

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ROBOTIKY

BAKALÁŘSKA PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Návrh technologického efektoru pro utahování na pracovišti se
spolupracujícím robotem

Design of the Robotic End-effector for Tightening Used in the Workplace
with Collaborative Robot

Student: Petr Oščádal

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Vysocký

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Oščádal**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Návrh technologického efektoru pro utahování na pracovišti se spolupracujícím robotem**
Design of the Robotic End-effector for Tightening Used in the Workplace with Collaborative Robot

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Analyzujte současnou nabídku periferních zařízení robotů pro utahování, principy zařízení pro utahování na žádaný moment a požadavky na zařízení na pracovištích s možnou spoluprací robotu a člověka.
- 2) Na základě této analýzy sestavte podrobný požadavkový list.
- 3) Navrhněte varianty řešení možných koncepcí efektoru. Vyberte optimální variantu.
- 4) Vybranou variantu detailně rozpracujte, doložte potřebnými výpočty a výkresovou dokumentací v rozsahu dle dohody s vedoucím práce.
- 5) Vypracujte technickou zprávu s hodnocením dosažených výsledků v závěru.
- 6) Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vedoucího práce).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, 1997. ČSN, 01 6910.
- [2] ČSN ISO 690-2(01 0197) Informace a dokumentace - Bibliografické citace. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [3] SKAŘUPA, Jiří, ZELINA, Pavol. Navrhování a výpočty efektorů PRaM. 1. vyd.. - Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1996 - 102 s.: il. ISBN 80-7078-304-4 (brož.)
- [4] KÁRNÍK, Ladislav. Periferní zařízení RTP. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1221-5.
- [5] VYSOCKY, Ales a Petr NOVAK. HUMAN – ROBOT COLLABORATION IN INDUSTRY. MM Science Journal [online]. 2016, 2016(02), 903-906 [cit. 2016-11-15]. DOI: 10.17973/MMSJ.2016_06_201611. ISSN 18031269. Dostupné z: <http://www.mmscience.eu/june-2016.html#201611>

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Aleš Vysocký**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. 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 15.5.2017

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, 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 nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užit (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užit své dílo – bakalářskou práci 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 odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5.2017

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Oščádal

Adresa trvalého pobytu autora práce: Pěncín č. p. 8, okr. Prostějov

Anotace

Bakalářská práce se zabývá průzkumem trhu s efektorů pro utahování šroubů na pracovišti se spolupracujícím robotem. Po stanovení základních požadavků, jsou navrženy dvě konstrukční řešení technologického efektoru. Vybraný konstrukční návrh je důkladně navržen a rozpracován z běžně dostupných komponentů a vyráběných dílů.

Annotation

This thesis deals with market research on effectors for tightening the screws used on the workplace with collaborative robots. After determining the basic requirements are proposed two design solutions. Optimal design solution is thoroughly developed and designed using commercially available components and special parts.

Poděkování

Především bych rád poděkoval panu Ing. Aleši Vysockému za poskytnuté konzultace při přípravě bakalářské práce. Dále děkuji za poskytnuté rady panu Ing. Milanu Miholovi, Ph.D.

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam použitých značek a symbolů	11
Slovník termínů	12
Úvod	13
1 Analýza současné nabídky na trhu	14
1.1 Pracoviště se spolupracujícím robotem	14
1.2 Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů	14
1.3 Efektor pro utahování šroubů a matic od firmy KUKA Robotics	16
1.4 Efektory	17
1.5 Ruční momentový klíč	18
1.6 Parametry robotů UR5 a Mitsubishi RV-1A/2AJ	19
2 Požadavkový list pro konstrukci efektoru	20
3 Návrh konstrukčních variant efektoru	21
3.1 Varianta A	21
3.2 Varianta B	24
4 Porovnání variant	26
5 Vypracování vybrané varianty	31
5.1 Návrh motoru a převodové skříně	31
5.2 Konstrukce efektoru	33
5.3 Dosažené parametry	37
6 Nastavování utahovacího momentu	38
7 Kontrolní výpočty	40
7.1 Kontrola těsných per pod řemenicemi	40
7.2 Kontrola ložiska 61807	41
8 Montážní postup	44
9 Závěr	47
10 Použitá literatura	48
Přílohy	50

Seznam obrázků

Obr. 1 Spolupracující robot [8].....	15
Obr. 2 LBR A/B [9].....	16
Obr. 3 LBR C [9].....	16
Obr. 4 Obecná struktura efektoru [10].....	17
Obr. 5 Momentový klíč [20].....	18
Obr. 6 Nástavce pro momentový klíč [20]	18
Obr. 7 UR5 [21].....	19
Obr. 8 Mitsubishi RV-1A/2AJ [22].....	19
Obr. 9 Interface UR5 [21].....	20
Obr. 10 Momentový klíč [11].....	21
Obr. 11 Schéma modifikace.....	22
Obr. 12 Řez variantou A	22
Obr. 13 Podélný řez variantou A	23
Obr. 14 Schéma mechanismu	24
Obr. 15 Podélný řez efektozem varianty B	25
Obr. 16 Graf pro stanovení významnosti kritéria	29
Obr. 17 Řez efektozem.....	33
Obr. 18 Detail A.....	34
Obr. 19 Detail B.....	35
Obr. 20 Detail C.....	36
Obr. 21 Robot UR5 s efektozem	36
Obr. 22 Speciální imbusový klíč.....	38
Obr. 23 Imbusový klíč v kontaktu s maticí.....	38
Obr. 24 Odečítání nastaveného utahovacího momentu	39
Obr. 25 Zajištění matice kontramaticí	39
Obr. 26 Schéma sil.....	42
Obr. 27 Ilustrační obrázek A.....	44
Obr. 28 Ilustrační obrázek B.....	44
Obr. 29 Ilustrační obrázek C.....	45
Obr. 30 Efektor	46

Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry efektorů	16
Tab. 2 Parametry robotů	19
Tab. 3 Požadavkový list.....	20
Tab. 4 Kritéria.....	26
Tab. 5 Úroveň kritéria.....	27
Tab. 6 Významnost	27
Tab. 7 Hodnocení kritérií.....	27
Tab. 8 Hodnocení kritérií autorem práce	28
Tab. 9 Hodnocení kritérií kolegou Danielem Vrbkou	28
Tab. 10 Hodnocení kritérií kolegou Jakubem Mlotkem	29
Tab. 11 Vážený index varianty A	30
Tab. 12 Vážený index varianty B	30
Tab. 13 Vybrané převodovky	31
Tab. 14 Vybrané motory	32
Tab. 15 Dosažené parametry	37

Seznam použitých značek a symbolů

F	Obecná síla
F_A	Axiální síla
F_R	Radiální síla
F_T	Třecí síla
M_S	Teoretický přenášený krouticí moment
M_L	Požadovaný moment
M_{MOT}	Teoretický krouticí moment motoru
r_i	Poloměr vyplývající z konstrukce
μ	Účinnost
p_D	Dovolený tlak
l'	Teoretická délka těsného pera
C	Základní dynamická únosnost
C_0	Základní statická únosnost
X	Součinitel dynamického radiálního zatížení
Y	Součinitel dynamického axiálního zatížení
P	Dynamické ekvivalentní zatížení
L	Životnost ložiska
i_T	Teoretický převodový poměr
n_L	Zvolené výstupní otáčky
n_{MOT}	Teoretické otáčky motoru

Slovník termínů

Efektor	Periferie robotu, kterým realizujeme úkoly
Interface	Příruby spojující efektor a robot
Kompenzátor	Zařízení pro tlumení nárazů nebo vyosení

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem technologického efektoru pro utahování šroubů a matic na pracovišti se spolupracujícím robotem. První část práce je analýza současné nabídky podobných efektorů na trhu, vlastností spolupracujících robotů a mechanismů pro nastavování krouticího momentu při utahování. Druhá část stanovuje požadavky a upřesňuje kritéria na konstrukci daného efektoru. Tyto požadavky vycházejí z analýzy trhu a vlastností robotů, pro které je efektor určen. Třetí část se zabývá návrhem variant efektoru. Zde jsou navrženy dvě varianty, které se liší v principu nastavování utahovacího momentu. V následující části je pak dále podle vícekritériální analýzy vybrána optimální varianta. Kritéria jsou zvolena podle nejdůležitějších faktorů, jako je například hmotnost, rozměry, bezpečnost a jiné. Vybraná varianta je detailně rozpracovaná. Efektor se skládá z kupovaných komponentů ale i nově navržených dílů. Pomocí výpočtů jsou zkontrolovány místa, kde by mohly vznikat poruchy nebo jsou nejvíce zatěžovány. V poslední části je popsána montáž celého efektoru.

1 Analýza současné nabídky na trhu

Spolupracující roboty se v dnešní době stávají žádaným nástrojem každé firmy. To vyžaduje speciální upravení pracoviště, kde se robot bude nacházet.

1.1 Pracoviště se spolupracujícím robotem

Spolupracující robot nepotřebuje žádné mechanické zábrany a může bezpečně pracovat vedle člověka na výrobních linkách nebo s ním dokonce přímo spolupracovat. Robot může manipulovat s těžkými předměty, které doposud museli zvedat lidé. Ti se pak mohou soustředit na jemnější a složitější práci.

1.2 Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů

Roboty, které jsou určeny ke spolupráci s lidskou obsluhou, musí splňovat bezpečnostní požadavky podle normy ČSN EN ISO 10218 *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů*. Podle této normy musí být zajištěna bezpečnost alespoň jedním bezpečnostním opatřením a to:

1. Bezpečnostní monitorované zastavení

V okolí robota vybaveného tímto bezpečnostním prvkem je prostor, který je monitorován a jakmile do něj vstoupí jakákoliv osoba (operátor, údržbář, i jakýkoliv personál), robot se zastaví. Jakmile tento prostor osoba opustí, robot pokračuje dále ve vykonávané práci.

2. Ruční navádění

Robot s ručním naváděním se také zastaví, pokud do monitorovaného prostoru vejde osoba, ale lze povolit pohyb pro ruční navádění robota, který je řízen specializovaným pracovníkem. Tato funkce se používá pro programování naváděním.

3. Sledování rychlosti a vzdálenosti

Pomocí snímačů sledujeme vzdálenost obsluhy od robotu a tím se nastavuje rychlost robota. Čím více se blížíme k robotu, tím je jeho rychlost brzděna. Jakmile se obsluha přiblíží k minimální vzdálenosti, robot se zcela zastaví.

4. Omezení síly a výkonu

Pomocí snímačů sledujeme sílu a výkon, kterými robot působí na osobu nebo předměty. Tyto veličiny mají nastavenou určitou mez, kterou nesmí přesáhnout. Tento princip se používá především tam, kde dochází k trvalému nebo dlouhodobému kontaktu s člověkem.



Obr. 1 Spolupracující robot [8]

Požadavky na bezpečnost na pracovišti vyplývají z požadované úlohy a konkrétní situace. Každá firma může zvolit libovolnou kombinaci bezpečnostních prvků.

1.3 Efektor pro utahování šroubů a matic od firmy KUKA Robotics

Tab. 1 Parametry efektorů

Parametry\Typ	LBR A/B			LBR C	
Medium	Elektřina/-			-	
Utahovací moment [Nm]	5-21	18-48	20-65	1-7	7-40
Otáčky [ot/min]	751	331	235	800	
Stupeň krytí	IP40				
Standartní výstup	3/8", 1/2" čtvercový			Nastavitelný	
Komunikace	LAN				
Přenos energie	Vnitřní				
Napájení [VDC]	48			60	
Hmotnost	4.6			2.5	
Pracovní teplota [°C]	0-40				

Tento efektor je zcela automatický a flexibilní šroubovák pro rychlé utahování i vysokých momentů. [9]



Obr. 2 LBR A/B [9]

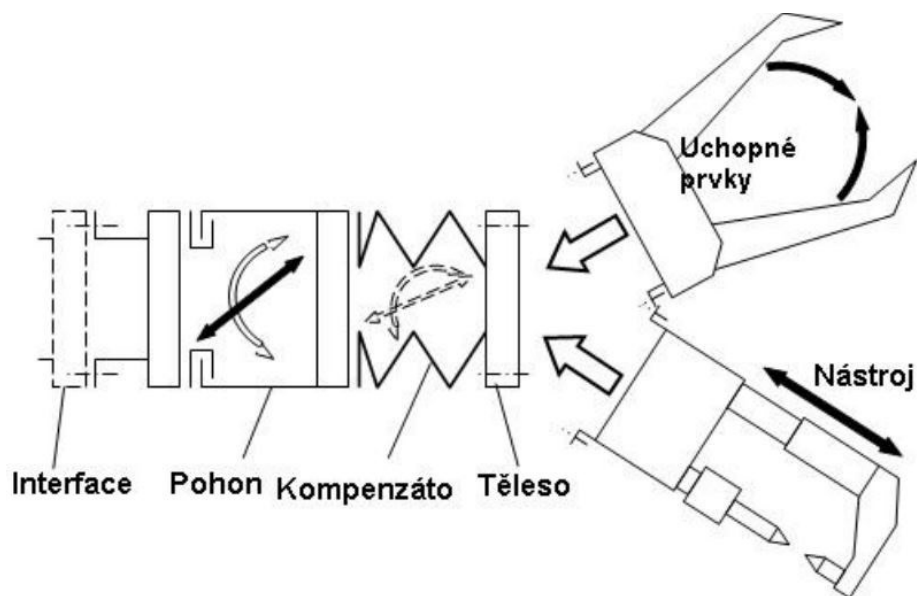


Obr. 3 LBR C [9]

1.4 Efektory

Účelem efektoru robotu je vlastní realizace úkolů, pro které je robot předurčen, tj. manipulace různými objekty dle zadaných parametrů polohy, orientace, vzdálenosti, rychlosti, zrychlení, aj. Podle toho o jaké objekty manipulace se jedná a kde jsou užity, dělíme efektory na uchopovací a technologické, případně hybridní, pokud se obě hlediska prolínají. V případě technologických efektorů se většinou jedná o přímou nebo zprostředkovanou manipulaci technologickými nástroji nebo přípravky, které zajišťují např. svařování, obrábění, stříkání, montáž, apod.

Efektory může uživatel nově zakoupeného robotu pro definovaný úkol a objekt manipulace pořídit různým způsobem – zakoupit u dodavatele robotu, zakoupit u specializované firmy vyrábějící standardní typy efektorů (zejména pro objekty manipulace prizmatického nebo kruhového průřezu). Dále je může navrhnout a vyrobit vlastními silami, nebo zadat specializované firmě k vývoji. [10]



Obr. 4 Obecná struktura efektoru [10]

1.5 Ruční momentový klíč

Momentový klíč je mechanismus, který umožňuje utahovat šroubový spoj na určený moment utažení. Skládá se z rukojeti, přepínače směru utahování, a to pravotočivě nebo levotočivě, mechanismu na nastavení momentu a výstupu na nástavce.



Obr. 5 Momentový klíč [20]

Nástavce na momentový klíč umožňují utahovat normalizované hlavy šroubů a matic v širokém rozsahu. Nástavce drží na momentovém klíči pomocí magnetu a jsou zajištěny kuličkou na pružině v momentovém klíči.



Obr. 6 Nástavce pro momentový klíč [20]

Nejčastěji lze koupit momentový klíč a nástavce v sadě. V této sadě se nejčastěji nacházejí nástavce na utahování šroubů a matic se šestihrannou hlavou nebo pomocí imbusového klíče.

1.6 Parametry robotů UR5 a Mitsubishi RV-1A/2AJ

V laboratoři katedry robotiky se nachází robot Mitsubishi RV-A/2AJ. Robot UR5 se plánuje do budoucna pořídit. Z tohoto důvodu je efektor dimenzován pro tyto roboty.

Tab. 2 Parametry robotů

Robot	UR5	Mitsubishi RV-A/2AJ
Počet os	6	6
Maximální nosnost	5kg	2kg
Přesnost polohování	$\pm 0.1 \text{ mm}$	$\pm 0.02 \text{ mm}$
Stupeň krytí	IP54	IP30
Maximální rychlost	180°/s	210°/s



Obr. 7 UR5 [21]



Obr. 8 Mitsubishi RV-1A/2AJ [22]

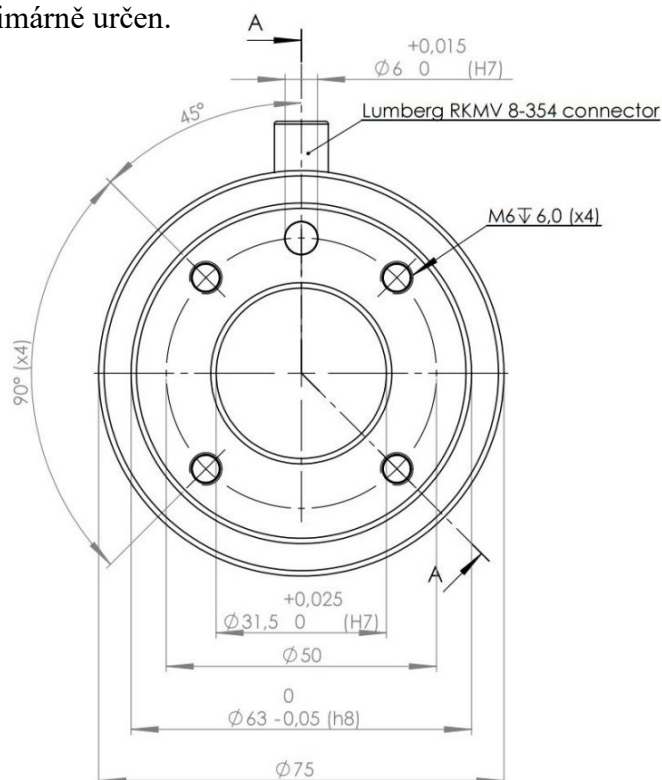
2 Požadavkový list pro konstrukci efektoru

Požadavkový list je sestaven z nejdůležitějších podmínek pro návrh konstrukce. Tyto podmínky vycházejí z možností robotů UR5 a Mitsubishi RV-1A/2AJ, dále z podmínek pro pracoviště se spolupracujícím robotem. Jelikož robot Mitsubishi má oproti robotu UR5 více než dvojnásobně menší nosnost, proto byl zvolen robot UR5 za výchozí.

Tab. 3 Požadavkový list

Maximální hmotnost	5 kg
Dovolené maximální rozměry	Ø200 x 100 [mm]
Maximální utahovací moment	10 [Nm]
Nastavení momentu	Elektronicky/Manuálně
Napájení	24 [V]
Stupeň krytí podle ČSN EN 60529	IP 40
Nástroje	Nástavce pro momentový klíč

Snaha o dodržení obecných požadavků a to minimalizování výrobních nákladů, dosažení dostatečné tuhosti a vysoké životnosti. Připojovací rozměry robotu UR5, pro který je efektor primárně určen.



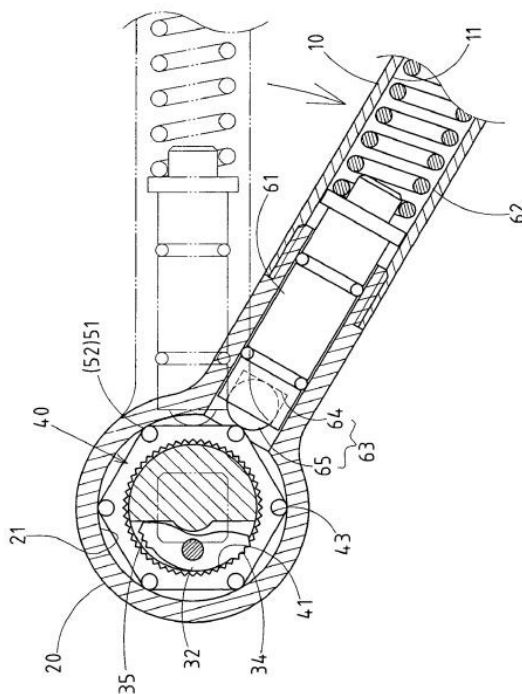
Obr. 9 Interface UR5 [21]

3 Návrh konstrukčních variant efektoru

Byly vypracovány 2 varianty s různým principem nastavování momentu utahování.

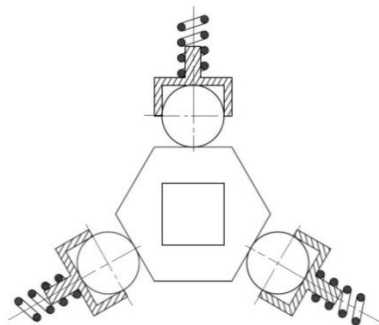
3.1 Varianta A

Princip mechanismu pro přenos a nastavování krouticího momentu jsem převzal z ručního momentového klíče (obr. 10). Na šestihranu, který je přichycen k nástroji a má jeden stupeň volnosti, a to rotaci, přiléhá kulička. Tato kulička je uložena v přírubě, která je pohyblivě uložena v těle klíče. Na přírubu s kuličkou tlačí pružina. Tím vyvozuje reakční sílu mezi kuličkou a šestihranem. Reakční síla brání šestihranu v pootočení vůči kuličce. Díky tomu se šestihran neprotáčí, ale nechává se unášet. Jakmile krouticí moment na nástroji překročí reakční sílu z pružiny, dojde ke stlačení pružiny, to umožní, že kulička se nadzvedne a dojde k protočení šestihranu. Pomocí lineární závislosti síly pružiny na stlačení pružiny je přizpůsobena stupnice pro nastavování výsledného momentu.



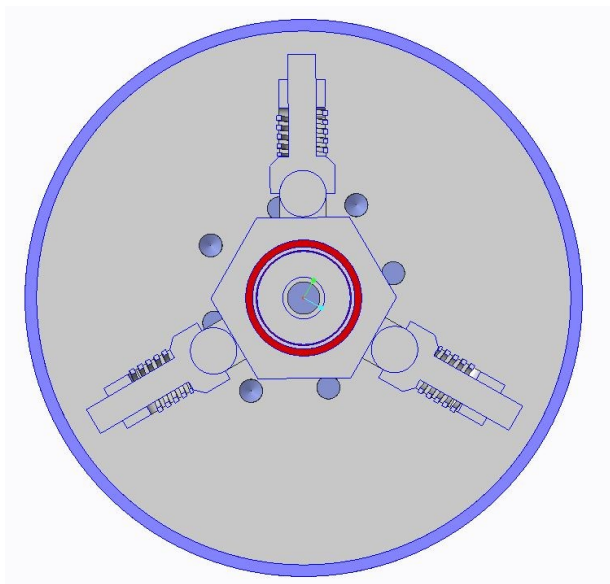
Obr. 10 Momentový klíč [11]

Jelikož jsou pro efektor potřeba co nejmenší rozměry, byla provedena modifikace tohoto řešení a byly přidány další 2 kuličky s vlastními přírubami a pružinami. Přidáním více kuliček vznikne více reakčních sil a to vede ke snížení potřebného přitlaku jedné kuličky k šestihranu. Tím se zmenší velikost pružiny a zmenší se maximální rozměr. Jelikož byla zvolena 3 ramena a v mechanismu je použit šestihran, tak ramena budou mít mezi sebou úhel 120° a kuličky budou přiléhat na každou druhou hranu. Viz obr. 11.



Obr. 11 Schéma modifikace

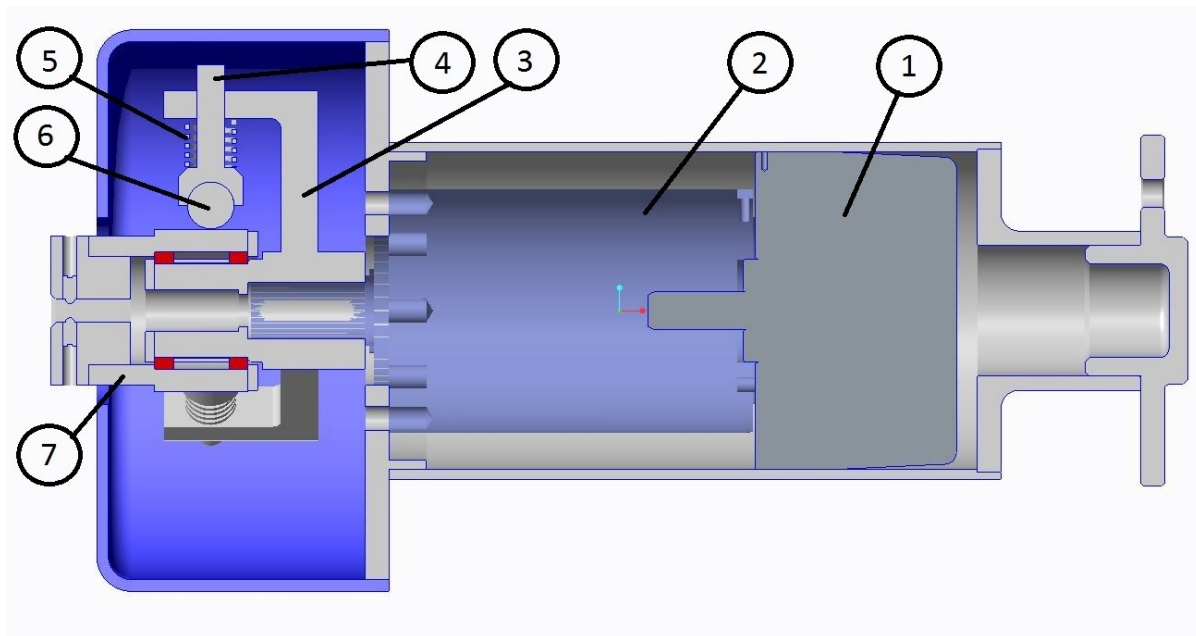
Vizualizace modifikace je znázorněna na obr. 12.



Obr. 12 Řez variantou A

Nastavování momentu je zde vyřešeno pomocí výměny šestihranu. Jakmile dojde ke změně velikosti šestihranu, předpětí pružiny se změní a to úměrně změní utahovací moment.

Pomocí motoru (1) je vytvářena hnací energie, která je transformována v převodové skříni (2). To pohání rám mechanismu, ve kterém jsou posuvně uloženy příruby pro kuličky. Mezi přírubami pro kuličky a rámem mechanismu jsou pružiny, které vytvářejí přítlak. Šestihran je uložen na ložiscích na rámu mechanismu.



Obr. 13 Podélný řez variantou A

1. Motor, 2. Převodová skříň, 3. Rám mechanismus, 4. Příruba pro kuličku, 5. Pružina,
6. Kulička, 7. Šestihran

Výhody:

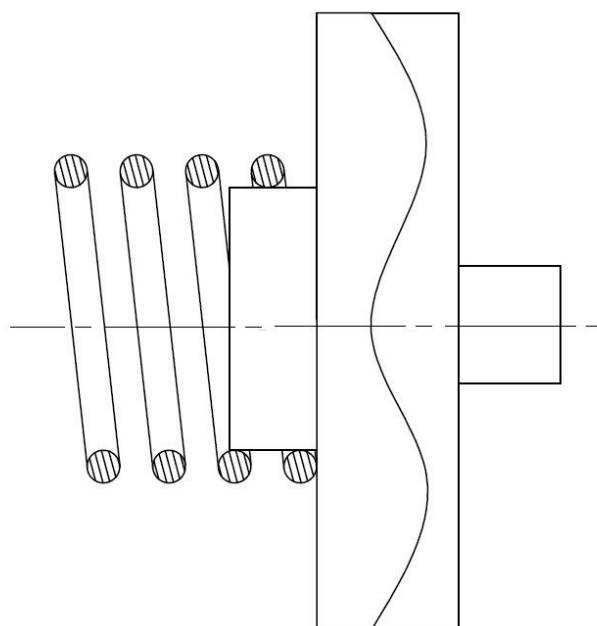
- nízká hmotnost
- tuhost
- celý efektor je v jedné ose

Nevýhody

- složitá montáž
- pro každý krouticí moment jiná pružina
- délka efektoru
- výrobně náročné součásti

3.2 Varianta B

Princip mechanismu pro přenos a nastavování krouticího momentu byl převzat z principu aku vrtaček, kde pomocí pružiny vytváříme mezi přírubami tření. Hnací příruba pak pomocí třecí síly unáší hnanou přírubu a tím tak přenáší otáčky na nástroj. Jakmile krouticí moment přesáhne třecí sílu, která je vyvozena pružinou, dojde k protočení přírub. Ke zvětšení třecího odporu jsou příruby tvarově upraveny pomocí oblých zubů.

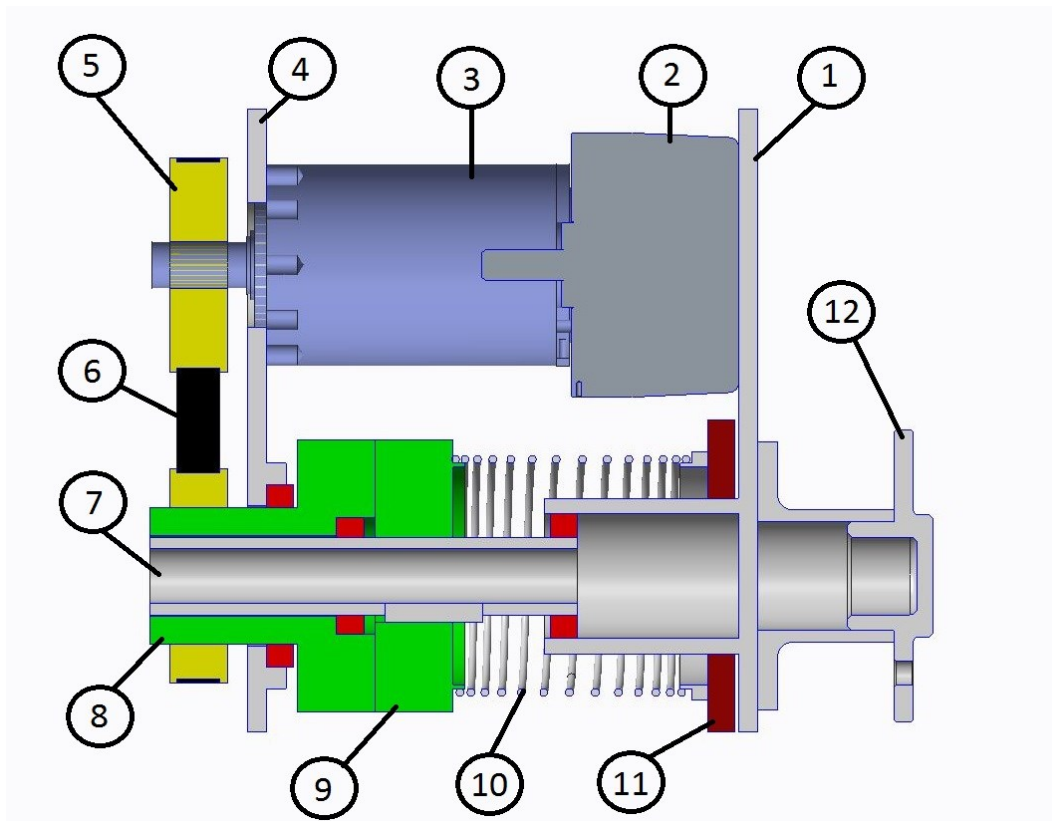


Obr. 14 Schéma mechanismu

Nastavování utahovacího momentu je zde realizováno pomocí stlačení pružiny. Síla pružiny je přímo úměrná ke stlačené délce. Průběh síly v pružině je lineární.

Pomocí motoru (2) je vytvářena hnací energii, která je transformována v převodové skříně (3). Tuto energii dále se přenáší přes řemenice s ozubeným řemenem. Přenos řemenem zajišťuje bezpečnost proti přetížení. Z řemenice se přenáší krouticí moment přes těsné pero do hnací příruby (8). Mezi hnací a hnanou přírubou je třecí síla vyvozená od stlačení pružiny (10). Tuto pružinu lze stlačit maticí (11). Dále z hnané příruby jde krouticí moment přes hřídel (7) do nástroje.

Řemenice připojená na převodovou skříň nepotřebuje uložení v ložiscích, protože převodová skříň umožňuje axiální zatížení. Jakmile síla od převodu řemene přesáhne dovolenou sílu, bude zapotřebí navrhnout ložiskové uložení.



Obr. 15 Podélný řez efektoru varianty B

1. Základna, 2. Motor, 3. Převodová skříň, 4. Základna, 5. Řemenice, 6 Řemen,
7. Hřídel, 8. Hnaná příruba, 9. Hnací příruba, 10. Pružina, 11. Matice, 12. Interface

Výhody:

- jednoduchá montáž
- jednoduchá přenastavitelnost krouticího momentu
- bezpečnost proti přetížení
- levné výrobní náklady → jednoduché součásti

Nevýhody

- šířka efektoru
- hmotnost

4 Porovnání variant

Pro porovnání variant byla použita kritériální analýza. Analýza posuzuje navržené varianty podle zvolených kritérií. Bylo zvoleno šest důležitých kritérií pro posouzení navržených variant. V tabulce jsou uvedena jednotlivá kritéria a popis k variantám.

Tab. 4 Kritéria

Označení	Kritérium	Popis	A	B
K1	Hmotnost		2.8 kg	3.8 kg
K2	Rozměry	Vnější rozměry	Ø120x243	160x156x80
K3	Nastavitelnost momentu	Jednoduchost nastavení	Výměna pružin	Utahování matice
K4	Složitost konstrukce	Náročnost výroby	Frézování složitých tvarů	Frézování
K5	Bezpečnost proti přetížení	Bezpečnostní prvky	Pružina	Pružina a řemen
K6	Složitost montáže	Rozebíratelnost a smontovatelnost	Složitá	Jednoduchá

První kritérium je hmotnost. Jelikož se jedná o efektor, je nezbytně nutné hmotnost co nejvíce snižovat. Menší hmotnost umožní použít efektor i na roboty s menší nosností. Hmotnost se dá redukovat pomocí dobře zvolených materiálů nebo vhodnou úpravou konstrukce. Dynamické účinky díky nízké hmotnosti jsou příznivější.

Jelikož se efekторы snažíme co nejvíce zmenšovat, tak kritérium K2 je také z jednou základních vlastností, které by se měly zviditelnit. Toto kritérium popisuje využití pracovního prostoru. Také minimální rozměry umožňují lepší manévrovatelnost.

Kritérium K3 popisuje, jak složité je u efektoru přenastavit utahovací moment. Tento faktor má velký vliv na efektivitu výroby. Jakmile je přenastavení momentu složité a zdoluhavé, výrobní proces se prodlužuje, což je nežádoucí.

Složitost výroby popisuje kritérium K4. Tento faktor má velký vliv na celkovou cenu efektoru. V kritériu se posuzuje časová náročnost výroby nejsložitějších součástí.

Pomocí kritéria K5 je posuzováno, jak je v konstrukci zajištěna bezpečnost proti přetížení. Jakmile dojde k poruše efektoru a není zajištěna bezpečnost proti přetížení, motor se může poškodit. Jelikož cena efektoru se velice odráží od ceny motoru, je nezbytně nutné předejít zničení motoru.

Kritérium K6 znázorňuje, jak složitá je montáž celého efektoru. Složitá a časově náročná montáž je nežádoucí. Dále je nežádoucí k montáži využívat mnoho přípravků.

Kritéria nabývají hodnot 1 až 6 podle toho, jak odpovídá varianta danému faktoru. Významnost kritérií je posuzována na stupnici od 1 do 2. Pro určení významnosti byla použita metoda porovnávání v trojúhelníku párů.

Tab. 5 Úroveň kritéria

Úroveň kritéria	
Vysoká	6
Dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nepříznivá	2
Nevyhovující	1

Tab. 6 Významnost

Významnost	
Nejvyšší	2
nejnižší	1

V následující tabulce jsou varianty ohodnoceny podle toho, jak splňují jednotlivá kritéria. Hodnocení vychází z podmínek stanovených v požadavkovém listu.

Tab. 7 Hodnocení kritérií

kritérium	A	B
K1	5	3
K2	5	3
K3	3	5
K4	4	5
K5	4	6
K6	4	5

Posouzení významnosti kritérií je provedeno metodou porovnání v trojúhelníku párů. Toto hodnocení bylo provedeno třemi hodnotiteli – autorem práce a kolegy Jakubem Mlotkem a Danielem Vrbkou. Podle počtu voleb je z grafu určena významnost kritéria.

Tab. 8 Hodnocení kritérií autorem práce

porovnání kritérií					počet voleb	Významnost q_1
K1	K1	K1	K1	K1	2	1.4
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	2	1.4
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	4	1.8
		K4	K5	K6		
			K4	K4	1	1.2
			K5	K6		
				K5	5	2
				K6	0	1

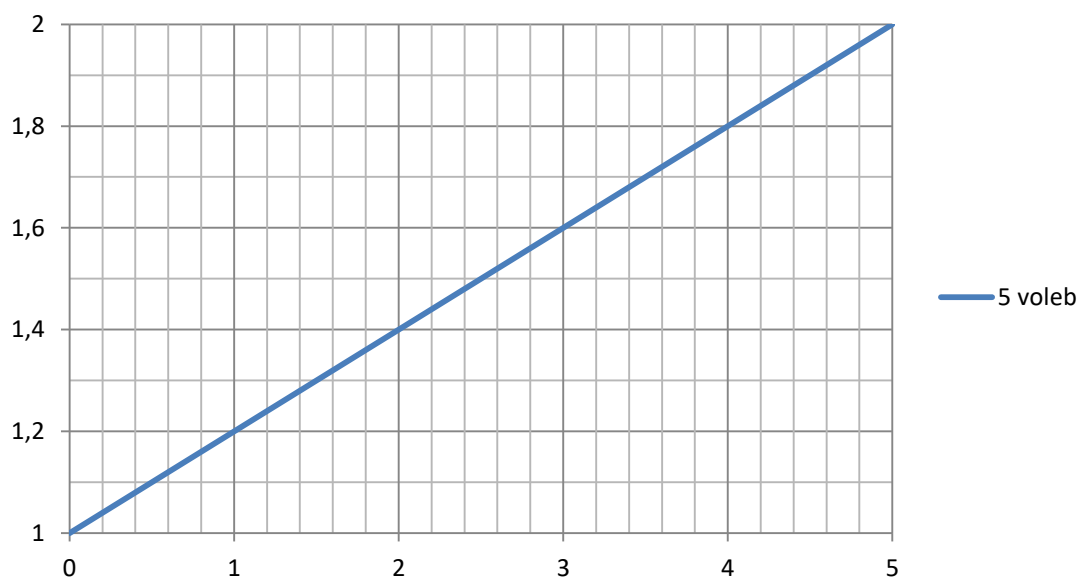
Tab. 9 Hodnocení kritérií kolegou Danielem Vrbkou

porovnání kritérií					počet voleb	Významnost q_2
K1	K1	K1	K1	K1	3	1.6
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	1	1.2
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	5	2
		K4	K5	K6		
			K4	K4	4	1.8
			K5	K6		
				K5	2	1.4
				K6	0	1

Tab. 10 Hodnocení kritérií kolegou Jakubem Mlotkem

porovnání kritérií					počet voleb	Významnost q_3
K1	K1	K1	K1	K1	3	1.6
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	1	1.2
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	1	1.2
		K4	K5	K6		
			K4	K4	4	1.8
			K5	K6		
				K5	5	2
				K6	1	1.2

Významnost kritéria



Obr. 16 Graf pro stanovení významnosti kritéria

Porovnáním kritérií a stanovením jejich významnosti z grafu může být stanovena výsledná vážená úroveň kritéria. V závěrečném zhodnocení jsou zprůměrovány hodnoty významností kritérií od tří hodnotitelů a přepočten výsledný vážený index, na jehož základě je vybrána vítězná optimální varianta.

Tab. 11 Vážený index varianty A

kritérium	úroveň	q_1	q_2	q_3	q	Vážený index
K1	5	1.4	1.6	1.6	1.53	7.65
K2	5	1.4	1.2	1.2	1.27	6.35
K3	3	1.8	2	1.2	1.67	5.01
K4	4	1.2	1.8	1.8	1.6	6.4
K5	4	2	1.4	2	1.8	7.2
K6	4	1	1	1.2	1.07	4.28
					celkem	36.89

Tab. 12 Vážený index varianty B

kritérium	úroveň	q_1	q_2	q_3	q	Vážený index
K1	3	1.4	1.6	1.6	1.53	4.59
K2	3	1.4	1.2	1.2	1.27	3.81
K3	5	1.8	2	1.2	1.67	8.35
K4	5	1.2	1.8	1.8	1.6	8
K5	6	2	1.4	2	1.8	10.8
K6	5	1	1	1.2	1.07	5.35
					celkem	40.9

Z vícekritériální analýzy vyplývá, že optimální varianta pro vypracování je varianta B. Tato varianta je dále detailně vypracována a pomocí kontrolních výpočtů zkontrolována.

5 Vypracování vybrané varianty

Jelikož motor a převodovka bude určovat výchozí velikost efektoru, z tohoto důvodu je proveden jejich návrh jako první. Následně je popsána konstrukce efektoru a jsou zhodnoceny dosažené výsledky.

5.1 Návrh motoru a převodové skříně

Odhad potřebného výkonu

Výstupní otáčky n_L byly odhadnuty na $120 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

Požadovaný výstupní moment $M_L = 10 \text{ [Nm]}$

$$P_L = M * \omega = M_L * \frac{\pi}{30} * n_L \quad (1)$$

$$P_L = 10 * \frac{\pi}{30} * 120 = 126 \text{ [W]} \quad (2)$$

Výběr převodovky

- Podle listu parametrů byly zvoleny převodovky, které ještě splňují požadavky mechanického momentu.

Tab. 13 Vybrané převodovky

Převodovky\Parametry	Maximální moment [Nm]	Maximální otáčky [min ⁻¹]	Převodový poměr
110503	25	3000	35:1
223089	30	6000	43:1
223094	30	6000	91:1

Byla zvolena převodovka č. 223089, protože umožňuje otáčky do 6000 min^{-1} a zároveň je kompatibilní s flat motory, které dále budou využity.

Teoretický převodový poměr

$$i_T = \frac{n_{MAX}}{n_L} \quad (3)$$

$$i_T = \frac{6000}{120} = 50 \quad (4)$$

Určení rychlosti motoru

Teoretický převodový poměr i_T je zaokrouhlen na převodový poměr zvolené převodovky $i = 43$

$$n_{MOT} = i * n_L \quad (5)$$

$$n_{MOT} = 43 * 120 = 5160 [min^{-1}] \quad (6)$$

Výpočet nutného mechanického momentu motoru

Účinnost převodové skříně je $\mu = 75 \%$

$$M_{MOT} = \frac{M_L * 1000}{i * \mu} \quad (7)$$

$$M_{MOT} = \frac{10 * 1000}{43 * 0.75} = 310 [Nmm] \quad (8)$$

Volba typu motoru

Pomocí maxon programu byly zvoleny kompatibilní motory s převodovkou, která byla zvolena. Hlavním výběrovým parametrem byla velikost motoru.

Tab. 14 Vybrané motory

Motor\Parametry	Maximální otáčky [min^{-1}]	Maximální moment [Nm]	Účinnost [%]
408057	4250	4.18	86
412819	3710	2.85	84
412821	3970	5.01	88

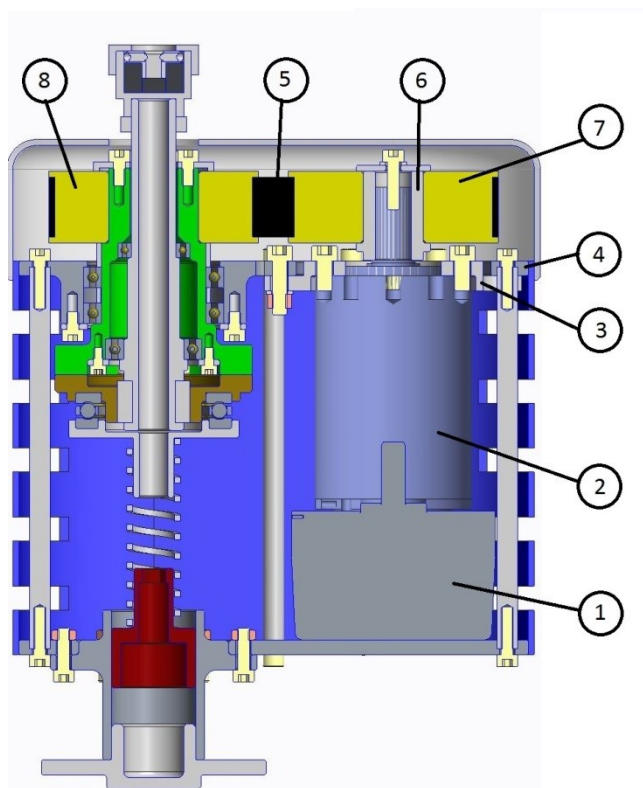
Potřebný krouticí moment splňují všechny vybrané motory, proto byl zvolen motor č. 408057 s nejvyššími otáčkami.

Výsledné otáčky:

$$n_{SKUT} = \frac{n_{MOT}}{i} * \mu = \frac{4250}{43} * 0.75 = 74 [min^{-1}] \quad (9)$$

5.2 Konstrukce efektoru

Konstrukce vychází z varianty B, která byla pomocí kritériální analýzy zvolena.

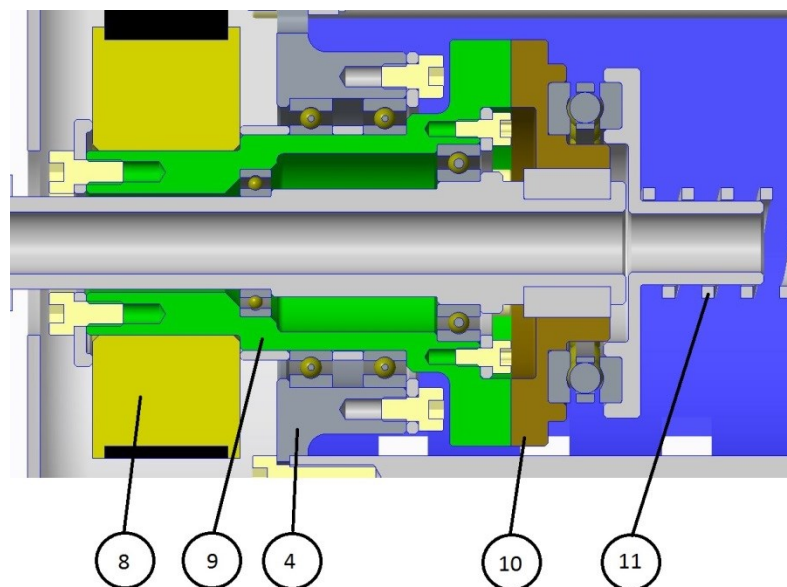


Obr. 17 Řez efektořem

Krouticí moment vytváří motor (1). Tento motor byl zvolen od výrobce Maxon motor, s výrobním číslem 408057. Tento motor dokáže zajistit dostatečný krouticí moment a otáčky. Tyto parametry transformují pomocí převodovky (2) rovněž od Maxon motor, s výrobním číslem 223089. Motor a převodovku výrobce doručí přímo ve složeném stavu.

Tyto komponenty jsou uloženy v přírubě (3), která je přizpůsobená připojovacím rozměrům převodovky a základní desce (4). Pomocí drážek v základní desce (4), přes které je přišroubovaná příruba (3), je zajištěno napínání řemene (5). Drážky jsou přizpůsobeny tak, aby byla možná montáž nebo demontáž ozubeného řemene (5). Pomocí osazeného kroužku (6) je zajištěna poloha řemenice (7), která je dotlačena a přišroubovaná pomocí šroubu do hřídele převodovky (2). Krouticí moment se přenáší pomocí těsného pera. Hnací řemenice (7) přenáší krouticí moment na hnanou řemenici (8) pomocí řemene (5). Řemenice (7 a 8) s řemenem (5) byly navrženy pomocí programu MitCalc (příloha). Tyto komponenty byly zvoleny od výrobce T.E.A. Technik s.r.o. s označením řemenice 60-3M-15 a řemen HTD-03M-339-12.

Krouticí moment z hnané řemenice (8) se přenáší do příruby (9) pomocí těsného pera. Příruba (9) je uložena ve 2 radiálních ložiscích v základní desce (4). Ložiska byla zvolena od výrobce SKF s označením 61807. Z příruby (9) se krouticí moment přenáší na přírubu (10) pomocí třecích ploch. Tato síla je vyvozena pomocí pružiny (11).



Obr. 18 Detail A

Síla potřebná k přenosu krouticího momentu:

Třecí síla F_t je kolmá síla k přítláčné síle F a závisí na koeficientu tření.

$$F_t = F * \mu \quad (10)$$

Jelikož je třecí plocha kruhový prstavec, je nutno určit účinný poloměr r_s .

$$r_s = \frac{2}{3} * \frac{r_1^3 - r_2^3}{r_1^2 - r_2^2} \quad (11)$$

Přenášený moment závisí na třecí síle a účinném poloměru.

$$M_s = F_t * r_s \quad (12)$$

$$M_s = F * \mu * \frac{2}{3} * \frac{r_1^3 - r_2^3}{r_1^2 - r_2^2} \quad (13)$$

Přítláčná síla je tedy:

$$F = \frac{M_s}{\mu * \frac{2}{3} * \frac{r_1^3 - r_2^3}{r_1^2 - r_2^2}} \quad (14)$$

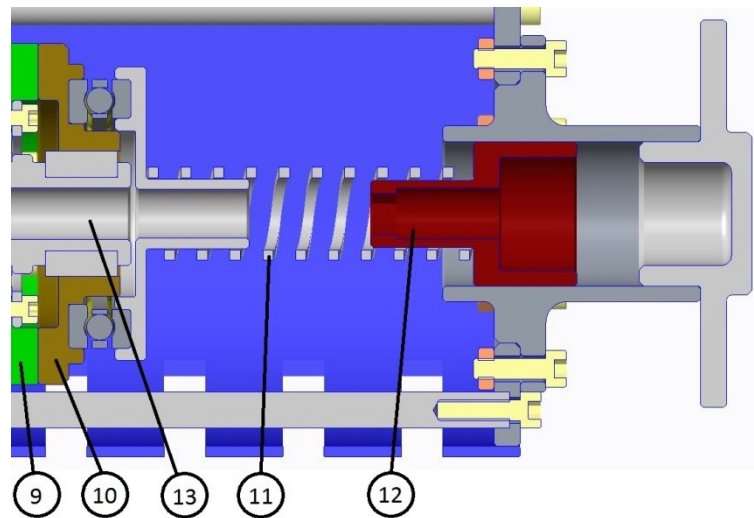
Z požadavkového listu vyplývá, že $M_s = 10$ [Nm].

Součinitel tření vyplývá z materiálu třecích ploch. Tyto hodnoty lze zjistit z tabulek nebo experimentálně. Byl zvolen materiál s koeficientem tření $\mu = 0.4$. Tato hodnota je běžná pro suché třecí spojky nebo brzdy.

Poloměry $r_1 = 0.066$ [m] a $r_2 = 0.044$ [m] vyplývají z konstrukce třecích ploch na přírubách.

$$F = \frac{10}{0.4 * \frac{2}{3} * \frac{0.066^3 - 0.044^3}{0.066^2 - 0.044^2}} = 450[N] \quad (15)$$

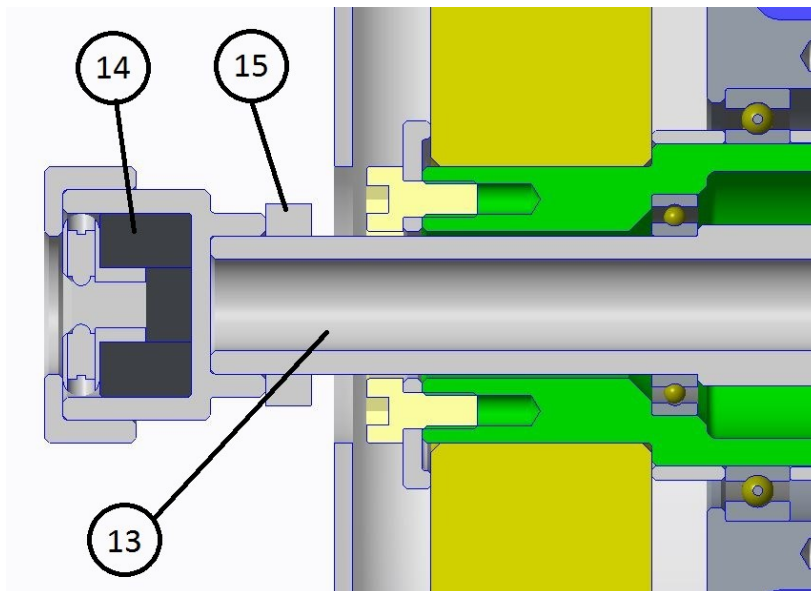
Maximální síla, která je potřebná k přenosu maximálního krouťicího momentu je 450 [N]. Pomocí této síly byla navržena pružina (11), která byla zvolena od výrobce Alcomex s označením ST12120. Nastavování stlačení pružiny je zajištěno pomocí speciální matice (12). Tuto matici (12) lze utahovat pomocí imbusového klíče. Přístup klíče k matici je zajištěno pomocí duté hřídele (13).



Obr. 19 Detail B

Moment přenesený na přírubu (10) je přenesen pomocí per na hřídel (13). Tato hřídel je uložena na ložiscích v přírubě (9). Ložiska byla zvolena od výrobce SKF s označením 61802 a 61804.

Na konci hřídele (13) je přišroubován pružný člen, který umožňuje mírné vyosení nástroje. To je zajištěno pomocí pryže (14). Pružný člen je zajištěn proti vyšroubování pomocí kontramatice.



Obr. 20 Detail C

Výsledný efektor je připevněn na robot UR5 na Obr. 21.



Obr. 21 Robot UR5 s efektozem

5.3 Dosažené parametry

V následující tabulce (tab.15) jsou základní parametry, které konstrukce dosahuje.

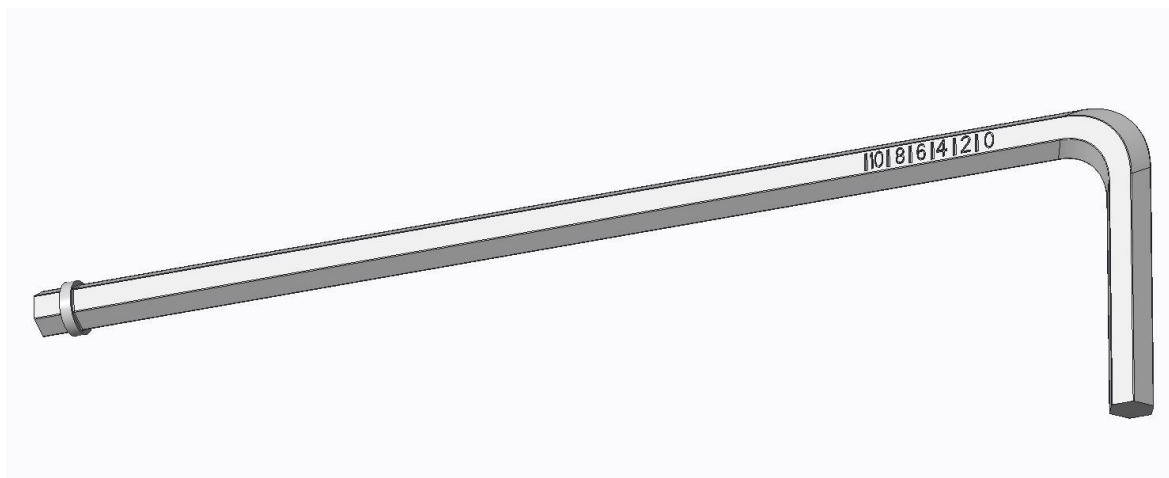
Tab. 15 Dosažené parametry

Hmotnost	4 [Kg]
Rozměry	248x178x103[mm]
Utahovací moment	Nastavitelnost 0-10 [Nm]
Napájení	24 [V]
Stupeň krytí	IP 40
Nastavování momentu	Manuálně
Pracovní otáčky	74 [min ⁻¹]

Konstrukce umožňuje chlazení celého mechanismu pomocí děrování v krytu. Jakmile se robot pohybuje, dojde k víření vzduchu uvnitř efektoru. Díky tomuto prvku je efektor chlazen a nedochází k přehřátí při zvýšeném provozu. Mezi ochranné prvky pro zajištění bezpečnosti proti přetížení motoru patří převod ozubeným řemenem a třecí spojka. V případě kolizního stavu, kdy dojde k zaseknutí nástroje při chodu, tyto ochranné prvky chrání motor proti případnému poškození. Dalším ochranným prvkem je pružný člen na konci efektor, který slouží jako ochrana proti poškození před nárazem nebo vyosení nástroje z původní polohy.

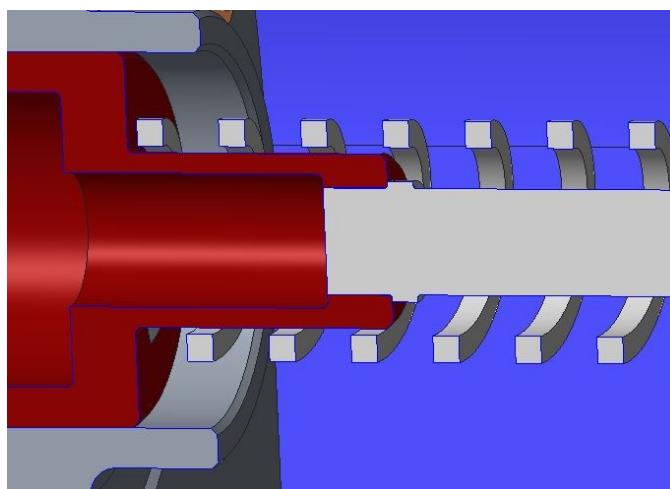
6 Nastavování utahovacího momentu

Nastavování utahovacího momentu je zajištěno pomocí speciální matice. Při utahování matice se předepíná pružina, která pak následně vyvozuje přítlačnou sílu mezi třecími přírubami. Tato přítlačná síla pak vyvozuje třecí sílu, která unáší hnanou přírubu. Jelikož matice, kterou předepínáme pružinu, je z vnější části nedostupná, je zapotřebí demontáž koncového pružného členu. Dutá hřídel umožňuje průchodnost k matici. K utahování matice je zapotřebí speciálně upravený imbusový klíč (obr. 22).



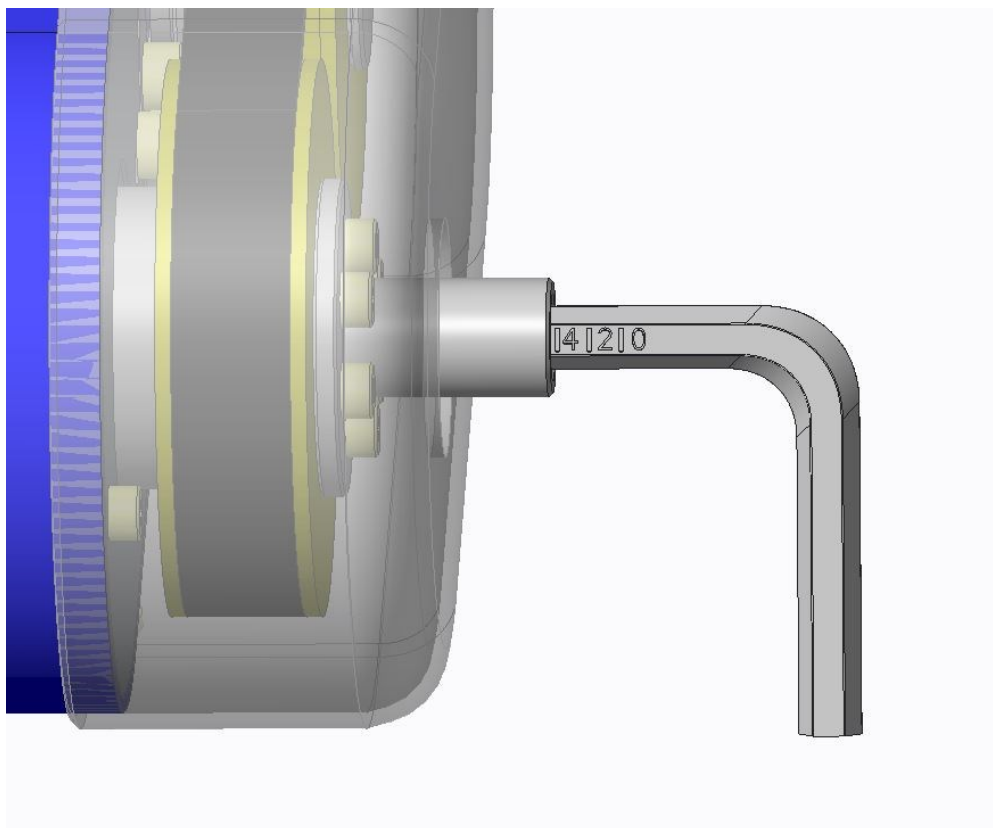
Obr. 22 Speciální imbusový klíč

Imbusový klíč má na konci speciální osazení, díky kterému se klíč o matici opře (obr. 23) a zajistí tím tak polohu, od které se pak následně odvíjí stupnice, která je vyfrézována na těle imbusového klíče.



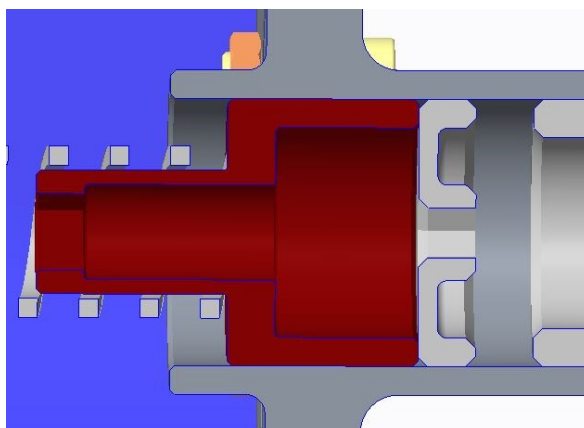
Obr. 23 Imbusový klíč v kontaktu s maticí

Odečítání ze stupnice je realizováno pomocí konce duté hřídele.



Obr. 24 Odečítání nastaveného utahovacího momentu

Jakmile by docházelo k samovolnému uvolňování matice vlivem vibrací a všech nepříznivých faktorů, je možnost do systému vložit kontramatici viz obr. 25, která zabrání uvolňování matice.



Obr. 25 Zajištění matice kontramaticí

Tato kontramatice se utahuje pomocí imbusového klíče, který je menší než imbusový klíč na matici, proto lze klíč prostrčit přes hřídel i matici ke kontramatici.

7 Kontrolní výpočty

Kontrolní výpočty slouží k ověření, zda splňují bezpečnost a životnost kritická místa.

7.1 Kontrola těsných per pod řemenicemi

Krouticí moment M_K se přenáší boky pera a drážek. Spoj je tak namáhán na otláčení bočních ploch pera a drážek náboje a hřídele. V pevnostním výpočtu se předpokládá, že tlaky p_1 a p_2 jsou na kontaktních plochách rozloženy rovnoměrně. Poněvadž v náboji je otláčovaná jen přímá část boku pera délky l' a hloubka drážky je $t_1 < t$, platí $p_2 > p_1$.

$$p_2 = \frac{F_2}{l' * t_1} \leq p_{D2} \quad (16)$$

$$l' \geq \frac{F_2}{p_{D2} * t_1} \quad (17)$$

$$F_2 = \frac{1000 * M_K}{\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}} \quad (18)$$

Pero pod hnací řemenicí u převodové skříně:

$$D = 20 \text{ [mm]}$$

$$t_1 = 2.1 \text{ [mm]}$$

$$p_D = 80 \text{ [MPa]}$$

$$F_2 = \frac{1000 * 10}{\frac{20}{2} + \frac{2.1}{2}} \quad (19)$$

$$F_2 = 905 \text{ [N]} \quad (20)$$

$$l' \geq \frac{905}{80 * 2.1} \quad (21)$$

$$l' \geq 5.4 \text{ [mm]} \quad (22)$$

Navržená délka pera je 9 mm. Výpočet minimální délky je 5.4 mm. Tato podmínka byla splněna.

Pero pod hnanou řemenicí

$$D = 30 \text{ [mm]}$$

$$t_1 = 2.5 \text{ [mm]}$$

$$p_D = 80 \text{ [MPa]}$$

$$F_2 = \frac{1000 * 10}{\frac{30}{2} + \frac{2.5}{2}} \quad (23)$$

$$F_2 = 615 \text{ [N]} \quad (24)$$

$$l' \geq \frac{615}{80 * 2.5} \quad (25)$$

$$l' \geq 3 \text{ [mm]} \quad (26)$$

Navržená délka pera je 9 mm. Výpočet minimální délky je 3 mm. Tato podmínka byla splněna.

7.2 Kontrola ložiska 61807

Hodnoty uvedené výrobcem:

$$C = 4.3 \text{ kN}$$

$$C_0 = 3.3 \text{ kN}$$

Hodnoty vyplývající z konstrukce:

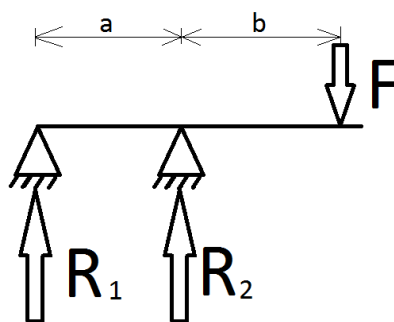
$$F_A = 450 \text{ N}$$

$$F = 733 \text{ N}$$

$$a = 12 \text{ mm}$$

$$b = 21 \text{ mm}$$

Výpočet radiální síly v ložisku:



Obr. 26 Schéma sil

Síla F je vyvozena od převodu řemenem viz Příloha B

$$\sum F_x = 0 \quad (27)$$

$$R_1 + R_2 = F \quad (28)$$

$$\sum M_{R2} = 0 \quad (29)$$

$$R_1 * a = -F * b \quad (30)$$

$$R_1 = \frac{-F * b}{a} \quad (31)$$

$$R_2 = F + \frac{F * b}{a} \quad (32)$$

$$R_2 = 733 + \frac{733 * 0.021}{0.012} = 2016 \text{ N} \quad (33)$$

Výsledná radiální síla v ložisku je $F_R = 2016 \text{ N}$

Hodnoty z tabulek (viz příloha A):

$$e = 0.3$$

$$X = 1$$

$$Y = 0$$

Koeficient m je závislý na tvaru dotyku valivého tělíska s kroužkem. Pro bodový dotyk je $m = 3$.

$$P = X * F_R + Y * F_A \quad (34)$$

$$P = 1 * 2.016 + 0 * 0.45 = 2.016 [kN] \quad (35)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m \quad (36)$$

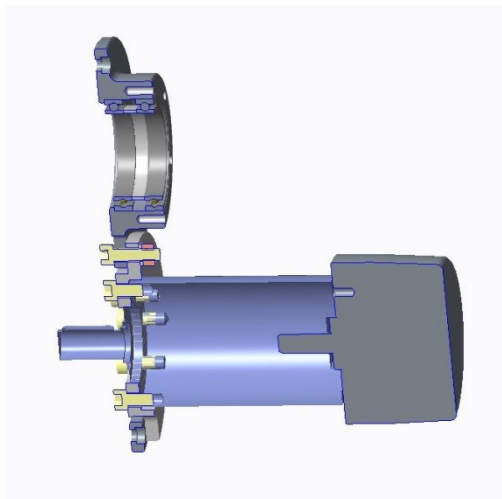
$$L = \left(\frac{4.3}{2.016}\right)^3 = 9.7 \text{ mil otáček} \quad (37)$$

$$L_H = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{16\,666}{n} = \left(\frac{4.3}{2.016}\right)^3 * \frac{16\,666}{74} = 2185 \text{ hod.} \quad (38)$$

Za předpokladu že efektor bude využíván na dvousměnném pracovním režimu a bude využíván 70% pracovní doby, pak nutná kontrola ložisek, popřípadě výměna, musí být každých 9 měsíců v provozu.

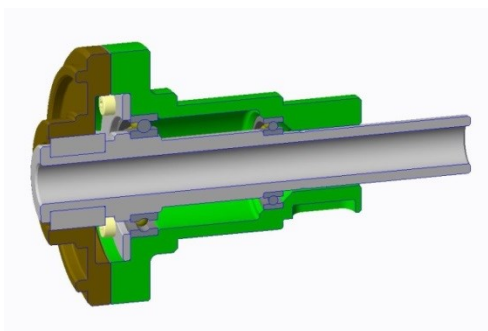
8 Montážní postup

V montážním postupu jsou v závorkách uváděny pozice ze sestavného výkresu OSC0011_0 (Příloha D).



Obr. 27 Ilustrační obrázek A

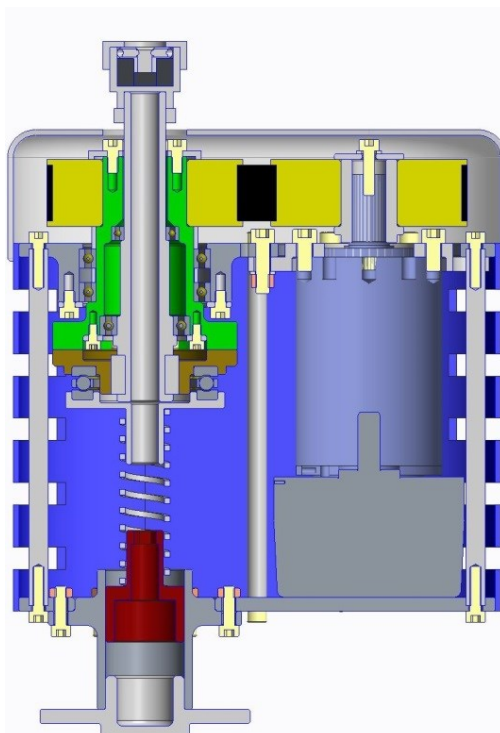
1. Sestavu motoru a převodové skříně (1) přišroubovat pomocí šroubů (36) do příruby (4)
2. Přírubu (4) přišroubovat pomocí šroubů (35) podložek (49) a matic (46) do základové desky
3. Do osazení v základní desce (2) nasadit 2 ložiska (32) a dorazit, mezi tyto ložiska vložit distanční kroužek (21)
4. Ložiska zajistit pomocí víka (22), které přišroubovat šrouby (38)



Obr. 28 Ilustrační obrázek B

5. Na hřídel (9) nasunout ložisko (30) na průměr 20 mm a dorazit, poté nasunout ložisko (31) a dorazit

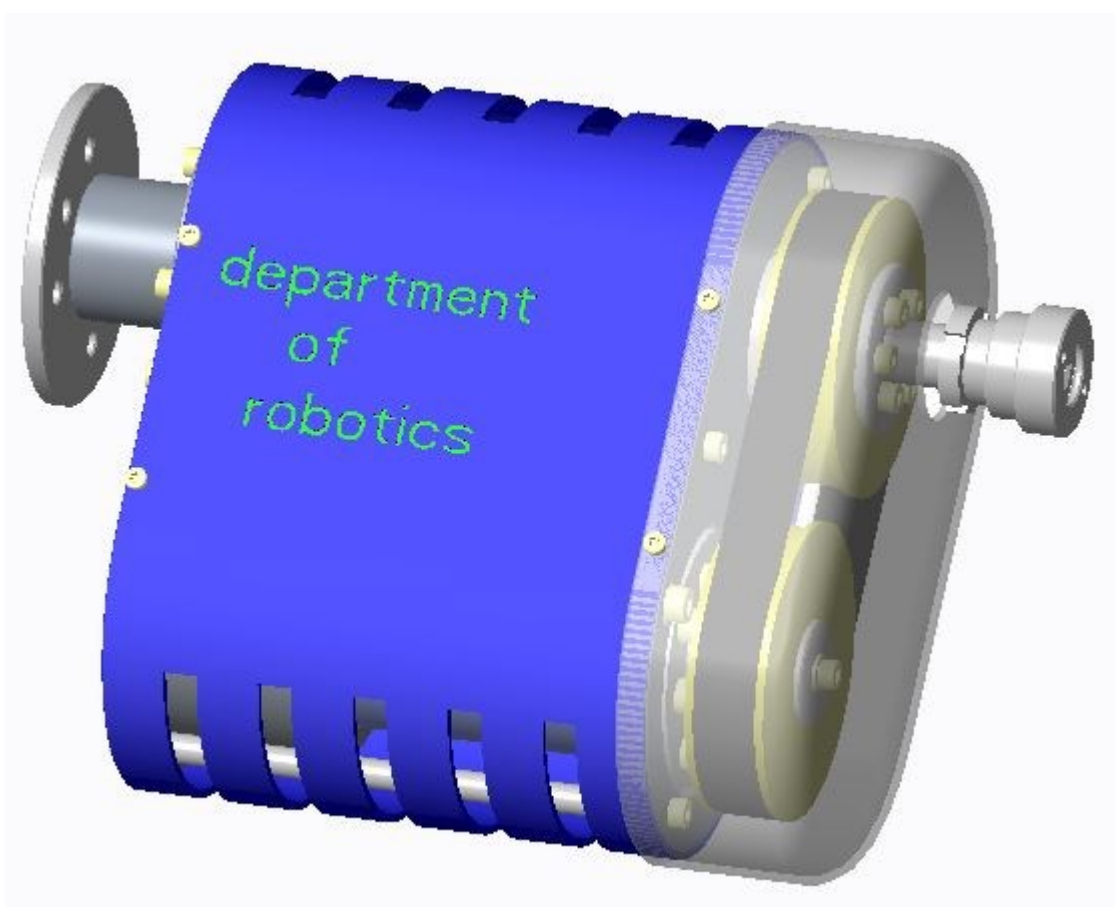
6. Na ložiska (30 a 31) nasunout přírubu (7) a zajistit pomocí víka (23), které přišroubovat šrouby (42)
7. Do drážek na hřídeli (9) vsadit těsné pera (45) a nasunout přírubu (8)
8. Tuto sestavu vsadit do předpřipraveného ložiskového domku v základní desce (2)



Obr. 29 Ilustrační obrázek C

9. Na hřídel z převodové skříně nasadit osazení (13) s těsným perem (44)
10. Na osazení nasunout řemenici (14) a zajistit víkem (26) přišroubováním pomocí šroubu (34) a podložky (50) do hřídele převodové skříně
11. Na přírubu (7) nasadit distanční kroužek (20) a dorazit k ložisku (32)
12. Do příruby vsadit těsné pero (43) a překrýt řemenicí (15), kterou zajistit víkem (25), které přišroubovat šrouby (37)
13. Navléct řemen (28) na řemenice (14 a 15)
14. Do základní desky (2) našroubovat rozpěrné tyče (10) pomocí šroubů (34)
15. Interface (6) přišroubovat do distančního osazení (5), které přišroubovat do základní desky 2 (3) pomocí šroubů (39) a matic (48)
16. Našroubovat matici (11) do distančního osazení (5)

17. Na přírubu (8) nasadit axiální ložisko (33) a překrýt přírubou (12)
18. Nasadit pružinu (29) na přírubu (12)
19. Přišroubovat základní desku 2 (3) na rozpěrné tyče (10) pomocí šroubů (34)
20. Na konec hřídele přišroubovat kompenzátor (16) s kontramaticí (47)
21. Kryt (18) přesunout přes základní desky (2 a 3) a přišroubovat šrouby (41) k základní desce 2 (3)
22. Kryt (19) nasadit na kryt (18) a přišroubovat šrouby (41) do základní desky (2)



Obr. 30 Efektor

9 Závěr

Na základě rešerše a parametrů robotů dostupných na katedře robotiky byly stanoveny požadavky na konstrukci efektoru. Základní požadavky na konstrukci byly minimální hmotnost, kompaktní rozměry, jednoduchá přenastavitelnost utahovacího momentu a stupeň krytí. Podle zvolených požadavků byly zhotoveny dvě varianty, které se odlišují v principu nastavování utahovacího momentu. Varianta A vychází z principu momentových klíčů a varianta B vychází z aku vrtaček. Varianty byly důkladně popsány, aby bylo možné zhodnotit důkladně konstrukci. Tyto varianty byly zhodnoceny pomocí vícekritériální analýzy autorem práce, Jakubem Mlotkem a Danielem Vrbkou. Výsledek analýzy prokázal, že varianta B je vhodnější. Následně byla detailně propracována. Efektor se skládá z kupovaných komponentů a to motor s převodovou skříní od výrobce Maxon motor, ložiska od výrobce SKF, řemenice s ozubeným řemenem od výrobce T.E.A. Technik s.r.o. a pružina od firmy Alcomex. Dále se efektor skládá i ze speciálně vyráběných součástí. Vlastnosti tohoto efektoru umožňují libovolně nastavit utahovací moment v rozmezí 0-10 Nm, dále ochrana motoru proti přetížení třecí spojkou a řemenovým převodem. Chlazení celého mechanismu je realizované pomocí děrovaného krytu. Kryt efektoru je podle normy ohodnocen stupněm krytí IP40. Dále byl navrhnut klíč, který umožňuje nastavovat moment utahování. Byla zkontrolována kritická místa, kde může hrozit poškození, nebo snížení životnosti efektoru. Byly zkontrolovány pera, která přenášejí krouticí moment pod řemenicemi. Obě pera splňují dostatečnou délku proti otlačení. Dále byla spočítána životnost ložiska 61807, které je nejvíce zatěžováno. Životnost tohoto ložiska je 2185 pracovních hodin. Tato životnost je základní. Lze ji zvýšit pomocí vhodně zvoleného maziva. Na závěr byl vypracován montážní postup, který stručně popisuje celou montáž efektoru.

Požadované hodnoty, které byly stanoveny v požadavkovém listu, byly dodrženy. Úprava, která by ovlivnila vlastnosti efektoru, je změna motoru s převodovou skříní. Tato úprava by zmenšila náklady na efektor, ale zvětšila by celkové rozměry a hmotnost.

10 Použitá literatura

- [1] ČSN 01 6910 Úprava písemností zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, 2007. 48 s.
- [2] ČSN ISO 2145 (01 0184) Dokumentace: Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů. Praha: Český normalizační institut, 1997. 6 s.
- [3] ČSN ISO 7144 (01 0161) Dokumentace: Formální úprava disertací a podobných dokumentů. Praha: Český normalizační institut, 1997. 24 s.
- [4] ČSN ISO 80000-1 (01 1300) Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně. Praha: Český normalizační institut, 1994. 60 s.
- [5] ČSN ISO 690 (01 0197) Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů. Praha: Český normalizační institut, 2011. 40 s.
- [6] ČSN ISO 214 (01 0148). Dokumentace: Abstrakty pro publikace a dokumentaci. Praha: Český normalizační institut, 2001. 16 s.
- [7] Factory automation [online] 5.10.2016 [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/spoluprace-lidi-s-roboty-nikdy-nebyla-bezpecnejsi/>
- [8] Aktuálně.cz [online]. 7.10.2016 [cit. 2016-10-07]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/prvni-kolaborujici-robot-nasazen-v-cesku/r~2ef606d2112711e6bff10025900fea04/>
- [9] Kuka robotics [online] 5.10.2016 [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/
- [10] Jiří Skařupa. Průmyslové roboty a manipulátory. . [online]. 2007 [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [11] Free patents online [online]. 5.10.2016 [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <http://www.freepatentsonline.com/6990877.pdf>
- [12] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [13] PATOČKA, Václav a Jaroslav KOCH. *Valivá ložiska ZKL*. Druhé upravené vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [14] ŠVERCL, Josef. *Technické kreslení a deskriptivní geometrie pro školu a praxi*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-718-3297-9.
- [15] SKF [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/index.html>
- [16] HOLUBEC, MARTIN. *SPOJKA POMOCNÉHO POHONU* [online]. BRNO, 2008 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6303

-
- [17] *Maxon motor* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/content/index>
- [18] *T.E.A. TECHNIK s.r.o.: lineární vedení a pohony* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz>
- [19] *Alcomex: pružiny* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.alcomex.cz>
- [20] *TNTRADE* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.tntrade.cz/default.asp?>
- [21] *Universal robots* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/výrobky/robot-ur5/>
- [22] *RoboEx: Robotics Exchange* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.mitsubishirobots.com/RV2AJ.html>

Přílohy

Příloha A: Tabulky pro výpočet radiálních ložisek

Příloha B: Návrh převodu ozubeným řemenem pomocí programu MITCalc

Příloha C: CD medium s 3D dokumentací

Příloha D: Výkresová dokumentace

1. Sestavný výkres
 - OSC0011_0
2. Výkres příruby (9)
 - OSC0011_3
3. Výkres příruby (10)
 - OSC0011_2
4. Výkres hřídele
 - OSC0011_1

Příloha A Tabulky pro výpočet radiálních ložisek

Rotační součinitel V

Druh ložiska	Zatížení vnitřního kroužku	
	obvodové	bodové
Kuličkové jednořadé a dvouřadé, jednořadé s kosouhlým stykem, válečkové, soudečkové a kuželíkové	1	1,2
Kuličkové dvouřadé naklápěcí	1	1

Součinitelé X a Y pro radiální kuličková ložiska

Druh ložiska	$\frac{F_a}{C_0}$	e	$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$		$X_0^{2)}$	$Y_0^{2)}$
			X	Y	X	Y		
jednořadé kuličkové	0,014	0,19	1	0	0,56	2,30	0,6	0,5
	0,028	0,22				1,99		
	0,056	0,26				1,71		
	0,084	0,28				1,55		
	0,11	0,30				1,45		
	0,17	0,34				1,31		
	0,28	0,38				1,15		
	0,42	0,42				1,04		
	0,56	0,44				1,00		
jednořadé kuličkové s kosouhlým stykem $\gamma = 26^\circ$		0,68	1	0	0,41	0,85	0,5	0,37
jednořadé válečkové a jehlové ³⁾	—					1	0	0
dvouřadé naklápěcí kuličkové	1,5 tg α					0,42 cotg α	0,65	0,65 cotg α
dvouřadé soudečkové			0,45 cotg α	0,67	0,67 cotg α			
jednořadé kuželíkové			0	0,40	0,40 cotg α	0,5	0,22 cotg α	

Příloha B Návrh převodu ozubeným řemenem pomocí programu MITCalc

1.0 **Způsob zatížení, pracovní parametry**

1.1	Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)		
1.2	Přenášený výkon	P	0,11	0,11 [kW]
1.3	Otáčky řemenice (požadované)	n	100	100 [/min]
1.4	Otáčky řemenice (skutečné)	n	100,0	100,0 [/min]
1.5	Převodový poměr požadovaný / skutečný	i	1,000	1,000
1.6	Krouticí moment	Mk	10,51	10,29 [Nm]
1.7	Typ hnacího stroje (zatížení)	B...S větší nerovnoměrností		
1.8	Typ poháněného stroje (zatížení)	E...S vyšší nerovnoměrností		
1.9	Denní zatížení převodu	A...Méně než 8 hodin		
1.10	Součinitel provozního zatížení	c2	1,6	1,6 <input checked="" type="checkbox"/>
1.11	Účinnost převodu	eta	98	[%]

2.0 **Automatický návrh**

2.1 Výběr typu řemene 3M HTD (SYNCHROFORCE CXP III)

Reference Diagram

8M (PowerGrip GT2)

14M (PowerGrip GT2)

— Váš požadavek

— 8M (PowerGrip GT2)

— 14M (PowerGrip GT2)

— 3M HTD (SYNCHROFORCE CXP III)

2.2	Teoretická min / max. osová vzdálenost	c	11 - 770		
2.3	Osová vzdálenost pro 'Automatický návrh'	c	80,00	[mm]	
2.4	Automatický návrh - stiskněte tlačítko	Automatický návrh			
2.5	Třídít výsledky podle parametru:	Osová vzdálenost			
2.6	Tabulka řešení				
2.7	ID z1 z2 B i di [%] A dA SF m				
2.8	02. 60 60 12,000 1,000 0,000 79,50 0,50 0,999 0,20				

3.0 <input checked="" type="checkbox"/> Návrh a výpočet			
3.1	Vybraná šířka synchronního řemene	B	15 / 0,5906 [mm/in]
3.2	Počet zubů řemenice (průměr řemenice) - výběr	z	60 (57,3) [mm]
3.3	Počet zubů řemenice	z	60 60
3.4	Výpočtový průměr řemenice	Dp	57,296 57,296 [mm]
3.5	Doporučená osová vzdálenost / min-max	C'	91,7 63 - 229 [mm]
3.6	Osová vzdálenost požadovaná / skutečná	C	80,00 79,50 [mm]
3.7	Počet zubů řemene (délka řemene) - výběr	z	113 (339) [mm]
3.8	Počet zubů řemene / navržený	z	113 113 <input checked="" type="checkbox"/>
3.9	Délka řemene / rozteč	Lw/P	339,00 3,000 [mm]
3.10	Návrhový výkon	Pd	0,18 [kW]
3.11	Výkon přenesený řemenem	P'	0,23 [kW]
3.12	Přibližná celková hmotnost	m	0,28 [kg]
3.13	Součinitel využití řemene	SF	0,78

4.0 <input checked="" type="checkbox"/> Výsledky, koeficienty			
4.1 Koeficienty			
4.2	- Součinitel provozního zatížení	c2	1,60
4.3	- Součinitel zrychlení	c3	0,00
4.4	- Součinitel délky řemene	c5	1,00
4.5	- Součinitel šířky řemene	c6	2,25
4.6	- Součinitel počtu zubů v záběru	c1	1,00
4.7	- Součinitel převodového poměru	c7	0,00
4.8	- Úhel opásání řemenice	β	180,00 180,00 [°]
4.9 Osová přestavitelnost			
4.10	- Pro napínání řemene	x	0,80 [mm]
4.11	- Pro nasazení řemene	y	0,80 [mm]
4.12 Silové poměry, rychlost			
4.13	- Rychlost řemene / max. pro daný typ	v	0,30 45 [m/s]
4.14 Výpočet pracovních sil (obecně)			
4.15	- Síla v odlehčené větvi v % tahové síly		39,0 39,00 <input checked="" type="checkbox"/> [%]
4.16	- Tahová síla	Fu	367 [N]
4.17	- Předpětí	Fo	326 [N]
4.18	- Síla v zatížené větvi řemenu	F1	510 [N]
4.19	- Síla v odlehčené větvi řemenu	F2	143 [N]
4.20	- Celková radiální síla na hřídel	Fr	653 [N]
4.21 Výpočet pracovních sil (Gates Rubber Company ®)			
4.22	- Celková radiální síla na hřídel	Fr	- [N]
4.23	- Předpětí	Fo	- [N]
4.24 Výpočet pracovních sil (firma ContiTech ®)			
4.25	- Koeficient	k1	1,25 1,25 <input checked="" type="checkbox"/>
4.26	- Celková radiální síla na hřídel	Fr	733 [N]
4.27	- Předpětí	Fo	367 [N]