1 = 2 \text{ mm}$ ;  $d_1 = 3 \text{ mm}$ ;  $F_{N22} = 30,5353 \text{ N}$

$$p_1 = \frac{2 \cdot F_{N22}}{2 \cdot d_1 \cdot c_1} \quad (31)$$

$$p_1 = \frac{2 \cdot 30,5353}{2 \cdot 3 \cdot 2}$$

$$p_1 = 5,089 \text{ MPa}$$

$c_1$ ..... délka opěrné části kolíku od ložiska, v místě brzdné páky

$p_1$ ..... tlak na kolík od ložiska, v místě brzdné páky

Je známo:  $p_1 = 5,089 \text{ MPa}$ ;  $p_{dov} = 30 \text{ MPa}$

$$k_{\text{Otláčení1}} = \frac{p_{dov}}{p_1} \quad (32)$$

$$k_{\text{Otláčení1}} = \frac{30}{5,089}$$

$$k_{\text{Otláčení1}} = 5,895$$

$k_{\text{Otláčení1}}$ ..... výsledná bezpečnost na otláčení v místě brzdné páky na kolíku od ložiska

$p_{dov}$ ..... dovolený tlak na otláčení

Je známo:  $c_2 = 4 \text{ mm}$ ;  $d_1 = 3 \text{ mm}$ ;  $F_{N22} = 30,5353 \text{ N}$

$$p_2 = \frac{2 \cdot F_{N22}}{2 \cdot d_1 \cdot c_2} \quad (33)$$

$$p_2 = \frac{2 \cdot 30,5353}{2 \cdot 3 \cdot 4}$$

$$p_2 = 2,545 \text{ MPa}$$

$c_2$ ..... délka opěrné části kolíku od ložiska, v místě ložiska

$p_2$ ..... tlak na kolík od ložiska, v místě ložiska

Je známo:  $p_2 = 2,545 \text{ MPa}$ ;  $p_{dov} = 30 \text{ MPa}$

$$k_{\text{Otláčení2}} = \frac{p_{dov}}{p_2} = \frac{30}{2,545} = 5,894817 \quad (34)$$

$$k_{\text{Otláčení2}} = \frac{p_{dov}}{p_2} = \frac{30}{2,545} = 5,894817$$

$$k_{\text{Otláčení2}} = 11,79$$

$k_{\text{Otláčení2}}$ ..... výsledná bezpečnost na otláčení v místě ložiska na kolíku od ložiska

### **Kontrola na smyk:**

Je známo:  $d_1 = 3 \text{ mm}$ ;  $F_{N22} = 30,5353 \text{ N}$

$$\tau_{s1} = \frac{4 \cdot F_{N22}}{\pi \cdot d^2} \quad (35)$$

$$\tau_{s1} = \frac{4 \cdot 30,5353}{\pi \cdot 3^2}$$

$$\tau_{s1} = 4,32 \text{ MPa}$$

$\tau_{s1}$ ..... tlak ve smyku na kolíku u ložisek

Je známo:  $\tau_{dov} = 90 \text{ MPa}$ ;  $\tau_{s1} = 4,32 \text{ MPa}$

$$k_{\text{Smyku1}} = \frac{\tau_{dov}}{\tau_{s1}} \quad (36)$$

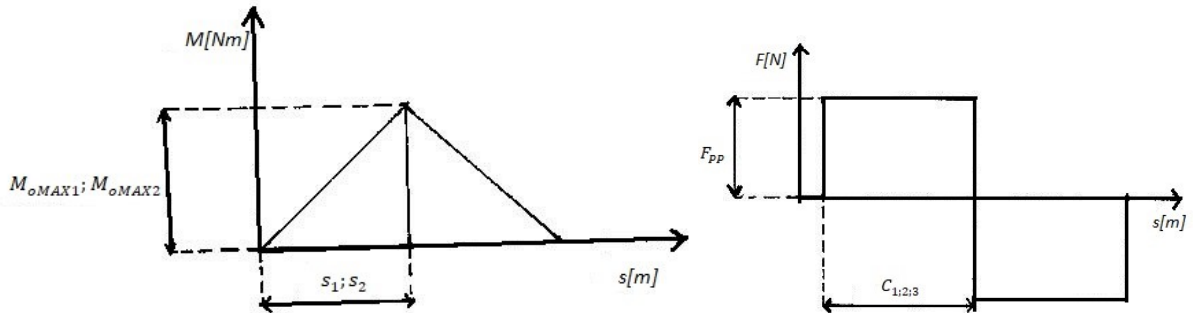
$$k_{\text{Smyku1}} = \frac{90}{4,32}$$

$$k_{\text{Smyku1}} = 20,834$$

$\tau_{dov}$ ..... dovolený tlak ve smyku na kolíku u ložisek

$k_{\text{Smyku1}}$ ..... výsledná bezpečnost ve smyku v místě ložiska

### 8.3.2 Kolík od pružiny



Obr. 29 Pomocné schéma pro výpočet kolíku od pružiny

#### **Kontrola na ohyb:**

Je známo:  $s_2 = 0,0065 \text{ m}$ ;  $F_{PP} = \frac{F_{2SkutMAX}}{4} = 16,544 \text{ N}$

$$M_{oMAX2} = F_{N22} \cdot s_2 \quad (37)$$

$$M_{oMAX2} = 16,544 \cdot 0,0065$$

$$M_{oMAX2} = 107,543 \text{ Nmm}$$

$s_2$ ..... vzdálenost působíště síly na brzdné páce od působíště síly pružiny

$M_{oMAX2}$ ..... ohybový moment, který působí v kolíku od pružiny

$F_{PP}$ ..... síla působící na kolík od pružiny v místě brzdné páky

Je známo:  $\sigma_{DO} = 140 \text{ MPa}$ ;  $k_{Ohybu1} = 3$ ;  $M_{oMAX2} = 107,543 \text{ Nmm}$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{oMAX2} \cdot k_{Ohybu1}}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} \quad (38)$$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 107,543 \cdot 3}{\pi \cdot 140}}$$

$$d'_2 = 2,863 \text{ mm} \Rightarrow d_2 = 3 \text{ mm}$$

$d_2$ ..... výsledný průměr kolíků od pružiny

$d'_2$ ..... předběžný návrh průměru kolíků od pružiny

### **Kontrola na otláčení:**

Je známo:  $c_3 = 3 \text{ mm}$ ;  $d = 3 \text{ mm}$ ;  $F_{PP} = 16,544 \text{ N}$

$$p_3 = \frac{2 \cdot F_{PP}}{2 \cdot d \cdot c_3} \quad (39)$$

$$p_3 = \frac{2 \cdot 16,544}{2 \cdot 3 \cdot 3}$$

$$p_3 = 1,838 \text{ MPa}$$

$c_3$ ..... délka opěrné části kolíku od pružiny, v místě brzdné páky

$p_3$ ..... tlak na kolík od pružiny, v místě brzdné páky

Je známo:  $p_3 = 1,838 \text{ MPa}$ ;  $p_{dov} = 30 \text{ MPa}$

$$k_{\text{Otláčení}3} = \frac{p_{dov}}{p_3} \quad (40)$$

$$k_{\text{Otláčení}3} = \frac{30}{1,838}$$

$$k_{\text{Otláčení}3} = 16,319$$

$k_{\text{Otláčení}3}$ ..... výsledná bezpečnost na otláčení v místě brzdné páky na kolíku od pružiny

Kontrola na otláčení a smyk v místě pružiny není provedena z důvodu bodového styku.

## **8.4 Kontrola kluzného pouzdra a lícovaného šroubu**

Tyto dvě součástky jsou na sobě závislé. Kluzné pouzdro se totiž v konstrukci nachází na svěrném pouzdře. Z toho vyplývá, že radiální síla působící na tato komponenty bude stejná. Radiální sílu spočítáme ze vzorce (41).

Je známo:  $r_3 = 0,024703 \text{ m}$ ;  $r_4 = 0,0285843 \text{ m}$ ;  $F_{ps1} = 26,05368 \text{ N}$

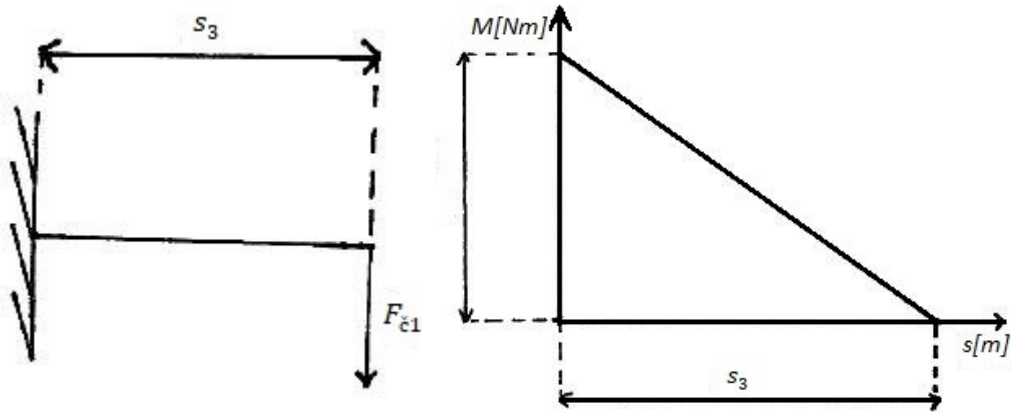
$$F_{\check{c}1} = \frac{F_{ps1} \cdot (r_3 + r_4)}{r_4} \quad (41)$$

$$F_{\check{c}1} = \frac{26,05368 \cdot (0,024703 + 0,0285843)}{0,0285843}$$

$$F_{\check{c}1} = 48,56986 \text{ N}$$

$F_{\check{c}1}$ ..... radiální síla působící na lícovaný šroub a kluzné pouzdro.

### 8.4.1 Kontrola Lícování šroubu:



Obr. 30 Pomocné schéma pro výpočet lícování šroubu

Uvažujeme lícování šroubu jako kolík. Musíme ho podrobit příčným kontrolám.

#### Kontrola na ohyb:

Je známo:  $F_{\check{c}1} = 48,6 \text{ N}$ ;  $s_3 = 0,005 \text{ mm}$

$$M_{oMAX3} = F_{N22} \cdot s_3 \quad (42)$$

$$M_{oMAX3} = 48,6 \cdot 0,005$$

$$M_{oMAX3} = 243 \text{ Nmm}$$

$s_3$ ..... vzdálenost působíště síly na brzdné páce od působíště síly na ložisko

$M_{oMAX3}$ ..... ohybový moment, který působí na lícovaný šroub

Je známo:  $\sigma_{DO} = 140 \text{ MPa}$ ;  $k_{Ohybu1} = 3$ ;  $M_{oMAX3} = 243 \text{ Nmm}$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{oMAX3} \cdot k_{Ohybu1}}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} \quad (43)$$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 243 \cdot 3}{\pi \cdot 140}}$$

$$d'_3 = 3,757 \text{ mm} \Rightarrow d_3 = 4 \text{ mm}$$

$d_3$ ..... průměr lícování šroubu

$d'_3$ ..... návrh průměru lícování šroubu

Z tohoto výpočtu vyplývá volba lícovaného šroubu. Výběr šroubu podléhá i rozměrovým a konstrukčním požadavkům. Volím šroub DIN 7379 M3x8.

### **Kontrola na otlačení:**

Je známo:  $c_4 = 3 \text{ mm}$ ;  $d_3 = 4 \text{ mm}$ ;  $F_{\zeta 1} = 48,56986 \text{ N}$

$$p_4 = \frac{2 \cdot F_{\zeta 1}}{2 \cdot d \cdot c_4} \quad (44)$$
$$p_4 = \frac{2 \cdot 48,56986}{2 \cdot 4 \cdot 3}$$
$$p_4 = 4,05 \text{ MPa}$$

$c_4$ ..... délka opěrné části lícování v místě brzdné páky

$p_4$ ..... tlak na lícování v místě brzdné páky

Je známo:  $p_4 = 4,05 \text{ MPa}$ ;  $p_{dov} = 30 \text{ MPa}$

$$k_{\text{Otlačení4}} = \frac{p_{dov}}{p_4} \quad (45)$$
$$k_{\text{Otlačení4}} = \frac{30}{4,05}$$
$$k_{\text{Otlačení4}} = 7,407$$

$k_{\text{Otlačení4}}$ ..... výsledná bezpečnost na otlačení v místě brzdné páky na lícování šroubu

### **Kontrola na smyk:**

Je známo:  $d_3 = 4 \text{ mm}$ ;  $F_{\zeta 1} = 48,56986 \text{ N}$

$$\tau_{s4} = \frac{4 \cdot F_{N22}}{\pi \cdot d_3^2} \quad (46)$$
$$\tau_{s4} = \frac{4 \cdot 48,56986}{\pi \cdot 4^2}$$
$$\tau_{s4} = 3,867 \text{ MPa}$$

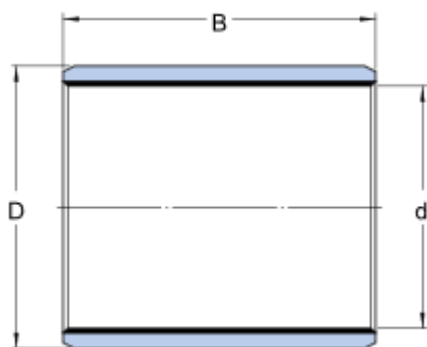
$\tau_{s4}$ ..... tlak ve smyku na lícování šroubu

Je známo:  $\tau_{dov} = 90 \text{ MPa}$ ;  $\tau_{s4} = 3,867 \text{ MPa}$

$$k_{\text{Smyku4}} = \frac{\tau_{dov}}{\tau_s} \quad (47)$$
$$k_{\text{Smyku4}} = \frac{90}{3,867}$$
$$k_{\text{Smyku4}} = 23,271$$

$k_{Smyku4}$ ..... výsledná bezpečnost ve smyku na lícování šroubu

#### 8.4.2 Kontrola kluzného pouzdra



Obr. 31 Kluzné pouzdro [9]

Parametr	Hodnota parametru
B	6 mm
D	5,5 mm
d	4 mm
$p_{dov2}$	80 MPa
$F_{dov}$	1,93 kN

Tab. 18 Parametry kluzného pouzdra

Volím kluzné pouzdro PCM 040506 E/VB055 od firmy SKF [9]. Předpokládá se stejný průběh sil, jako u lícovaného šroubu.

#### **Kontrola na otláčení:**

Je známo:  $c_5 = 3$  mm;  $d_5 = 5,5$  mm;  $F_{\check{c}1} = 48,56986$  N

$$p_5 = \frac{2 \cdot F_{\check{c}1}}{2 \cdot d_5 \cdot c_5} \quad (48)$$

$$p_5 = \frac{2 \cdot 48,56986}{2 \cdot 5,5 \cdot 3}$$

$$p_5 = 2,946 \text{ MPa}$$

$c_5$ ..... délka opěrné části kluzného pouzdra v místě brzdné páky

$p_5$ ..... tlak na kluzné pouzdro v místě brzdné páky



Je známo:  $p_5 = 2,946 \text{ MPa}$ ;  $p_{dov2} = 80 \text{ MPa}$

$$k_{\text{Otláčení5}} = \frac{p_{dov2}}{p_5} \quad (49)$$

$$k_{\text{Otláčení5}} = \frac{80}{2,946}$$

$$k_{\text{Otláčení5}} = 27,161$$

$k_{\text{Otláčení5}}$ ..... výsledná bezpečnost na otláčení kluzného pouzdra v místě brzdné páky

$p_{dov2}$ ..... součinitel měrného dynamického zatížení

### **Kontrola na sílu:**

Je známo:  $F_{dov} = 1,93 \text{ kN}$ ;  $F_{\check{c}1} = 48,56986 \text{ N}$

$$k_{\text{sílu}} = \frac{F_{dov}}{F_{\check{c}1}} \quad (50)$$

$$k_{\text{sílu}} = \frac{1930}{48,56986}$$

$$k_{\text{sílu}} = 39,737$$

$k_{\text{sílu}}$ ..... výsledná bezpečnost na sílu kluzného pouzdra

$F_{dov}$ ..... základní dynamické únosnost (radiální směr)

## **8.5 Kontrola ložisek brzdných pák**

Ložiska brzdných pák jsou namáhána radiální silou, která vyšla z výpočtu (25). Tato síla je největší radiální silou působící na ložiska 623 od firmy ZKL [10]. Tento výrobce má vlastní výpočetní program na kontrolu ložisek. Část kontrolních výpočtů jsem provedl pomocí výpočetního programu firmy ZKL.

**Stanovení statické bezpečnosti:**

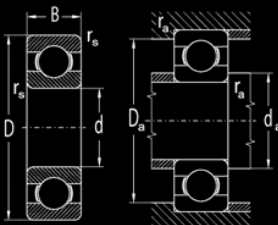
Je známo:  $F_{N22} = 30,5353 \text{ N}$ ;  $C_0 = 229 \text{ N}$ ;

$$S_0 = \frac{C_0}{P} \tag{51}$$

$$S_0 = \frac{229}{30,5353}$$

$$S_0 = 7,5$$

**623**



Hlavní rozměry				Základní únosnost		Mezní únavové zatížení	Mezní frekvence otáčení pro mazání		Označení ložiska	Připojovací rozměry			Hmotnost
d	D	B	r <sub>s</sub>	dynamická (C <sub>d</sub> )	statická (C <sub>st</sub> )	P <sub>0</sub>	Plastické mazivo	Olej		d <sub>a</sub>	D <sub>a</sub>	r <sub>a</sub>	
mm				kN		kN	min <sup>-1</sup>			min	max	max	kg
3	10	4	0.15	0.645	0.229	0.010	40 000	50 000	623	4.2	8.5	0.1	0.0015

**Výpočty**

Základní trvanlivost 10<sup>6</sup>

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

C =  kN  
P =  kN

L<sub>10</sub> =  10<sup>6</sup> ot

Výpočet P

$$P_r = X_r F_r + Y_r F_a$$

F<sub>a</sub> =    
F<sub>r</sub> =

Výpočet P

Výpočet L<sub>10</sub>

Obr. 32 Výpočet ložiska 623 [10]

C<sub>0</sub>..... základní statická únosnost

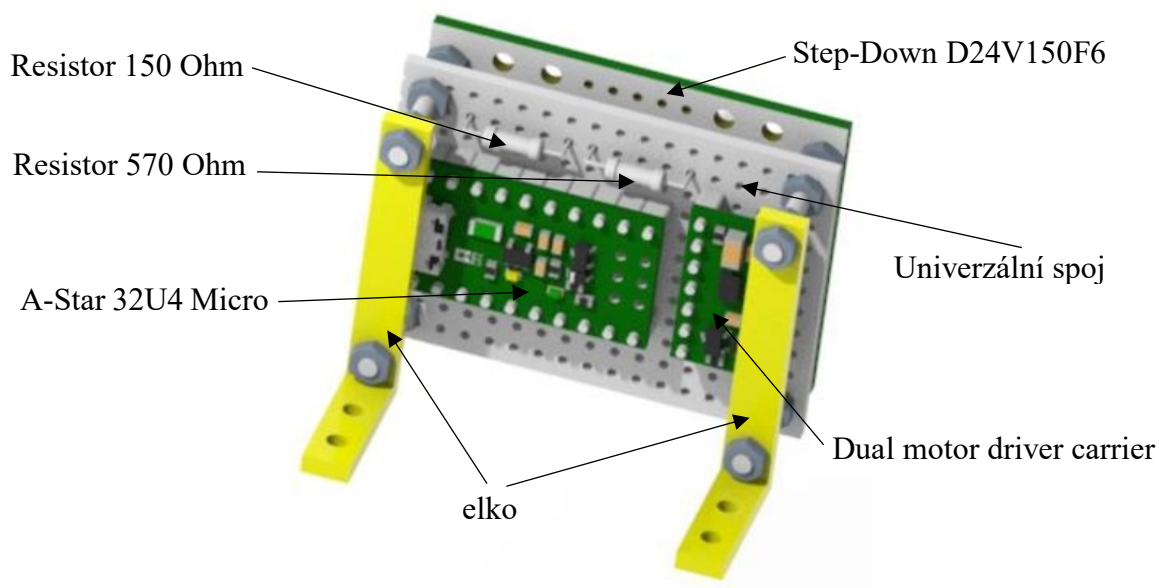
S<sub>0</sub>..... statická bezpečnost ložiska

P..... ekvivalentní dynamické zatížení ložiska

L<sub>10</sub>..... základní trvanlivost v otáčkách

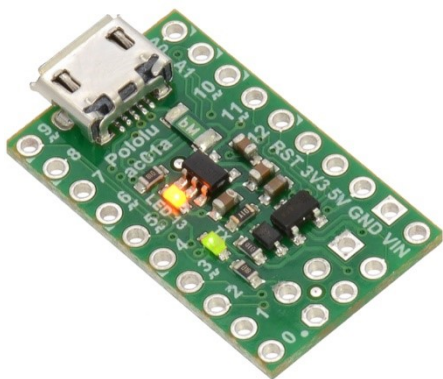
## 9 Elektronika

Tato část popisuje řídicí elektroniku, volbu elektrokomponentů a celkové integrování elektroniky do efektoru.



Obr. 33 Část elektronika

Jelikož je třeba, aby byly motory v části tělo řízeny, musí zde být řídicí jednotka, která by se postarala o zpracování signálu z robota a přenastavení motorů do požadovaných poloh. Zvolil jsem programovatelnou řídicí jednotku A-Star 32U4 Micro od firmy Pololu [11]. Tato jednotka svými parametry vyhovuje požadavkům, které jsou na ni kladeny.



Obr. 34 A-Star 32U4 Micro [11]

<u>Parametr</u>	<u>Hodnota parametru</u>
<i>Logické napětí</i>	5 V
<i>Napájecí napětí</i>	5,5 – 15 V
<i>Počet digitálních vstupů</i>	18
<i>počet PWM vstupů</i>	8
<i>váha</i>	1,3 g

Tab. 19 Parametry A-Star 32 U4 Micro

Motory budou řízeny pomocí driveru, a ten bude řízen řídicí jednotkou. Jelikož jsou v mechanismu dva motory, bude úspornější vybrat driver, na který můžou být připojeny dva motory. Vybral jsem driver DRV8835 Dual Motor Driver Carrier od firmy Pololu [12].



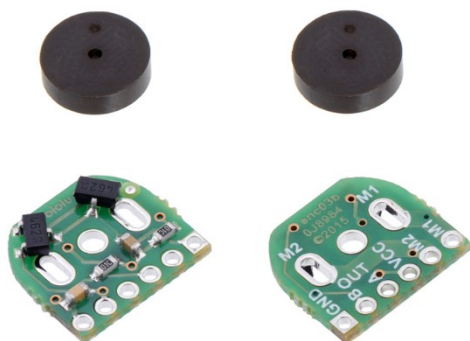
Obr. 35 DRV8835 [12]

<u>Parametr</u>	<u>Hodnota parametru</u>
<i>Max. výstupní proud na kanál</i>	1,5 A
<i>Napájecí napětí</i>	0–11 V
<i>Logické napětí</i>	2–7 V
<i>Maximální frekvence PWM</i>	250 kHz
<i>váha</i>	0,5 g

Tab. 20 Parametry DRV8835

Aby bylo řízení jednodušší a přesnější jsou v části tělo na motory připevněny součástky zvané enkodéry.

Tyto součástky slouží jako snímače otáček. Pomocí snímání otáček, bude řídicí jednotka znát přesný úhel natočení hřídelí motorů. Tato informace se pomocí kabelů z enkodéru dostane do řídicí jednotky. Ta na základě hodnoty úhlu bude moci vyslat signál k řízení motoru do driveru. Dále pak bude enkodér sloužit jako zpětná vazba pro řízení a regulaci motoru. Byly vybrány enkodéry od firmy Pololu, a to konkrétně Magnetic Encoder Pair Kit for Micro Metal Gearmotors, 12 CPR, 2,7–18 V (HPCB compatible) [13].

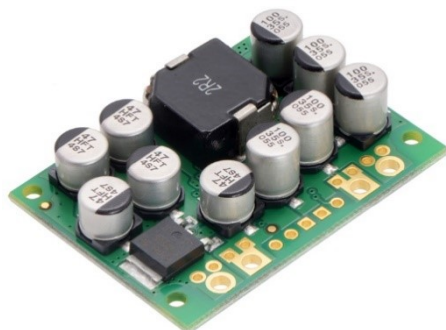


Obr. 36 Enkodéry [13]

<u>Parametr</u>	<u>Hodnota parametru</u>
<i>Rozměry</i>	10,6 x 11,6 mm
<i>Napájecí napětí</i>	2,7–18 V
<i>váha</i>	1 g

Tab. 21 Parametry enkodérů

Elektrokomponenty efektoru jsou napájeny z elektrického zdroje z robotu. Na robotu ABB IRB 1200 je elektrický zdroj o napětí 24 V. Toto napětí je na většinu elektrokomponentů v efektoru příliš velké. Je tedy třeba do efektoru zařadit součástku s názvem měnič napětí. Tato součástka přemění napětí ze zdroje na napětí, které komponenty potřebují. Velikost napětí na výstupu z měniče napětí je 6 V, jelikož toto napájecí napětí vyhovuje všem napájecím napětím použitých elektrokomponentů. Byl vybrán měnič napětí od firmy Pololu, a to konkrétně Pololu 6 V, 15A Step-Down Voltage Regulator D24V150 F6 [14].



Obr. 37 Měnič napětí [14]

Parametr	Hodnota parametru
Výstupní proud	15 A
Napájecí napětí	7,2–40 V
Výstupní napětí	6 V
Maximální spotřeba proudu	100 mA
Váha	19 g

Tab. 22 Parametry měniče napětí

Je třeba zkontrolovat, jestli výstupní proud z měniče napětí bude dostatečně zásobovat elektrokomponenty, které tento proud budou odebírat.

Je známo:  $I_{\text{motoruH}} = 0,36 \text{ A}$ ;  $I_{\text{motoruB}} = 1,6 \text{ A}$ ;  $I_{\text{MAXdriveru}} = 3 \text{ A}$ ;

$$I_{\text{MAXřidicijednotky}} = 0,1 \text{ A}$$

$$I_V = I_{\text{motoruH}} + I_{\text{motoruB}} + I_{\text{MAXdriveru}} + I_{\text{MAXřidicijednotky}} \quad (52)$$

$$I_V = 0,36 + 1,6 + 3 + 0,1$$

$$I_V = 5,06 \text{ A}$$

$I_{\text{motoruH}}$ ..... odpor proudu hnacím motorem

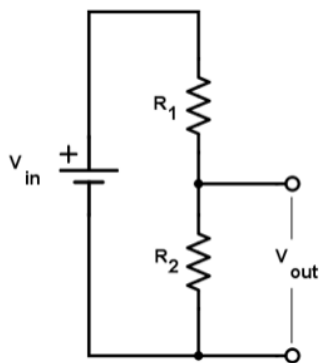
$I_{\text{motoruB}}$ ..... odběr proudu motorem na odbrzdění

$I_{\text{MAXdriveru}}$ ..... maximální odběr proudu driverem

$I_{\text{MAXřidicijednotky}}$ ..... maximální odběr proud řídicí jednotkou

$I_V$ ..... výsledný potřebný proud z měniče napětí

A-Star 32U4 Micro je řízena digitálním signálem z robotu. Logické napětí signálu je 24 V na výstupu z robotu. A-Star 32U4 Micro má na vstupu logické napětí 5 V. Je třeba napětí z robotu zredukovat pomocí vlastního návrhu měniče napětí. Z toho důvodu vybírám dva malé rezistory s uhlíkovým filmem. První rezistor má 570  $\Omega$  [15] a druhý má 150  $\Omega$  [16]. Pro návrh a sestavení vlastního měniče napětí jsem použil tento web [17].



Obr. 38 Vlastní měnič napětí [17]

Je známo:  $R_1 = 570 \Omega$ ;  $R_2 = 150 \Omega$ ;  $V_{in} = 24 \text{ V}$

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (53)$$

$$V_{out} = 24 \cdot \frac{150}{570 + 150}$$

$$V_{out} = 5 \text{ V}$$

$R_1$ ..... odpor prvního rezistoru

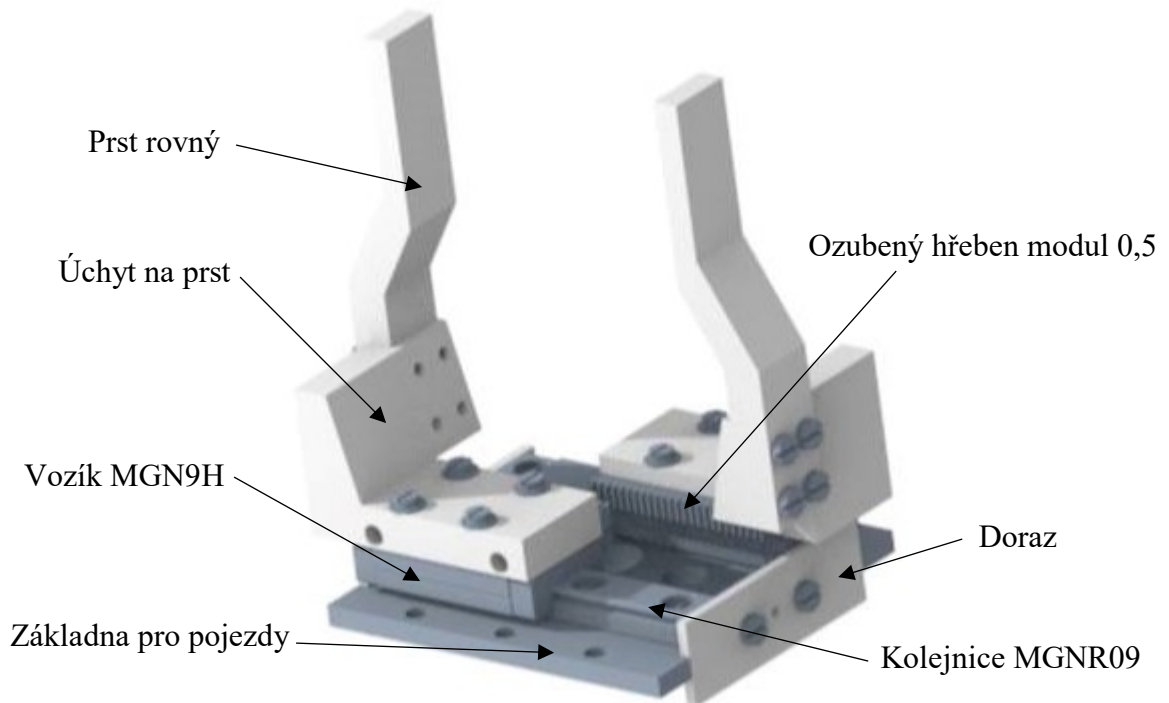
$R_2$ ..... odpor druhého rezistoru

$V_{in}$ ..... vstupní napětí ze signálu robotu

$V_{out}$ ..... výstupní napětí z měniče

## 10 Čelisti

Zde se nachází výpočet a návrh komponentů použitých v části čelisti. Nachází se zde prsty efektoru, které jsou přišroubovány na vozíky. Vozíky jezdí po kolejničích, jež jsou připevněny k součástce základna pro pojezdy.

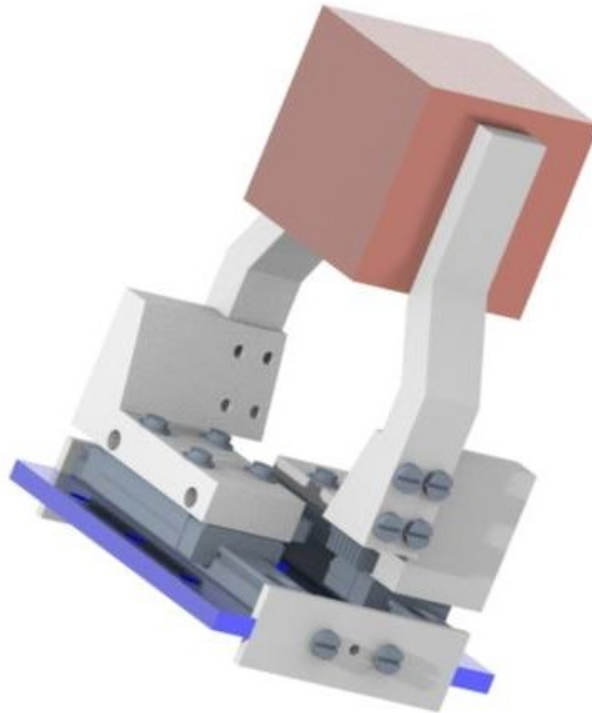


Obr. 39 Část čelisti

Součástí sekce čelisti jsou ozubené hřebeny. Tato součástka se bude kupovat od firmy T.E.A. TECHNIK s.r.o. a dále pak upravovat dle výkresové dokumentace.

Zvolil jsem kolejnici a vozíky od firmy HIWIN. Konkrétně jsem vybral vozíky MGN9H21HMU a kolejnici MGNR09R100HM. Tyto součástky musím, dle dodavatele, podrobit kontrolním výpočtům, které se nacházejí v katalogu dodavatele (viz příloha F). Ve výpočtech dodržuji postup dle katalogu. Rozměrové hodnoty byly stanoveny na základě měření v 3D modelu v rýsovacím programu CREO Parametric 4.0.

## Výpočet momentů:



Obr. 40 Měření parametrů v rýsovací programu

### 1) Momenty od svěrné síly:

$M_{XF} = 0 \text{ Nm}$ , jelikož v tomto směru od svěrné síly nepůsobí žádná síla

$M_{XF}$ ..... moment od svěrné síly v rovině x

Je známo:  $U_{skut} = 35,958 \text{ N}$ ;  $F_{pul} = \frac{U_{skut}}{2} \cong 18 \text{ N}$ ;  $z = 0,07975 \text{ m}$

$$M_{YF} = F_{pul} \cdot z \quad (54)$$

$$M_{YF} = 18 \cdot 0,07975$$

$$M_{YF} = 1,4355 \text{ Nm}$$

z..... vzdálenost působíště svěrné síly od těžiště vozíku v ose z

$F_{pul}$ ..... síla, která vytváří ohybový moment na jeden prst efektoru od svěrné síly

$M_{YF}$ ..... moment od svěrné síly v rovině y

Je známo:  $F_{pul} = 18 \text{ N}$ ;  $x = 0,017 \text{ m}$

$$M_{ZF} = F_{pul} \cdot x \quad (55)$$

$$M_{ZF} = 18 \cdot 0,017$$

$$M_{ZF} = 0,306 \text{ Nm}$$



x..... vzdálenost působíště svěrné síly od těžiště vozíku v ose x

$M_{ZF}$ ..... moment od svěrné síly v rovině z

## 2) Momenty od těžiště:

Je známo:  $m = 0,226 \text{ kg}$ ;  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$F_m = m \cdot g = 0,226 \cdot 9,81 = 2,21706 \text{ N} \quad (56)$$

$$F_m = 0,226 \cdot 9,81$$

$$F_m = 2,21706 \text{ N}$$

$F_m$ ..... síla, která vytváří ohybový moment z těžiště

g..... gravitační zrychlení

m..... hmotnost soustavy prstů, úchytů na prsty a objektu manipulace

Je známo:  $F_m = 2,21706 \text{ N}$ ;  $z_t = 0,049450434 \text{ m}$

$$M_{XFM} = \frac{F_m}{2} \cdot z_t \quad (57)$$

$$M_{XFM} = \frac{2,21706}{2} \cdot 0,049450434$$

$$M_{XFM} = 0,05482 \text{ Nm}$$

$z_t$ ..... vzdálenost těžiště soustavy od těžiště vozíku v ose z

$M_{XFM}$ ..... moment od těžiště soustavy v rovině x

Je známo:  $F_m = 2,21706 \text{ N}$ ;  $z_t = 0,049450434 \text{ m}$

$$M_{YFM} = \frac{F_m}{2} \cdot z_t \quad (58)$$

$$M_{YFM} = \frac{2,21706}{2} \cdot 0,049450434$$

$$M_{YFM} = 0,05482 \text{ Nm}$$

$M_{YFM}$ ..... moment od těžiště soustavy v rovině y

Je známo:  $F_m = 2,21706 \text{ N}$ ;  $x_t = 0,017 \text{ m}$

$$\begin{aligned}M_{ZFM} &= \frac{F_m}{2} \cdot x_t \\M_{ZFM} &= \frac{2,21706}{2} \cdot 0,017 \\M_{ZFM} &= 0,018845 \text{ Nm}\end{aligned}\tag{59}$$

$M_{ZFM}$ ..... moment od těžiště soustavy v rovině z

$x_t$ ..... vzdálenost těžiště soustavy od těžiště vozíku v ose x

### **3) Výsledné momenty:**

Je známo:  $M_{XF} = 0 \text{ Nm}$ ;  $M_{XFM} = 0,05482 \text{ Nm}$

$$\begin{aligned}M_X &= M_{XF} + M_{XFM} \\M_X &= 0 + 0,05482 \\M_X &= 0,05482 \text{ Nm}\end{aligned}\tag{60}$$

$M_X$ ..... výsledný ohybový moment na vozík v rovině x

Je známo:  $M_{YF} = 1,4355 \text{ Nm}$ ;  $M_{YFM} = 0,05482 \text{ Nm}$

$$\begin{aligned}M_Y &= M_{YF} + M_{YFM} \\M_Y &= 1,4355 + 0,05482 \\M_Y &= 1,49032 \text{ Nm}\end{aligned}\tag{61}$$

$M_Y$ ..... výsledný ohybový moment na vozík v rovině y

Je známo:  $M_{ZF} = 0,306 \text{ Nm}$ ;  $M_{ZFM} = 0,018845 \text{ Nm}$

$$\begin{aligned}M_Z &= M_{ZF} + M_{ZFM} \\M_Z &= 0,306 + 0,018845 \\M_Z &= 0,3249 \text{ Nm}\end{aligned}\tag{62}$$

$M_Z$ ..... výsledný ohybový moment na vozík v rovině z

### Výpočet provozního zatížení:

Je známo:  $F_{pul} = 18 \text{ N}$ ;  $m = 0,226 \text{ kg}$ ;  $z = 0,07975 \text{ m}$ ;  $y_t = 0,005 \text{ m}$

$$P_1 = \frac{m}{2} + \frac{F_{pul} \cdot z}{y_t} \quad (63)$$

$$P_1 = \frac{0,226}{2} + \frac{18 \cdot 0,07975}{0,005}$$

$$P_1 = 287,213 \text{ N}$$

$y_t$ ..... vzdálenost těžiště soustavy od těžiště vozíku v ose y

$P_1$ ..... provozní zatížení při vodorovném pohybu čelistí

Je známo:  $F_{pul} = 18 \text{ N}$ ;  $m = 0,226 \text{ kg}$ ;  $z = 0,07975 \text{ m}$ ;  $y_t = 0,005 \text{ m}$ ;

$$z_t = 0,049450434 \text{ m}$$

$$P_2 = \frac{m \cdot z_t}{2 \cdot y_t} + \frac{F_{pul} \cdot z}{y_t} \quad (64)$$

$$P_2 = \frac{0,226 \cdot 0,049450434}{2 \cdot 0,005} + \frac{18 \cdot 0,07975}{0,005}$$

$$P_2 = 288,22 \text{ N}$$

$P_2$ ..... provozní zatížení při vertikálním pohybu čelistí

Je známo:  $F_{pul} = 18 \text{ N}$ ;  $m = 0,226 \text{ kg}$ ;  $z = 0,07975 \text{ m}$ ;  $y_t = 0,005 \text{ m}$ ;

$$z_t = 0,049450434 \text{ m}; x_t = 0,017 \text{ m}$$

$$P_3 = \frac{m \cdot z_t}{2 \cdot x_t} + \frac{F_{pul} \cdot z}{y_t} \quad (65)$$

$$P_3 = \frac{0,226 \cdot 0,049450434}{2 \cdot 0,017} + \frac{18 \cdot 0,07975}{0,005}$$

$$P_3 = 287,43 \text{ N}$$

$P_3$ ..... provozní zatížení při horizontálním pohybu čelistí

Dále počítám jen s nejvyšším provozním zatížením  $P_2$  , velikostně 288,22 N.

### **Statická a konstrukční bezpečnost:**

Je známo:  $M_{OX} = 19,6 \text{ Nm}$ ;  $M_X = 0,05482 \text{ Nm}$

$$f_{SMX} = \frac{M_{OX}}{M_X} \quad (66)$$

$$f_{SMX} = \frac{19,6}{0,05482}$$

$$f_{SMX} = 357,534$$

$M_{OX}$ ..... statický moment v rovině x

$f_{SMX}$ ..... statický bezpečnostní faktor pro zatížení momentem v rovině x

Je známo:  $M_{OY} = 18,6 \text{ Nm}$ ;  $M_Y = 1,49032 \text{ Nm}$

$$f_{SMY} = \frac{M_{OY}}{M_Y} \quad (67)$$

$$f_{SMY} = \frac{18,6}{1,49032}$$

$$f_{SMY} = 12,48$$

$M_{OY}$ ..... statický moment v rovině y

$f_{SMY}$ ..... statický bezpečnostní faktor pro zatížení momentem v rovině y

Je známo:  $M_{OZ} = 18,6 \text{ Nm}$ ;  $M_Z = 0,3249 \text{ Nm}$

$$f_{SMZ} = \frac{M_{OZ}}{M_Z} \quad (68)$$

$$f_{SMZ} = \frac{18,6}{0,3249}$$

$$f_{SMZ} = 57,25$$

$M_{OZ}$ ..... statický moment v rovině z

$f_{SMZ}$ ..... statický bezpečnostní faktor pro zatížení momentem v rovině z

Je známo:  $C_{OV} = 18,6 \text{ Nm}$ ;  $P_2 = 288,22 \text{ N}$

$$f_{SL} = \frac{C_{OV}}{P_2} \quad (69)$$

$$f_{SL} = \frac{4020}{288,22}$$

$$f_{SL} = 13,95$$

$C_{OV}$ ..... statické zatížení vozíků

$f_{SL}$ ..... statická konstrukční bezpečnost

### **Jmenovitá životnost:**

Je známo:  $f_h = 1$ ;  $f_t = 1$ ;  $f_w = 1$ ;  $C_{dyn} = 2550$ ;  $P_2 = 288,22 \text{ N}$

$$L = \left( \frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P_2} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 100 \quad (70)$$

$$L = \left( \frac{1 \cdot 1 \cdot 2550}{1 \cdot 288,22} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 100$$

$$L = 143\,236,45 \text{ km}$$

$f_h$ ..... faktor tvrdosti

$f_t$ ..... teplotní faktor

$f_w$ ..... zatěžovací faktor

$C_{dyn}$ ..... dynamické zatížení vozíku

$L$ ..... jmenovitá životnost vozíku v kilometrech

Je známo:  $L = 143\,236,45 \text{ km}$ ;  $v_{max} = 1,6965 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

$$L_h = \frac{L}{v_{max} \cdot 60} \quad (71)$$

$$L_h = \frac{143\,236,45}{1,6965 \cdot 60}$$

$$L_h = 1\,407\,209,25 \text{ hodin} = 160,64 \text{ let}$$

$L_h$ ..... jmenovitá životnost vozíku v hodinách

**Třecí odpor:**

Je známo:  $\mu = 0,004$ ;  $F_{tř} = 0,1 \text{ N}$ ;  $m = 0,226 \text{ kg}$

$$F_{třecí} = 2 \cdot ((\mu \cdot m) + F_{tř}) \quad (72)$$

$$F_{třecí} = 2 \cdot ((0,004 \cdot 0,226) + 0,1)$$

$$F_{třecí} = 0,201808 \text{ N}$$

$F_{třecí}$ ..... výsledná třecí síla vozíku

$\mu$ ..... součinitel tření mezi vozíkem a kolejnici

$F_{tř}$ ..... třecí síla vozíku

## 11 Výrobní náklady

Vycházel jsem z předpokladu, že plastové díly, které jsou vyráběny pomocí 3D tisku, se budou zhotovovat na katedrální 3D tiskárně. Z Tohoto důvodu odpadají náklady za cenu tisku a počítá se pouze cena použitého materiálu.

položka	komponent	počet	Kč/kus	cena
1	Spodní základna	1	325	325
2	Kryt	2	11	22
3	Díra pro kabelové vedení	1	1,5	1,5
4	Záslepka větší	1	1	1
5	Záslepka menší	1	1	1
6	Záslepka boční	1	1,5	1,5
7	Nosná konstrukce	1	722	722
8	Mezikus	1	301	301
9	Brzdná paka	2	914	1828
10	Vačka	1	452	452
11	Kolik od pružiny	2	24	48
12	Kolik od ložiska	2	26	52
13	Podložka pod kluzné pouzdro	1	15	15
14	Podložka pod ložiska	4	7	28
15	Distanční kroužek	4	1,5	6
16	Pastorek	1	75	75
17	Elko	2	2	4
18	Základna pro pojezdy	1	367	367
19	Úchyt na prst	2	277	554
20	Prst rovný	2	112	224
21	Doraz	2	42	84
22	Ozubený hřeben	1	250	250
23	Podložka 2.7 ČSN 02 1702	8	0,06	0,48
24	Matice M2 ČSN 02 1401	24	0,11	2,64
25	Šroub M2x6 ČSN 02 1131	14	0,28	3,92
26	Šroub M2x8 ČSN 02 1131	2	0,32	0,64
27	Šroub M2x12 ČSN 02 1131	2	0,37	0,74

28	Šroub M2x14 ČSN 02 1133	2	0,38	0,76
29	Šroub M2x16 ČSN 02 1134	1	0,38	0,38
30	Šroub M2x18 ČSN 02 1131	4	0,53	2,12
31	Šroub M2,5x12 ČSN 02 1131	8	0,56	4,48
32	Šroub M3X6 ČSN 02 1131	12	0,27	3,24
33	Šroub M3X10 ČSN 02 1131	8	0,28	2,24
34	Šroub M4x10 ČSN 02 1132	12	0,39	4,68
35	Šroub M5x10 ČSN 02 1132	4	0,62	2,48
36	Šroub M2x22 DIN 84	4	0,6	2,4
37	Stavěcí šroub M2x3 DIN 913	4	0,23	0,92
38	Lícovaný šroub M3x8 DIN 7379	1	1,75	1,75
39	HWR2031	1	4114	4114
40	Držáky na motory	1	115	115
41	Dual Shaft Micro Metal Gearmotor 150:1	1	390	390
42	Dual Shaft Micro Metal Gearmotor 1000:1	1	550	550
43	Kluzné pouzdro PCM 040506 E/VB055	1	13	13
44	Ložisko 623	2	20	40
45	Encodéry pro Micro Metal Gearmotor	1	206	206
46	Ložisko W 627/5 R-2ZS	1	237	237
47	Ložisko W637/8 R-2Z	1	251	251
48	Pružina Z-113I	1	70	70
49	Step Down Voltage Regulator D24V150F6	1	917	917
50	Dual Motor Driver Carrier DRV8835	1	103	103
51	Dupont	1	5	5
52	A-Star 32U4 Micro	1	292	292
53	Carbon Film Rezistor 150 Ohm 1/4W	1	138	138
54	Carbon Film Rezistor 570 Ohm 1/4W	1	34	34
55	Univerzální spoj	1	153	153
56	Vozík MGN9H	2	638	1276
57	Kolejnice MGN9H	1	247	247
Cena za součástky				14546,9
Montáž				1500
Celková odhadovaná cena Efektoru				16046,9

Tab. 23 Výrobní náklady



## 12 Závěr

V první části jsem vypracoval analýzu současného stavu laboratorních úloh na robotech ABB v centru robotiky. Zpracoval jsem přehled robotů od firmy ABB a k nim jsem vypracoval seznam efektorů, které se používají v laboratořích pro výuku. Do seznamu jsem také uvedl efekторы, které se pro výuku momentálně nevyužívají. Dále jsem zpracoval přehled objektů manipulací, které se aktivně využívají při laboratorních úlohách.

V seznamech jsem definoval požadavky na efekторы pro jednotlivé roboty. Na základě těchto analýz a definovaných požadavků na efekторы a objekty manipulace jsem vybral robota a objekt manipulace, pro které jsem navrhl efektor.

Vymyslel jsem několik variant efektorů pro laboratorní účely, dle požadavků, které vyplynuly z předchozích analýz a požadavků. Pomocí vícekriteriální analýzy jsem vybral nejvhodnější variantu.

Vybranou variantu jsem podrobně zpracoval a doložil jsem k ní technickou zprávu s potřebnými výpočty a úplnou výkresovou dokumentací dle pokynů vedoucího práce pana doc. Ing. Zdeňka Konečného, Ph.D.

Výrobní náklady jsem zpracoval v sekci ekonomické zhodnocení.

Navržená varianta má plno výhod, které již byly naznačeny během vypracování. Díky vyměnitelným čelistem a brzděmu mechanismu se stává tento efektor značně univerzálním. Je umožněn snadný přístup v případě přeprogramování efektoru. Řízení efektoru bylo naznačeno v sekci elektronika a je taktéž velmi jednoduché a přesné, což usnadňuje práci při řízení a programování efektoru. Díky systému manuální výměny se ušetří čas při výměně nástrojů robotu. Celá konstrukce efektoru je navržena trochu robustně, aby v případě nesprávné manipulace nebyl efektor poškozen. Jelikož je tento efektor navržen pro výukové účely, byl během zpracování kladen vysoký nárok na bezpečnost jednotlivých komponentů. Navržený efektor dále vyhovuje všem požadavkům, které na něj jsou kladeny.

Efektor má, díky své konstrukci, maximální rozevření šedesát milimetrů. Dále pohyb čelistí je skutečně lineárním sevřením, jenž vychází z analýzy. Konstrukce je navržena, aby splnila časové nároky, které byly stanoveny požadavkovým listem. Tento požadavek byl i výpočetně ověřen v kapitole, která se zabývá rozbořem pohybu. Váha celého efektoru, i s manuální výměnou, je 0,962 kg. Tím je splněn požadavek, který omezuje maximální hmotnost efektoru. Materiál kostry konstrukce je z hliníku, čímž byl splněn i tento požadavek. Úchopná síla efektoru je 35,958 N. Efektor měl mít svěrnou sílu od 30 N do 50 N. I tento požadavek byl tedy splněn.

## Zdroje

- [1] Tabulka hustoty a sypné hmotnosti. *Periodická soustava prvků* [online]. Copyright © 2009 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/hustota.html>
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2019-05-14]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [3] Pololu - 150:1 Micro Metal Gearmotor LP 6V with Extended Motor Shaft. *Pololu Robotics and Electronics* [online]. Copyright © 2001 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2205/specs>
- [4] Formulae Handbook: *Maxon academy* [online]. Copyright © [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <http://storkdrives.com/wp-content/uploads/2013/10/1-Formelsamling.pdf>
- [5] SOUČINITEL TŘENÍ - Portál pro strojní konstruktéry. *Portál pro strojní konstruktéry* [online]. Copyright © 2013 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [6] GUTEKUNST FEDERN. *Detail Page Tažné pružiny: Z-113I* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [https://www.federnshop.com/cz/katalog\\_pruzin/tazne\\_pruziny/z-113i.html](https://www.federnshop.com/cz/katalog_pruzin/tazne_pruziny/z-113i.html)
- [7] Pololu - 1000:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V with Extended Motor Shaft. *Pololu Robotics and Electronics* [online]. Copyright © 2001 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2373/specs>
- [8] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: části spojovací*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8. Skripta. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [9] SKF - Kluzná pouzdra. *PCM 040506 E/VB055* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/table-bushings/index.html?designation=PCM%20040506%20E/VB055&unit=metricUnit>

- [10] 623 | ZKL Group. *ZKL Group* [online]. Copyright © 2012 ZKL, a.s. [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/es/cat/srbb/623>
- [11] Pololu - A-Star 32U4 Micro. *Pololu Robotics and Electronics* [online]. Copyright © 2001 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/3101/resources>
- [12] Pololu - DRV8835 Dual Motor Driver Carrier. *Pololu Robotics and Electronics* [online]. Copyright © 2001 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2135/resources>
- [13] Pololu - Magnetic Encoder Pair Kit for Micro Metal Gearmotors, 12 CPR, 2.7-18V (HPCB compatible). *Pololu Robotics and Electronics* [online]. Copyright © 2001 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/3081/resources>
- [14] Pololu 6V, 15A Step-Down Voltage Regulator D24V150F6. *Pololu Robotics and Electronics* [online]. Copyright © 2001 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2882>
- [15] 570 Ohm 1/4 Watt Carbon Film Resistor 100 Pieces Prime Parts US Seller | eBay. *Electronics, Cars, Fashion, Collectibles, Coupons and More | eBay* [online]. Copyright © 1995 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/570-Ohm-1-4-Watt-Carbon-Film-Resistor-100-Pieces-Prime-Parts-US-Seller-/162855494926>
- [16] E-Projects 150 Ohm Resistors, 1/4 Watt, 5% (Choose Quantity): Amazon.com: Industrial & Scientific. *Amazon.com: Online Shopping for Electronics, Apparel, Computers, Books, DVDs & more* [online]. Copyright © 1996 [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Projects-Resistors-Watt-Choose-Quantity/dp/B072F77NL5>
- [17] Voltage Divider Calculator - Electrical Engineering & Electronics Tools. *All About Circuits - Electrical Engineering & Electronics Community* [online]. Copyright © [cit. 14.05.2019]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/tools/voltage-divider-calculator/>

## Seznam příloh

### Tištěné přílohy

Výkres sestavy	BP_BOL0039	EFEKTOR PRO ABB IRB 1200
Výkres podsestavy	BP_BOL0039_01	TĚLO
Výkres podsestavy	BP_BOL0039_02	ELEKTRONIKA
Výkres podsestavy	BP_BOL0039_03	ČELISTI

### Přílohy na CD

Příloha A	Data sheet ABB IRB 140
Příloha B	Data sheet ABB IRB 1 400
Příloha C	Data sheet ABB IRB 14 000
Příloha D	Data sheet ABB IRB 1 200
Příloha E	Katalog HWR2031
Příloha F	HIWIN katalog
Příloha G	Výkresová dokumentace
Příloha H	3D model efektoru
Příloha CH	3D modely variant
Příloha I	3D model prostředí
Příloha J	Stl. soubory
Příloha K	Dxf. Soubory