



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH KONSTRUKCE MODULÁRNÍHO  
ÚCHOPNÉHO ZAŘÍZENÍ JAKO KONCOVÉHO  
EFEKTORU PRO MANIPULACI SE SOUČÁSTKAMI  
POMOCÍ ROBOTU**

DESING OF MODULAR GRIPPER END EFFECTOR FOR ROBOT HANDLING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Petr Fajt**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**

**BRNO 2018**



## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Petr Fajt
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Návrh konstrukce modulárního úchopného zařízení jako koncového efektoru pro manipulaci se součástkami pomocí robotu**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Seznámení se s novými trendy v oblasti uchopovacích zařízení a současným stavem v oblasti zajišťování manipulačních operací pomocí robotu. Dále je to návrh konstrukce úchopného koncového efektoru (chapadla) pro součást kruhového tvaru (příruby popřípadě hřídele), provedení potřebných výpočtů, zhotovení 3D modelů variantních řešení ve vhodném SW produktu a provedení výkresů sestav a dílenských výkresů exponovaných součástí.

Projekt je řešen ve spolupráci s technickým úsekem společnosti DEL a. s. ve Žďáře nad Sázavou, za konzultativního přispění technického manažera společnosti.

#### **Cíle bakalářské práce:**

1. Rešerše současného stavu v oblasti koncových efektorů robotů pro uchopování součástí.
2. Průzkum trhu a trendů v oblasti nabídky dostupných uchopovacích systémů pro robotiku, jejich vlastnosti a charakteristiky (zjištění obvyklé hodnoty hmotnosti uchopovaného břemene a obvyklých rozměrů součástky tvaru příruha nebo hřídel).
3. Návrh chapadla pro součást kruhovitěho tvaru s důrazem na modularitu (modely 3D, výkresy 2D, technické výpočty, zejména stanovení velikosti uchopovací síly).
4. Vyhodnocení navržené konstrukce.
5. Stručná analýza rizik.
6. Odhad nákladů na výrobu jednoho kusu prototypu nově navrženého modulárního chapadla.

**Seznam doporučené literatury:**

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.).  
Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady  
vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá koncovými efekty, jejich druhy, vlastnostmi a návrhem. V teoretické části je stručně popsán průmyslový robot a provedeno rozdělení koncových efektorů. V části věnující se průzkumu trhu jsou uvedeny vybrané produkty dostupné na trhu, jejich vlastnosti a porovnání. Praktická část se věnuje návrhu koncových efektorů, konstrukci jednotlivých prvků a provedení kontrolních výpočtů. Jednotlivá řešení jsou poté porovnána a vyhodnocena. Na závěr práce je uvedena stručná analýza rizik a odhad nákladů na výrobu jednoho koncového efektoru.

## **ABSTRACT**

The main aims of this bachelors thesis are end effectors, their species, properties and construction. In theoretical part there is briefly described industrial robot and distribution of end effectors is done. In part that is about market research there are said chosen products that are available on market, their properties and comparison. Practical part is dedicated to design of end effectors, construction of individual parts and control calculations. Individual solutions are compared and evaluated. At the end of the thesis there is brief analysis of risks and estimated cost of production of one end effector.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Průmyslový robot, koncový efektor, konstrukce koncového efektoru, chapadlo

## **KEYWORDS**

Industrial robot, end effector, construction of end effector, gripper



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

FAJT, P. Návrh konstrukce modulárního úchopného zařízení jako koncového efektoru pro manipulaci se součástkami pomocí robotu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 59 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.





## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. 4. 2018

.....

Fajt Petr



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Knoflíčkovi Dr. a zaměstnancům společnosti DEL a.s. Ing. Janu Bratršovskému, Ing. Lubošovi Gregorovi a Ing. Lubošovi Starému za vstřícný přístup, cenné rady a připomínky, které mi dopomohly k dokončení této bakalářské práce.



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>PRŮMYSLOVÝ ROBOT</b> .....	<b>17</b>
2.1	Rozdělení robotů z kinematického hlediska .....	18
2.1.1	Provedení TTT .....	18
2.1.2	Provedení RTT .....	18
2.1.3	Provedení RRT .....	18
2.1.4	Provedení RRR .....	19
2.1.5	Popis robotu .....	19
<b>3</b>	<b>KONCOVÉ EFEKTORY</b> .....	<b>21</b>
3.1	Koncové efekty manipulační .....	21
3.1.1	Mechanické .....	21
3.1.2	Magnetické .....	22
3.1.3	Podtlakové .....	23
3.2	Další typy koncových efektorů .....	24
3.2.1	Technologické koncové efekty .....	24
3.2.2	Kontrolní a měřicí .....	25
3.2.3	Kombinované koncové efekty .....	25
<b>4</b>	<b>POROVNÁNÍ TRHU</b> .....	<b>27</b>
4.1	Chapadla dostupná na trhu .....	27
4.1.1	Festo DHPS-35-A .....	27
4.1.2	Festo DHDS-50-A .....	28
4.1.3	Festo HGRT-50-A .....	28
4.1.4	Schunk PGN-plus 125-1-AS-V .....	29
4.1.5	Schunk PZN-plus 64-1-AS-V .....	29
4.1.6	Schunk DRG 100-90-AS-HT .....	30
4.1.7	SMC MHZ2-40D2 .....	31
4.1.8	SMC MHS3-125D .....	31
4.1.9	SMC MHC2-25D .....	32
4.1.10	DESTACO CP-6-C .....	33
4.1.11	DESTACO RTH-6M-L .....	33
4.1.12	DESTACO CT-50M .....	34
4.1.13	Tabulka porovnávaných chapačů .....	35
<b>5</b>	<b>NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU</b> .....	<b>37</b>
5.1	Konstrukce jednotlivých prvků .....	37
5.1.1	Výkovek klikové hřídele .....	37
5.1.2	Obrobek klikové hřídele .....	37
5.1.3	Volba chapadla .....	37
5.1.4	Základní deska .....	38
5.1.5	Prsty pro uchopení výkovku .....	39
5.1.6	Prsty pro uchopení obrobku .....	39
5.1.7	Prizmatický úchop výkovku .....	40
5.1.8	Prizmatický úchop obrobku .....	41
5.1.9	Krytování .....	41
5.1.10	Volba robotu .....	42
5.1.11	Konstrukce příruby .....	42

5.1.12 Sestava koncového efektoru výkovku.....	43
5.1.13 Sestava koncového efektoru obrobku .....	44
5.2 Provedení kontrolních výpočtů.....	44
5.2.1 Výpočet zrychlení robotu .....	45
5.2.2 Výpočet uchopovací síly .....	47
5.2.3 Výpočty pro efektor manipulující s výkovkem.....	48
5.2.4 Výpočty pro efektor manipulující s obrobkem .....	48
<b>6 VYHODNOCENÍ NAVRŽENÉ KONSTRUKCE.....</b>	<b>49</b>
<b>7 STRUČNÁ ANALÝZA RIZIK.....</b>	<b>51</b>
7.1 Mechanická nebezpečí.....	51
7.2 Elektrická nebezpečí.....	51
7.3 Tepelná nebezpečí .....	51
7.4 Nebezpečí vytvářená hlukem .....	51
<b>8 ODHAD NÁKLADŮ NA VÝROBU JEDNOHO KUSU.....</b>	<b>53</b>
<b>9 ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
<b>10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>57</b>
<b>11 SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>59</b>

# 1 ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je návrh konstrukce modulárního úchopného zařízení jako koncového efektoru pro manipulaci se součástkami pomocí robotu. První část práce je věnována teoretické rešerši. Téma velmi úzce souvisí s problematikou průmyslových robotů, proto bude zmíněna definice průmyslového robotu, jeho využití a bude provedeno rozdělení robotů z kinematického hlediska. Dále si v teoretické rešerši vysvětlíme funkci koncového efektoru a provedeme rozdělení efektorů podle jejich funkce, na efektorů manipulačních, technologické a další. Zvláštní pozornost pak budeme věnovat efektorům manipulačním, které si rozebereme z hlediska charakteru styku, vysvětlíme si principy jejich funkce a úchopné prvky, kterými jsou vybaveny.

Druhá část práce je věnována průzkumu trhu v oblasti nabídky dostupných uchopovacích systémů pro robotiku. Zde zvolíme výrobce, kteří působí v dané oblasti a vybereme z jejich rozsáhlé nabídky charakteristické produkty. U vybraných produktů poté vyhledáme v katalogích základní parametry, podle kterých se lze řídit při výběru vhodného produktu a provedeme jejich porovnání.

Další, a hlavní částí práce, je návrh modulárního koncového efektoru pro součást kruhovitěho tvaru. Zvolenou součástí, která bude objektem manipulace je kliková hřídel, a to sice ve dvou podobách - v podobě výkovku a obrobku. Navrhne tedy dvě provedení koncového efektoru na stejném základu. Jednotlivé části konstrukce si detailně rozebereme a popíšeme. Taktéž bude provedena i volba vhodného průmyslového robotu a konstrukce příruby pro montáž efektoru na robot. Následně sestrojíme kompletní sestavy koncových efektorů a k vybraným částem i výkresovou dokumentaci. K navrženým řešením provedeme kontrolní výpočty stanovující velikost uchopovací síly a výsledek zhodnotíme.

V následující části vyhodnotíme navrženou konstrukci, a to zejména z hlediska náročnosti konstrukce a montáže. Následně bude provedena stručná analýza rizik, kde se zamyslíme nad všemi možnými nebezpečími, která mohou vzniknout a pokusíme se jim předejít. Na závěr pak bude proveden hrubý odhad nákladů na výrobu jednoho kusu prototypu nově navržených koncových efektorů.





## 2 PRŮMYSLOVÝ ROBOT

Definici průmyslového robotu vystihl velice dobře profesor P. N. Beljanin, který řekl: „Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka, a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“ [1]

Roboty se v průmyslu využívají jako náhrada za člověka v oblastech hromadné výroby, kde mohou vykonávat monotónní činnosti, nebo příliš fyzicky náročné práce. Dále se roboti používají například pro práci v nebezpečném prostředí, z důvodu ochrany zdraví zaměstnance, i přesto, že by člověk byl schopen práci vykonat lépe než robot. Nasazení robotů se v neposlední řadě provádí také za účelem zvyšování produktivity a kvality výroby, což je v dnešní době stále častější důvod použití. Na Obr. 1. je vyobrazena robotizovaná výrobní linka v automobilce.



Obr. 1.: Robotizovaná výrobní linka [2]

Při stavbě robotů se používají dva základní typy kinematických dvojic. Jsou to otočné neboli rotační a přímočaře posuvné neboli translační.

Rotační kinematické dvojice:

- otočné
- kyvné

Posuvné kinematické dvojice:

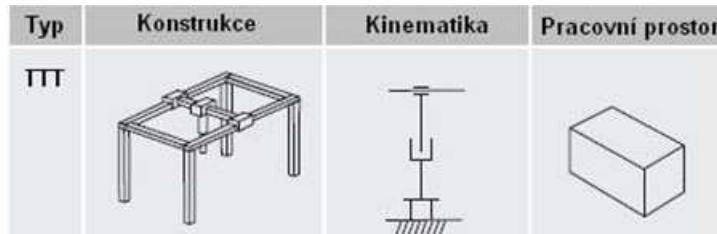
- smykadlové – delší těleso se posouvá v kratším vedení
- suportové – kratší těleso se posouvá po delším vedení
- výsuvné – teleskopické

Různými kombinacemi uvedených kinematických dvojic lze sestavovat libovolné kinematické řetězce, které pak tvoří kinematickou strukturu robotu. Nejvíce se používají čtyři typy kinematických struktur, díky kterým můžeme roboty rozdělovat.

## 2.1 Rozdělení robotů z kinematického hlediska

### 2.1.1 Provedení TTT

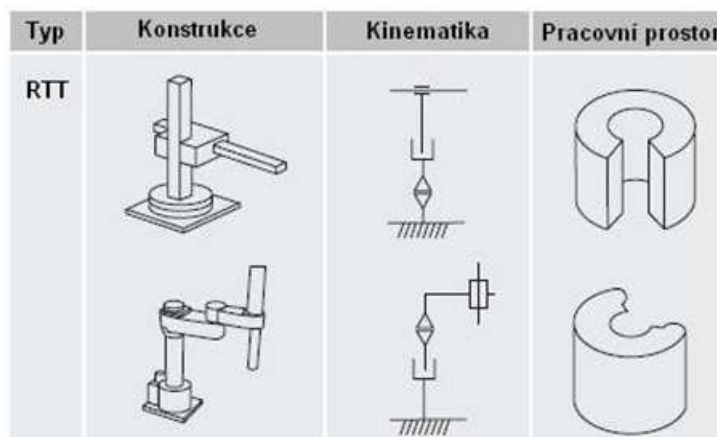
Nebo také kartézské. Kinematické uspořádání tvoří tři translační dvojice. Využívá se pravouhlý souřadný systém. Pracovní prostor má tvar krychle, popřípadě kvádru Obr. 2. Výhodami systému je velká stabilita a jednoduché řízení. Nevýhodou je pak nižší prostorová pohyblivost. Používá se především pro rozlehlé manipulační prostory.



Obr. 2.: Provedení TTT [3]

### 2.1.2 Provedení RTT

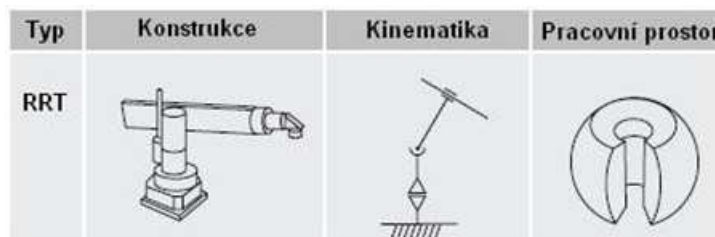
Též také cylindrické. Kinematické uspořádání tvoří dvě translační a jedna rotační dvojice. Pracovní prostor má válcový tvar Obr. 3.



Obr. 3.: Provedení RTT [3]

### 2.1.3 Provedení RRT




Nebo také sférické. Kinematické uspořádání tvoří dvě rotační a jedna translační dvojice. Pracovní prostor má kulový tvar Obr. 4. Toto provedení má menší pracovní prostor a složitěji se řídí.



Obr. 4.: Provedení RRT [3]

### 2.1.4 Provedení RRR

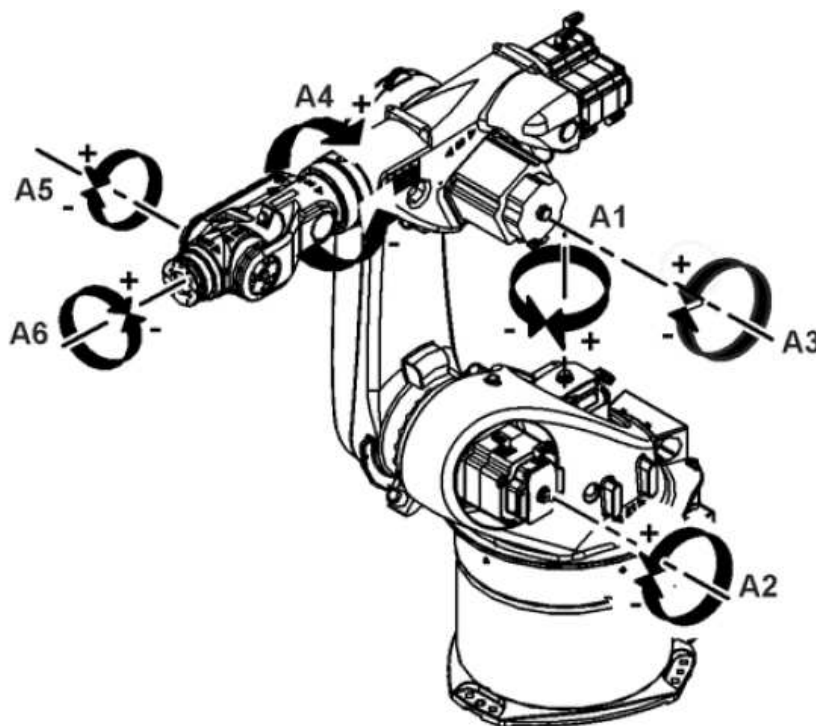
Těž také angulární. Kinematické uspořádání tvoří tři rotační dvojice. Pracovní prostor má tvar tzv. torusu Obr. 5. Výhodami tohoto provedení je dobrá manipulační schopnost a vysoká pohyblivost.

Typ	Konstrukce	Kinematika	Pracovní prostor
RRR			

Obr. 5.: Provedení RRR [3]

### 2.1.5 Popis robotu

Dnes velmi rozšířený typ robotu je robot šestiosý Obr. 6. Jak název napovídá, robot je schopen pohybu až v šesti osách, které jsou na obrázku označeny A1 – A6. Díky tomu dokáže robot velmi dobře pokrýt pracovní prostor a vykonat téměř všechny požadované operace. Robot je usazen na podstavci, jenž je většinou montovaný na podlahu, speciální typy robotů lze však montovat i na stěnu nebo na strop. Na konci ramene robotu se pak nachází příruba, která slouží k montáži koncového efektoru.



Obr. 6.: Šestiosý robot [4]



## 3 KONCOVÉ EFEKTORY

Koncový efektor robotu je zařízení určené k vlastní realizaci úkolů, pro které je robot určený. Mezi tyto úkoly patří například manipulace s různými objekty, u kterých jsou zadány parametry polohy, vzdálenosti, orientace, rychlosti, zrychlení a další. Efektory dělíme podle toho, o jaké objekty manipulace se jedná na uchopovací a technologické, případně jejich hybridy, pokud se hlediska prolínají. Přičemž technologické efektory většinou slouží k přímé nebo zprostředkované manipulaci technologickými přípravky nebo nástroji, které mohou zajišťovat například svařování, obrábění, montáž, stříkání a podobně.

Koncový efektor může nový vlastník robotu, zakoupeného pro specifický úkol pořídit různým způsobem. Lze ho zakoupit u dodavatele robotu, jiné firmy působící v oboru, nebo lze efektor navrhnout a vyrobit vlastními silami, popřípadě si zadat jeho vývoj u specializované firmy.

Koncové efektory procházely postupem času vývojem nejen z hlediska konstrukčního, ale i z hlediska názvosloví. Ve starších publikacích se s nimi můžeme setkat pod pojmy jako jsou hlavice, pracovní hlavice, chapadla, chapače, uchopovače či prostě úchopná zařízení. Současný název vznikl z anglického end effector. Do češtiny přeloženo jako koncový efektor.

### 3.1 Koncové efektory manipulační

Jsou určeny k uchopení objektu za účelem další manipulace. Převážně jsou konstruovány na míru pro dané aplikace uživateli průmyslových robotů a manipulátorů. Části efektoru, které přicházejí přímo do styku s uchopovanými objekty nazýváme úchopné prvky. Tyto prvky lze dělit na aktivní a pasivní. Aktivní mohou ovládat úchopnou sílu, kdežto pasivní ne. U efektorů vybavených pouze pasivními prvky je třeba k uvolnění zásah zvenčí. Dále je rozdělujeme podle charakteru styku při aktivování úchopné síly do následujících skupin.

#### 3.1.1 Mechanické

Jako aktivní úchopné prvky označujeme ty, jejichž funkce může být bezprostředně ovládána řídicím systémem. Jsou tedy vybaveny pohyblivými čelistmi, jejichž pohyb může být vyvinut různými druhy a typy motorů Obr.7. Motory bývají buď lineární (pneumatické a hydraulické válce), nebo rotační (pneumatické a hydraulické motory, elektromotory). Nejvhodnějším orgánem k uchopování je lidská ruka, její technické provedení je však velmi obtížné. Existuje proto obrovské množství použitelných řešení.

Jako pasivní úchopné prvky pak označujeme ty, jež nelze ovládat řídicím systémem, přesto však umožňují uchopení objektů při manipulaci, a to s využitím pohybu ramena robotu. K uvolnění lze využít například zpětného rázu, když objekt uchopí jiný manipulátor, upnutí ve sklíčidle stroje, nebo může být přítomen vyhazovač. Mezi tyto prvky patří různé typy tvarových lůžek, vidlice, čepy, háky, pružné čelisti a jim podobné prvky.



*Obr. 7.: Mechanický koncový efektor [5]*

### **3.1.2 Magnetické**

Používají se k manipulaci s objekty, jejichž materiál je feromagnetický. Jejich velkou předností je jednoduchost, nevýhodou je pak zachycování jiných nežádoucích magnetických předmětů, hlavně pak drobnějších částic, které mohou zapříčinit vychýlení uchopeného objektu.

Aktivní úchopné prvky jsou elektromagnety Obr.8., které jsou nejčastěji napájeny stejnosměrným proudem. Výhodou oproti pasivním magnetickým hlavicím je, že k uvolňování součástí nepotřebujeme žádný mechanismus pro oddělení uchopených předmětů, stačí pouze vypnout přívod proudu do elektromagnetu. Působením stejnosměrného magnetického pole dochází k zmagnetizování uchopovaného předmětu, což může působit potíže při uvolňování. Tomuto předcházíme tak, že po přerušení přívodu proudu krátkodobě obrátíme směr průchodu proudu v magnetických cívkách.

Pasivní úchopné prvky jsou naopak vybaveny permanentními magnety a jsou používány především k manipulaci s předměty menších rozměrů a hmotností. Jako jsou plechové kroužky, podložky, výlisky a jim podobné. Jejich předností je jednoduchá konstrukce, nevýhodou je pak nutnost přidavných mechanismů k oddělení uchopených předmětů. V nejjednodušších případech dojde k uvolnění tak, že se pohybem robotu chapadlo tangenciálně stáhne z předmětu, který se zadržuje dorazem, nebo jiným zařízením. Ve většině případů se však k uvolnění uchopených předmětů používá vlastní mechanismus, který je programově řízený. Tím se však fáze uvolňování stává aktivní.



*Obr. 8.: Magnetický koncový efektor [6]*

### 3.1.3 Podtlakové

Jako aktivní podtlakové manipulační prvky rozumíme ty, které využívají k vyvinutí úchopné síly podtlak, jenž je vytvářen vývěvou nebo ejektorem Obr.9. Ejektor je tryskové zařízení určené k odsávání nebo čerpání. Pohon zajišťuje proud vody, páry nebo plynu. Používáme buď provedení, kdy je několik podtlakových komor připojeno na společný ejektor, nebo je každá komora vybavena samostatným ejektorem. Nevýhodou ejektorového provedení je velká spotřeba stlačeného vzduchu. Jsou tedy vhodné pro menší úchopné hlavice. Při provedení, kde dochází k použití vývěv připojujeme společné odsávací vedení i více podtlakových komor. Nevýhodou řešení s vývěvou je vysoká cena. Společným problémem při manipulaci s plechy je pak oddělování uchopených předmětů. Řešení se provádí tak, že do manipulačního cyklu zařadíme pohyb v tangenciálním směru, díky kterému se vždy horní plech sesune.

Příkladem pasivního podtlakového prvku jsou deformační pryžové přísavky. Principem jejich funkce je nejdříve zmenšení objemu vnitřního prostoru. Při zpětném pohybu, kdy se pružnost stěn přísavek opět zvětší, dochází ke vzniku podtlaku. Podmínkou pro bezpečné uchopení objektu je vysoká těsnost styku, která závisí především na hladkosti a kvalitě povrchu. Z tohoto důvodu se proto tento typ využívá například pro manipulaci s plechovými a skleněnými tabulemi. K zajištění těsného přilnutí k povrchu předmětu se mohou aplikovat viskózní tekuté látky. Uvolnění z přísavek pak probíhá podobně jako u ostatních typů pasivních úchopných prvků. Velikou výhodou tohoto typu je jednoduchost a možnost práce v plynném, kapalném, ale i výbušném prostředí.





*Obr. 9.: Podtlakový koncový efektor [7]*

### **3.2 Další typy koncových efektorů**

Mimo manipulačních koncových efektorů existují i jiné druhy, sloužící ke specifické činnosti, pro níž jsou speciálně navrhovány. Na rozdíl od manipulačních efektorů mívají často i jiné než energetické přívody, které označujeme jako pomocné, nebo technologické. Jedná se například o přívod stlačeného vzduchu a barev k tryskám stříkací hlavy, nebo elektrického proudu a chladicí vody ke svařecím kleštím. Uspořádání těchto přívodů může značně ovlivnit operační možnosti efektoru.

#### **3.2.1 Technologické koncové efekторы**

Umožňují provádění technologických operací, jejich hlavním znakem je daný nástroj, nebo celý systém nástrojů, určený k provedení požadované operace. Jsou to například koncové efekторы obráběcí, svařovací nebo hlavy sloužící k povrchové úpravě Obr.10.



*Obr. 10.: Svařecí hlavice na robotu [8]*



### 3.2.2 Kontrolní a měřicí

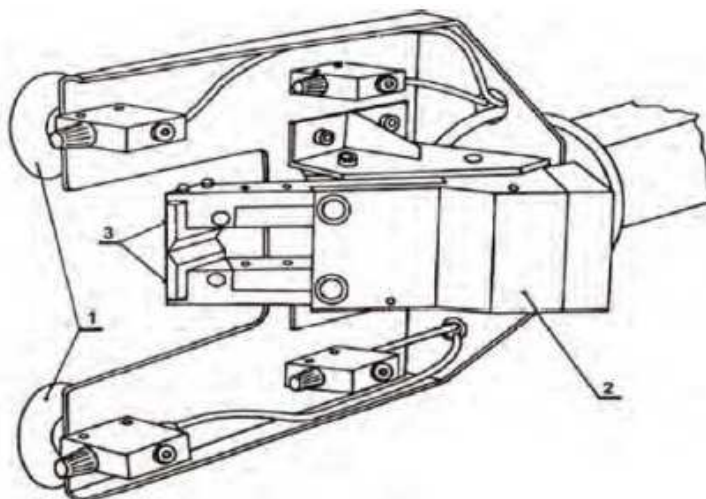
Hlavice koncového efektoru jsou osazeny čidly pro sledování různých veličin. Například mohou být použity pro měření tloušťky stěny trubek.



*Obr. 11.: Měřicí koncový efektor [9]*

### 3.2.3 Kombinované koncové efektor

Mohou zajišťovat pomocí jediné konstrukce více funkcí. Například může jít o kombinace technologické a úchopné funkce.



*Obr. 12.: Kombinovaný koncový efektor [1]*



## 4 POROVNÁNÍ TRHU

V dnešní době je na trhu mnoho výrobců, a ještě více dostupných typů chapadel. Dostupné produkty jsou rozmanitých typů a velikostí. A v případě, že i přesto nenaleznete co hledáte, existuje i spousta specializovaných výrobců, kteří Vám sestojí kus přímo na míru. Pro porovnání trhu v této práci jsem zvolil čtyři výrobce, jejichž produkty jsou dostupné i v České republice, a to jsou Festo, Schunk, Destaco a SMC. Od jednotlivých výrobců pak byly v katalogích nalezeny vybrané produkty, jejichž charakteristické vlastnosti jsou porovnávány. Vybranými produkty jsou grippery paralelní dvouprsté, paralelní tříprsté a radiální. Ne všichni výrobci však ve svých katalogích uvádějí stejné vlastnosti, nicméně jsme schopni jejich produkty porovnat.

### 4.1 Chapadla dostupná na trhu

#### 4.1.1 Festo DHPS-35-A

- Zdvih na čelist chapadla: 12,05 mm
- Počet prstů chapadla: 2
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: paralelní
- Hmotnost: 1,285 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 910 N
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: 5 až 60 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ : 50 Nm
- Materiál čelistí chapadla: vysoce legovaná nerezová ocel



Obr. 13.: Festo DHPS-35-A [10]

#### 4.1.2 Festo DHDS-50-A

- Zdvih na čelist chapadla: 6 mm
- Počet prstů chapadla: 3
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: 3 body
- Hmotnost: 0,92 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 750 N
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: 5 až 60 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ : 24 Nm
- Materiál čelistí chapadla: vysoce legovaná nerezová ocel



Obr. 13.: Festo DHDS-50-A [10]

#### 4.1.3 Festo HGRT-50-A

- Max úhel otevření: 180 deg
- Počet prstů chapadla: 2
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: radiální
- Hmotnost: 3,1 kg
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: 5 až 60 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_y$ : 35 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_z$ : 10 Nm
- Materiál čelistí chapadla: tvrzená ocel



Obr. 14.: Festo HGRT-50-A [10]

#### 4.1.4 Schunk PGN-plus 125-1-AS-V

- Zdvih na čelist chapadla: 13 mm
- Počet prstů chapadla: 2
- Funkce chapadla: paralelní
- Hmotnost: 1,85 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 1470 N
- Doporučená váha uchopovaného tělesa: 5,4 kg
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: 5 až 130 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ : 120 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_y$ : 145 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_z$ : 100 Nm
- Materiál čelistí chapadla: ocel



Obr. 15.: Schunk PGN-plus 125-1-AS-V [11]

#### 4.1.5 Schunk PZN-plus 64-1-AS-V

- Zdvih na čelist chapadla: 6 mm
- Počet prstů chapadla: 3
- Funkce chapadla: paralelní
- Hmotnost: 0,54 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 765 N
- Doporučená váha uchopovaného tělesa: 2,9 kg
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: 5 až 130 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ : 40 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_y$ : 60 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_z$ : 40 Nm
- Materiál čelistí chapadla: ocel



Obr. 16.: Schunk PZN-plus 64-1-AS-V [11]

#### 4.1.6 Schunk DRG 100-90-AS-HT

- Úhel otevření na čelist chapadla: 90 deg
- Počet prstů chapadla: 2
- Funkce chapadla: radiální
- Hmotnost: 4,46 kg
- Celkový moment při svírání: 143 Nm
- Doporučená váha uchopovaného tělesa: 7,2 kg
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: 5 až 130 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ : 35 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_y$ : 10 Nm
- Materiál čelistí chapadla: ocel



Obr. 17.: Schunk DRG 100-90-AS-HT [11]

#### 4.1.7 SMC MHZ2-40D2

- Zdvih na čelist chapadla: 15 mm
- Počet prstů chapadla: 2
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: paralelní
- Hmotnost: 1,275 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 318 N
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: -10 až 60 °C
- Materiál čelistí chapadla: nerezová ocel



*Obr. 17.: SMC MHZ2-40D2 [12]*

#### 4.1.8 SMC MHS3-125D

- Zdvih na čelist chapadla: 32 mm
- Počet prstů chapadla: 3
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: paralelní
- Hmotnost: 6,46 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 1320 N
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: -10 až 60 °C
- Materiál čelistí chapadla: uhlíková ocel



Obr. 18.: SMC MHS3-125D [12]

#### 4.1.9 SMC MHC2-25D

- Úhel otevření na čelist chapadla: 40 deg
- Počet prstů chapadla: 2
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: radiální
- Hmotnost: 0,31 kg
- Celkový moment při svírání: 1,36 Nm
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: -10 až 60 °C
- Materiál čelistí chapadla: uhlíková ocel

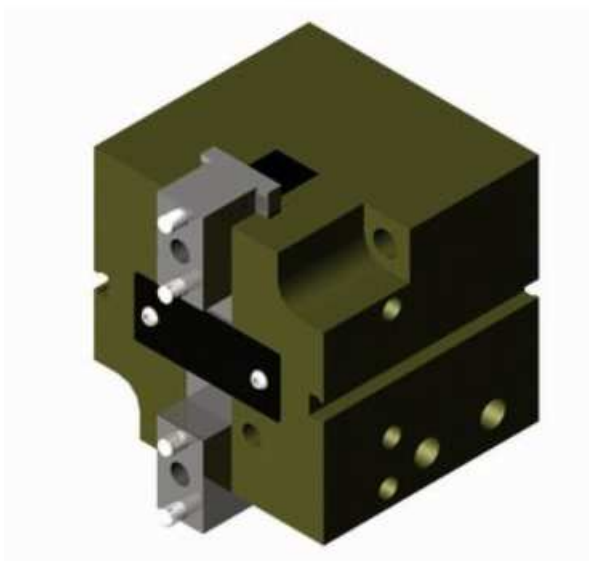


Obr. 19.: SMC MHC2-25D [12]



#### 4.1.10 DESTACO CP-6-C

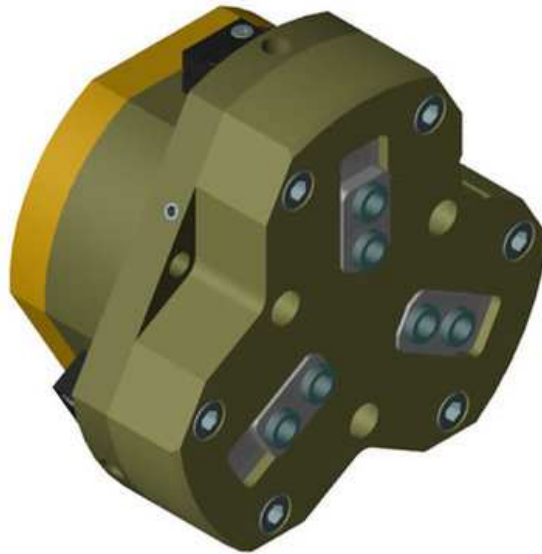
- Zdvih na čelist chapadla: 16 mm
- Počet prstů chapadla: 2
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: paralelní
- Hmotnost: 2,56 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 2092 N
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: -30 až 150 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ : 42 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_y$ : 70 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_z$ : 64 Nm



Obr. 20.: DESTACO CP-6-C [13]

#### 4.1.11 DESTACO RTH-6M-L

- Zdvih na čelist chapadla: 32 mm
- Počet prstů chapadla: 3
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: paralelní
- Hmotnost: 7,9 kg
- Celková síla úchopu při svírání: 8971 N
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: -30 až 150 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ : 154 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_y$ : 199 Nm
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_z$ : 131 Nm



Obr. 21.: DESTACO RTH-6M-L [13]

#### 4.1.12 DESTACO CT-50M

- Úhel otevření na čelist chapadla: 90 deg
- Počet prstů chapadla: 2
- Provozní režim: dvojčinný
- Funkce chapadla: radiální
- Hmotnost: 1,82 kg
- Celková síla při svírání: 651 N
- Provozní médium: stlačený vzduch
- Okolní teplota: -30 až 150 °C
- Max. moment na čelistech chapadla  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ : 30 Nm



Obr. 22.: DESTACO CT-50M [13]

**4.1.13 Tabulka porovnávaných chapačů**  
 Tab. 4.1. Parametry chapačů

výrobce	model	zdvih na čelist [mm]	úhel otevření na čelist [deg]	počet prstů	provozní režim	funkce	hmotnost [kg]	síla úchopu [N]	moment úchopu při svírání [Nm]	váha uchop. tělesa	provozní médium	okolní teplota [°C]	moment na čelistech chapača [Nm]			materiál čelistí
													Mx	My	Mz	
Festo	DHPS-35-A	12,05	/	2	dvojčinný	pralelní	1,258	910	/	/	stlačený vzduch	5 až 60	50	50	50	vysoce leg. nerez. ocel
	DHDS-50-A	6	/	3	dvojčinný	tři body	0,92	750	/	/	stlačený vzduch	5 až 60	24	24	24	vysoce leg. nerez. ocel
	HGRT-50-A	/	90	2	dvojčinný	radiální	3,1	/	/	/	stlačený vzduch	5 až 60	10	35	10	tvrzená ocel
Schunk	PGN-plus 125-1-AS-V	13	/	2	dvojčinný	paralelní	1,85	1470	/	5,4	stlačený vzduch	5 až 130	120	145	100	ocel
	PZN-plus 64-1-AS-V	6	/	3	dvojčinný	paralelní	0,54	765	/	2,9	stlačený vzduch	5 až 130	40	60	40	ocel
	DRG 100-90-AS-HT	/	90	2	dvojčinný	radiální	4,46	/	143	7,2	stlačený vzduch	5 až 130	35	10	/	ocel
SMC	MHZ2-40D2	15	/	2	dvojčinný	paralelní	1,275	318	/	/	stlačený vzduch	-10 až 60	/	/	/	nerez. ocel
	MHS3-125D	32	/	3	dvojčinný	paralelní	6,46	1320	/	/	stlačený vzduch	-10 až 60	/	/	/	uhlíková ocel
	MHC2-25D	/	40	2	dvojčinný	radiální	0,31	/	1,36	/	stlačený vzduch	-10 až 60	/	/	/	uhlíková ocel
DESTACO	CP-6-C	16	/	2	dvojčinný	paralelní	2,56	2092	/	/	stlačený vzduch	-30 až 150	42	70	64	/
	RTH-6M-L	32	/	3	dvojčinný	paralelní	7,9	8971	/	/	stlačený vzduch	-30 až 151	154	199	131	/
	CT-50M	/	90	2	dvojčinný	radiální	1,8	651	/	/	stlačený vzduch	-30 až 152	30	30	30	/



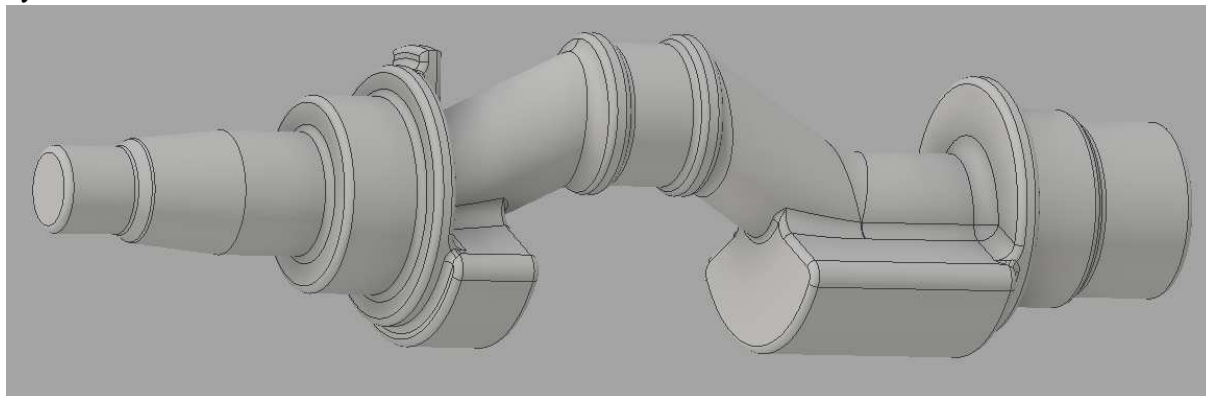
## 5 NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU

Návrhová část práce je zaměřená na vyvinutí koncového efektoru pro manipulaci se součástí kruhového tvaru s důrazem na modularitu. Danou součástí bude kliková hřídel jednoválcového kompresoru. S hřídelí bude manipulováno ve dvou různých podobách, a to sice s výkovkem, který bude vlivem kování zahřátý na vysokou teplotu, a dále s obrobkem, jehož teplota bude nízká. Bude tedy zhotoven návrh dvou koncových efektorů na stejném základu.

### 5.1 Konstrukce jednotlivých prvků

#### 5.1.1 Výkovek klikové hřídele

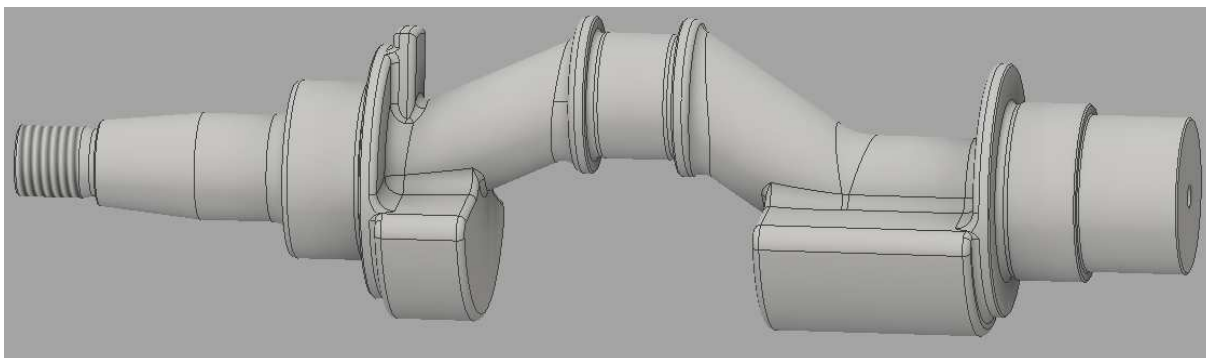
Výroba klikové hřídele se provádí metodou zápusťkového kování z materiálu 12 050. Teplota kování se pohybuje v rozmezí 850 až 1150 °C. Teplota výkovku při manipulaci se od teploty kování příliš neliší. Celková hmotnost výkovku je 4,54 kg. Model výkovku klikové hřídele je vyobrazen na Obr. 23.



Obr. 23.: Výkovek klikové hřídele

#### 5.1.2 Obrobek klikové hřídele

Výroba probíhá obrobením výkovku v CNC obráběcím centru, hřídel je po dobu obrábění ochlazována chladicí kapalinou. Teplota obrobku je při manipulaci maximálně 100 °C. Hmotnost obrobku je 4,24 kg. Model obrobku klikové hřídele je na Obr. 24.

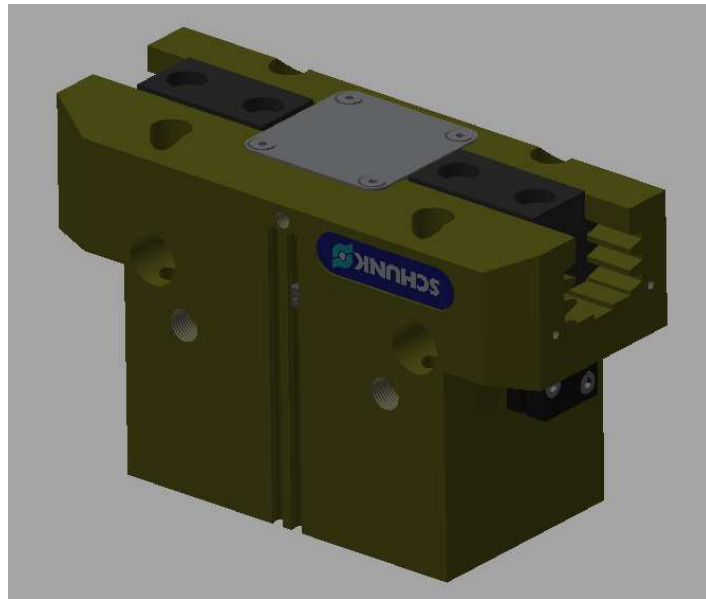


Obr. 24.: Obrobek klikové hřídele

#### 5.1.3 Volba chapadla

Volba chapadla byla provedena podle zjištěné hmotnosti hřídele, která bude objektem manipulace. Hmotnost výkovku je 4,54 kg, volím tedy takové chapadlo, aby hřídel uneslo. Při výběru se řídím podle katalogových údajů výrobce, a to hlavně doporučené váhy uchopovaného předmětu. Bylo zvoleno chapadlo od firmy Schunk typu PGN-plus 125-1-AS-V, které

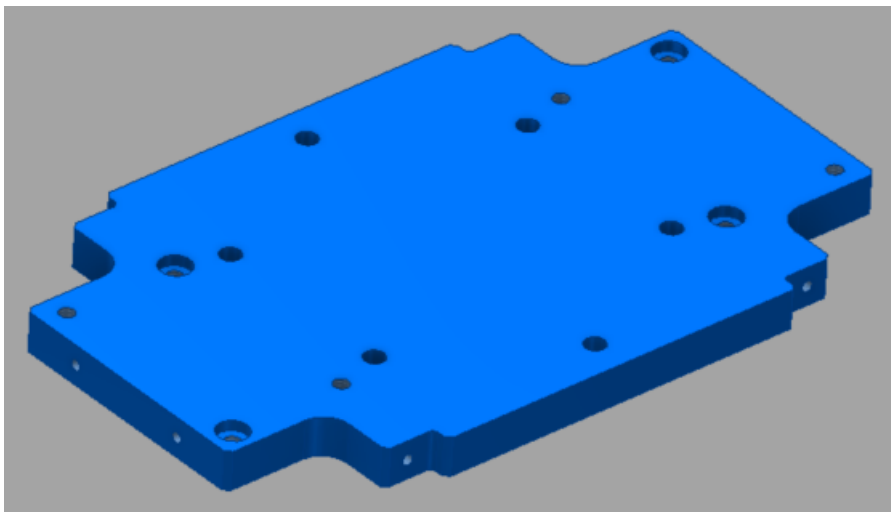
disponuje doporučenou váhou uchopovaného tělesa 5,4 kg. Konstrukce koncového efektoru obsahuje tato chapadla dvě a je uvažována tak, aby součást uneslo i jedno chapadlo v případě poruchy, kterou může být například porušení přívodu stlačeného vzduchu. Model chapadla byl poskytnut na webových stránkách výrobce Obr.25.



*Obr. 25.: Schunk PGN-plus 125-1-AS-V*

#### **5.1.4 Základní deska**

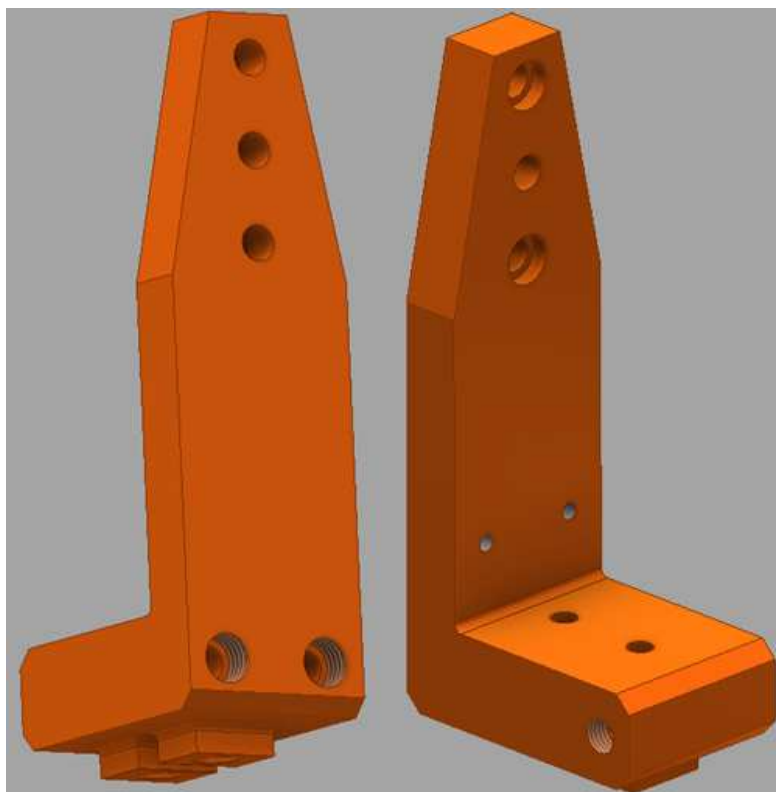
Základní deska koncového efektoru je vyrobena z nerezové oceli 17 241. Deska je rozměrově navržena tak, aby chapadla uchopila hřídel v požadovaném místě. K připevnění chapadla slouží čtyři šrouby, pro které jsou v desce zhotoveny díry s vnitřním závitem. Pro vystředění chapadla jsou použita středící pouzdra, jejichž díry jsou okolo děr pro šrouby. Díry rozmístěné v kruhovém poli ve středu desky slouží k přichycení příruby. Pro montáž krytů jsou určeny díry s vnitřním závitem po obvodu desky Obr.26. Vyrobena deska s vyvrtanými dírami váží 4,64 kg.



*Obr. 26.: Základní deska*

### 5.1.5 Prsty pro uchopení výkovku

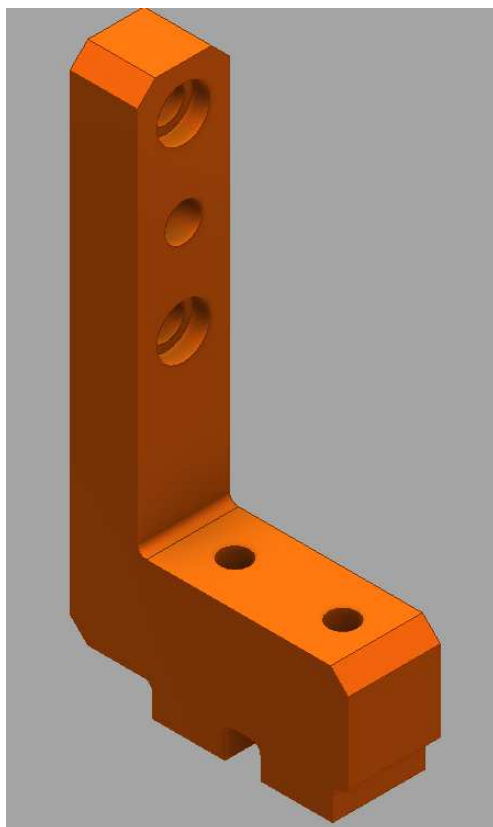
Konstrukce prstu pro uchopení výkovku Obr.27 je značně ovlivněna zvýšenou teplotou. Je zvolena největší možná délka prstu, kterou výrobce uvádí v katalogových údajích, a to z důvodu co největšího vzdálení žhavého výkovku od centra koncového efektoru. Dalším opatřením proti zvýšené teplotě je vodní chlazení spodní části prstu, pro které je zhotovena dráha oběhu vody a díry pro připevnění šroubení. Připojení k chapadlu je zajištěno dvěma šrouby, a na spodní části prstu jsou díry pro středící pouzdra. Ve střední části prstu jsou dvě díry s vnitřním závitem, sloužící k montáži krytů. Ve vrchní části prstu jsou pak zhotoveny tři díry pro šrouby a dvě pro středící pouzdra, které slouží k přichycení a vystředění prizmatického úchopu. Prsty jsou vyrobeny z legované oceli 19 663 (1.2714) a hmotnost jednoho kusu je 1,13 kg.



*Obr. 27.: Prst pro úchop výkovku*

### 5.1.6 Prsty pro uchopení obrobku

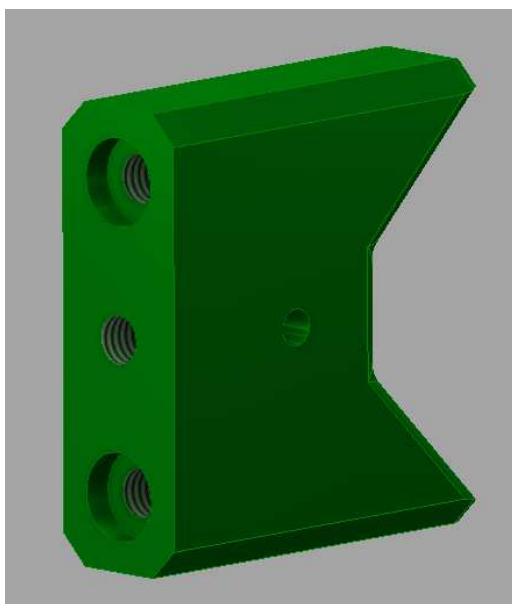
Prst pro uchopení studeného kusu je pak o poznání jednodušší Obr. 28. Je kratší a neobsahuje žádné chlazení. Jsou v něm zhotoveny pouze díry pro přichycení k chapadlu, vystředění a k montáži prizmatického úchopu. Prsty pro úchop obrobku jsou zhotoveny z konstrukční oceli 11 523 a to z důvodu nižších pracovních teplot. Hmotnost jednoho kusu je 0,44 kg.



*Obr. 28.: Prst pro úchop obrobku*

### **5.1.7 Prismatický úchop výkovku**

Prismatický úchop výkovku je speciálně tvarován pro jeho uchopení Obr.29. Dotykové plochy, které budou v kontaktu s výkovkem mezi sebou svírají úhel  $90^\circ$ . V zadní části jsou pak tři díry sloužící k montáži na prst. U krajních dvou šroubů jsou zhotoveny díry pro středící pouzdra. Úchop je vyroben ze stejné legované oceli jako prsty koncového efektoru pro teplý kus, tedy 19 663. Tento materiál je volen proto, že výkovek je uchopován za část, která je určena k obrobení. Nevadí nám tedy, pokud zde při kontaktu ocel-ocel vznikne drobné poškození povrchu. Hmotnost jednoho prismatického úchopu je 0,42 kg.

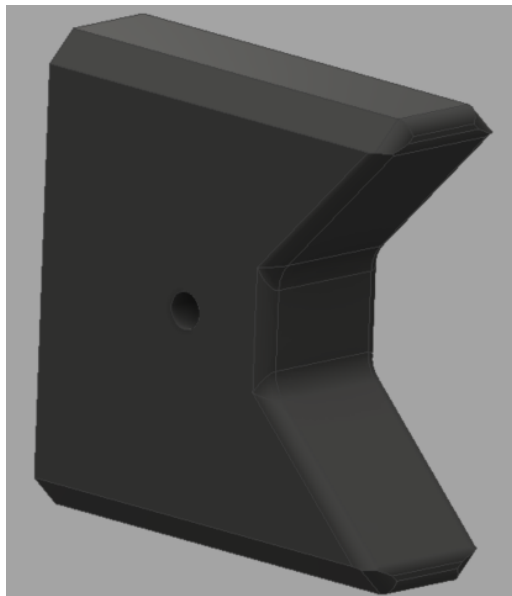


*Obr. 29.: Prismatický úchop výkovku*



### 5.1.8 Prizmatický úchop obrobku

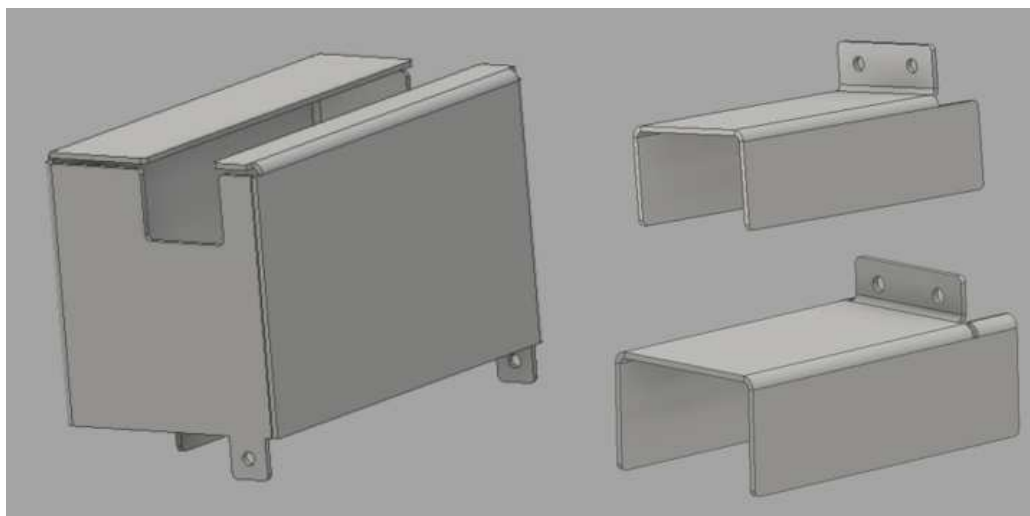
Prizmatický úchop pro obrobek je obdobně tvarován pro rozměry obrobku Obr. 30. Dotykové plochy svírají úhel 90° a v zadní části se nachází tři díry určené pro montáž, opět dvě krajní s rozšířením pro středící pouzdra. Obrobek je však uchopován za obrobenou plochu s předepsanou drsností povrchu, nesmí tedy dojít k jeho poškození. Kvůli tomu je jako materiál na výrobu zvolen plast, konkrétně Murylon A GF, který disponuje vysokou odolností proti opotřebení, vysokou pevností v tlaku a je vhodný pro použití za zvýšených teplot. Zhotovený úchop má hmotnost 0,08 kg.



Obr. 30.: Prizmatický úchop obrobku

### 5.1.9 Krytování

Jako další opatření proti zvýšené teplotě a záření, které jsou způsobeny manipulací s výkovkem je koncový efektor pro teplý kus vybaven krytováním z plechu. Krytování se skládá ze tří částí Obr. 31. První obklopuje chapadlo a přichycuje se k základní desce, zbylé dvě se montují na prsty a vzájemně se překrývají, aby při otevření prstů nevznikla mezera. Materiál plechu je 17 241 a tloušťka plechu je 2 mm. Celková hmotnost všech tří krytů je 1,37 kg.



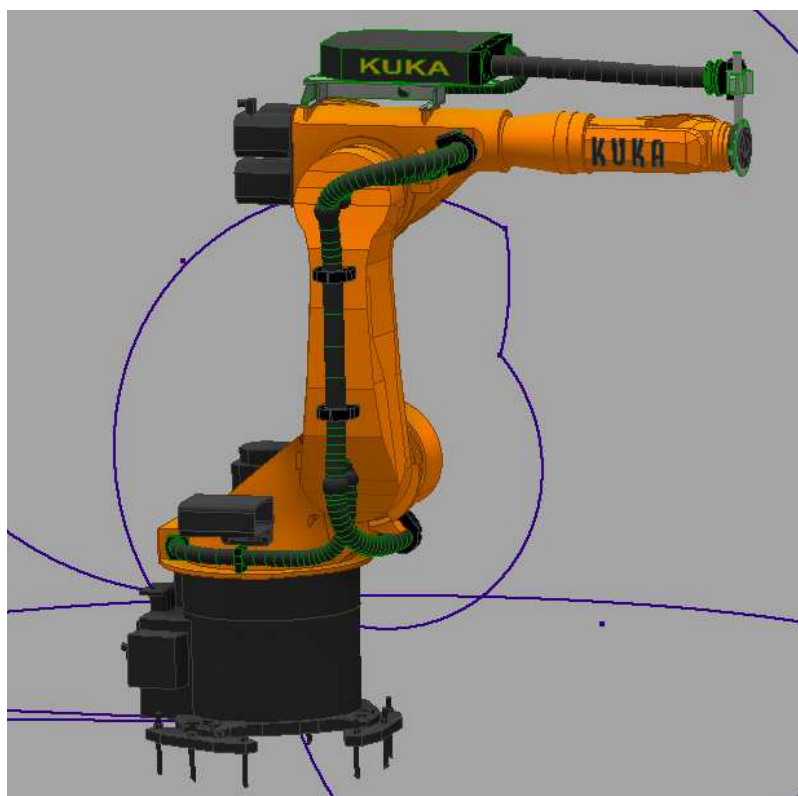
Obr. 31.: Krytování

### 5.1.10 Volba robotu

Volba robotu je závislá na celkové hmotnosti koncového efektoru s uchopovaným dílem. Provedeme tedy odhad celkové hmotnosti konstruovaného koncového efektoru. Do výpočtu můžeme zapojit nám už známé hmotnosti zkonstruovaných prvků. Tedy hmotnost základní desky  $m_{zd}$ , hmotnost chapadla  $m_g$ , hmotnost hřídele  $m_h$ , hmotnost prstu  $m_p$ , hmotnost prizmatického úchopu  $m_{pú}$  a hmotnost oplechování  $m_{pl}$ . Dále provedeme odhad hmotnosti příruby  $m_{př}$ , středícího kroužku  $m_{sk}$  a spojovacího materiálu  $m_{sp}$ . Při součtu však nesmíme zapomenout, že některé části se na efektoru vyskytují vícekrát. Odhad provedeme pro uchopovač výkovku, jehož hmotnost bude vzhledem ke konstrukci vyšší.

$$m = m_{zd} + 2 * m_g + m_h + 4 * m_p + 4 * m_{pú} + m_{pl} + m_{př} + m_{sk} + m_{sp}$$
$$m = 4,64 + 2 * 1,85 + 4,54 + 4 * 1,13 + 4 * 0,42 + 2 * 1,37 + 2,5 + 0,3 + 2 = 26,62$$

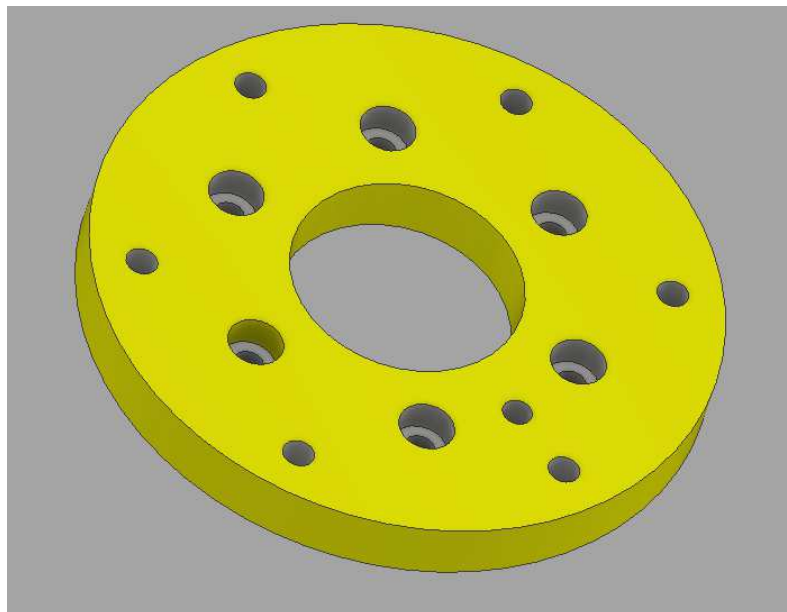
Odhad výsledné hmotnosti efektoru je přibližně 27 kg. Po uvážení rezervy byl zvolen robot firmy KUKA s označením KR-60-HA, jehož nosnost se pohybuje v rozmezí 16 – 60 kg. Robot byl volen standartní, a určený pro montáž na podlahu. Na webu výrobce je dostupná rozsáhlá dokumentace a model robotu Obr. 32.



Obr. 32.: KUKA KR-60-HA

### 5.1.11 Konstrukce příruby

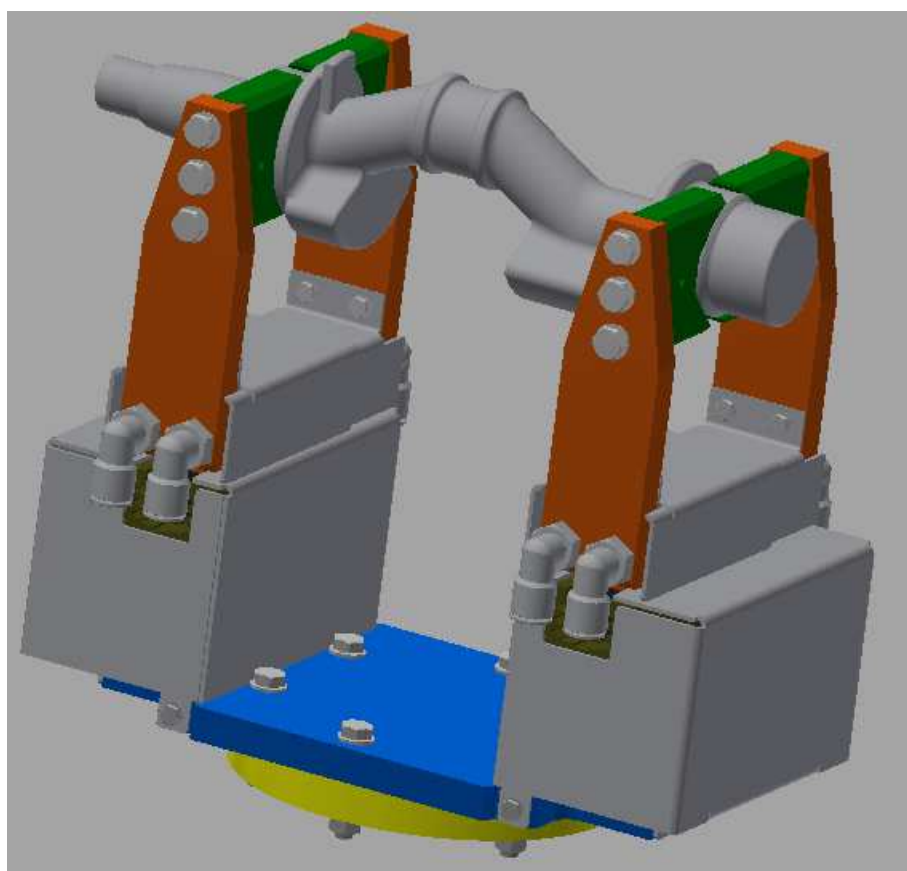
Konstrukce příruby byla provedena podle rozměrů příruby robotu Obr. 33. Díry pro šrouby se zapuštěnou hlavou a díra pro kolík ležící na vnitřním kruhovém poli slouží k montáži příruby na robot. Díry na vnějším poli jsou pak určeny pro přichycení základní desky. Ve středové díře se při montáži bude nacházet středící kroužek pro vymezení polohy. Příruba je vyrobena z nerezové oceli 17 241 a její hmotnost je 2,51 kg.



Obr. 33.: Příruba

#### 5.1.12 Sestava koncového efektoru výkovku

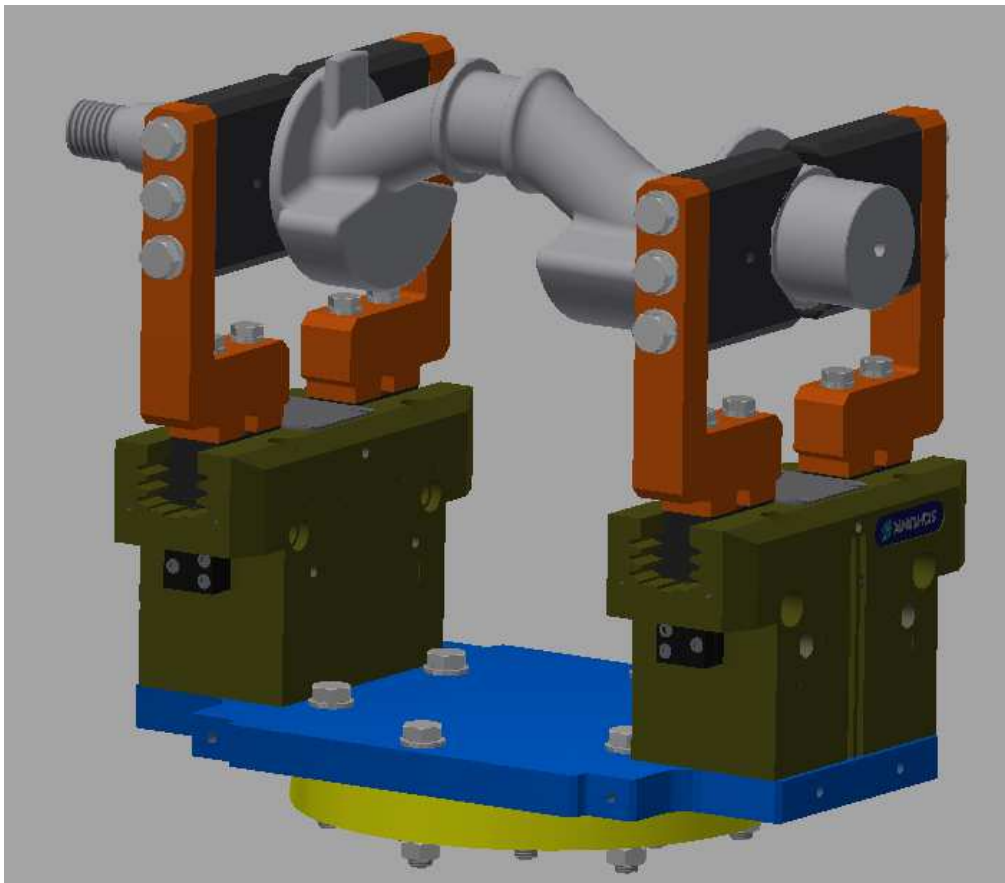
Sestavením všech potřebných dílů, kterými jsou: základní deska, příruba, středící kroužek, 2x chapadlo, 4x prst, 4x prizmatický úchop, 2x kryt a výkovek klikové hřídele, získáme sestavu koncového efektoru pro manipulaci s výkovkem Obr. 34. Do modelu byl přidán i potřebný spojovací materiál. Celková váha koncového efektoru činí 28,36 kg.



Obr. 33.: Koncový efektor pro manipulaci s výkovkem

### 5.1.13 Sestava koncového efektoru obrobku

Sestava koncového efektoru pro manipulaci s výkovkem Obr. 34. obsahuje základní desku, přírubu, středící kroužek, 2x chapadlo, 4x prst, 4x prizmatický úchop a obrobenou klikovou hřídel. Sestava byla rovněž doplněna o spojovací materiál. Celková váha efektoru pro studený kus je 21,27 kg.



Obr. 34.: Koncový efektor pro manipulaci s obrobkem

## 5.2 Provedení kontrolních výpočtů

Uchopovací síla musí mít takovou velikost, aby bylo zajištěno bezpečné držení objektu, který je při manipulaci vystaven působení vnějších sil. Jedná se například o tíhovou sílu, setrvačné síly, nebo různé odpory při vyjímání objektů ze zásobníků, přípravků či pracovního prostoru stroje. Dále mohou vnější síly vznikat při vzájemné spolupráci dvou manipulátorů. Pro stanovení velikosti úchopné síly musíme provést důkladnou analýzu sil působících na objekt v jednotlivých fázích pohybu. Během výpočtu úchopné síly uvažujeme nejnepríznivější podmínky, které mohou nastat. Kritická úchopná síla je pak taková velikost úchopné síly, která je v rovnováze s vnějšími silami působícími na objekt. Velikost uchopovací síly potom určíme vynásobením kritické uchopovací síly bezpečností. Bezpečnost je ovlivněna celkovými dispozicemi pracoviště s manipulátorem, typem použitých úchopných prvků, konstrukcí hlavice a charakterem provozu. Velikost úchopné síly je zpravidla nejvíce ovlivněna setrvačnými silami. Mohou nastat i případy, kdy může být úchopná síla tak velká, že by mohlo dojít k poškození uchopovaného objektu, nebo je nedosažitelná danými uchopovacími prvky - například kvůli příliš malým rozměrům nebo nevhodnému tvaru objektu. Poté je třeba zpětně měnit rychlosti a zrychlení manipulačního cyklu.

### 5.2.1 Výpočet zrychlení robotu

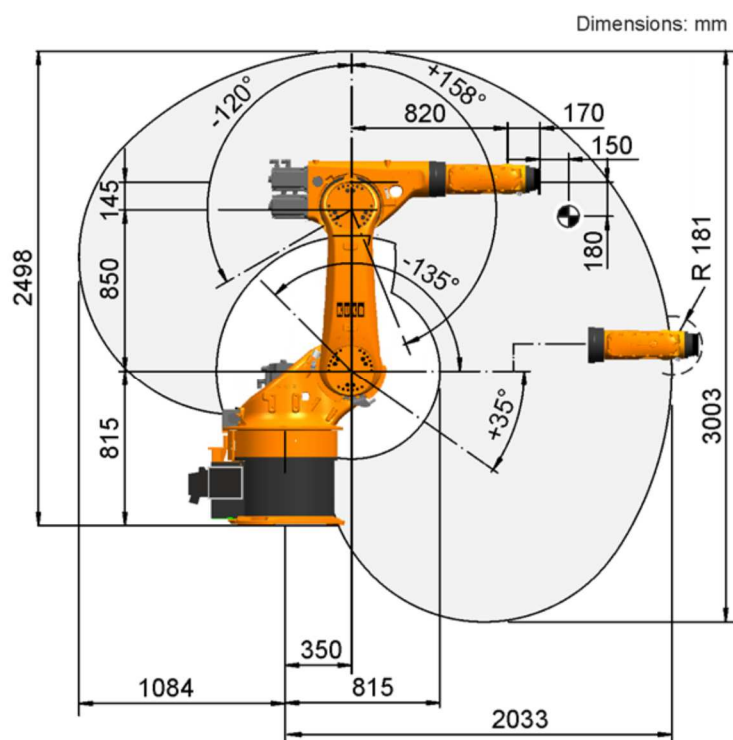
Zrychlení robotu, které je potřebné pro následující výpočet úchopné síly, je zrychlení ve vertikálním a horizontálním směru. Tyto hodnoty však nejsou v technických specifikacích nikde uvedeny, nicméně jsou dostupné všechny parametry potřebné k jejich výpočtu.

Prvním výchozím parametrem je rychlost otáčení jednotlivých os při různých zatíženích. Pro výpočet bude uvažováno zatížení robotu 30 kg. Hodnoty tedy lze odečíst z tabulky 5.1 pro zvolený robot KR 60 HA.

Tab. 5.1 Rychlosti os robotu [4]

Axis data	Range (software)	Speed with rated payload			
		30 kg	60 kg	45 kg	30 kg
Axis 1 (A1)	±185°	140°/s	128°/s	128°/s	128°/s
Axis 2 (A2)	+35°/-135°	126°/s	102°/s	102°/s	102°/s
Axis 3 (A3)	+158°/-120°	140°/s	128°/s	128°/s	128°/s
Axis 4 (A4)	±350°	260°/s	260°/s	260°/s	260°/s
Axis 5 (A5)	±119°	245°/s	245°/s	245°/s	245°/s
Axis 6 (A6)	±350°	322°/s	322°/s	322°/s	322°/s

Dále je důležité znát vzdálenosti od os otáčení. K tomu bude použito schéma pracovního prostoru robotu Obr.35.



Obr. 35.: Pracovní prostor robotu [4]

Posledním potřebným parametrem jsou pak časy pro dosažení maximální rychlosti v jednotlivých osách, ty jsou uvedeny v následující tabulce 5.2.

Tab. 5.2 časy dosažení maximálního zrychlení v osách

Axe	Acceleration time under load
A1	413 ms
A2	460 ms
A3	240 ms
A4	800 ms
A5	410 ms
A6	410 ms

Prvním krokem je výpočet maximální rychlosti v požadovaných směrech. Jako první byl proveden výpočet ve směru horizontálním a sice podle rovnice 5.1.

$$v = \omega * r \quad (5.1)$$

Za úhlovou rychlost byla dosazena hodnota z tabulky pro osu A1. Zjišťujeme hodnotu pro horizontální rychlost, ostatní osy můžeme tedy zanedbat. Hodnota je však uváděna ve stupních za sekundu, musí být tedy v rovnici 5.2. převedena na radiány za sekundu. Vzdálenost od osy rotace je uvažována taková, že robot je natažen maximálně, tedy vodorovně se zemí. Po dosažení bude získána hledaná tangenciální rychlosti v horizontálním směru.

$$\omega_h = 140 \frac{deg}{s} = 2,44 \frac{rad}{s} \quad (5.2)$$

$$v_h = 2,44 * 2,033 = 4,96 \frac{m}{s} \quad (5.3)$$

Podobný postup lze použít i pro výpočet vertikální rychlosti. Bude zde ovšem uvažován současný pohyb os A2 a A3, ostatní jsou opět zanedbány. Znovu jsou z uvedených zdrojů zjištěny potřebné hodnoty a proveden převod jednotek a dosažení do rovnic pro osy A2 a A3.

$$\omega_{v2} = 126 \frac{deg}{s} = 2,20 \frac{rad}{s} \quad (5.4)$$

$$v_{v2} = 2,2 * 1,683 = 3,70 \frac{m}{s} \quad (5.5)$$

$$\omega_{v3} = 140 \frac{deg}{s} = 2,44 \frac{rad}{s} \quad (5.6)$$

$$v_{v3} = 2,44 * 0,99 = 2,42 \frac{m}{s} \quad (5.7)$$

Pokud se tedy otáčí obě osy A2 i A3 na maximum, pak je výsledná tangenciální rychlost ve vertikálním směru, rovna jejich součtu, jak lze vidět v rovnici 5.8.

$$v_v = v_{v2} + v_{v3} = 3,70 + 2,42 = 6,12 \frac{m}{s} \quad (5.8)$$

Dále lze z vypočtených rychlostí zjistit zrychlení podle vztahu v rovnici 5.9.

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (5.9)$$

Dosažením zjištěné horizontální rychlosti a času pro dosažení maximální rychlosti v ose A1 bylo získáno horizontální zrychlení.

$$a_h = \frac{4,96}{0,413} = 12,01 \frac{m}{s^2} \quad (5.10)$$

Provedením dosažení i pro osy A2 a A3 a jejich následným součtem je získána výsledná hodnota vertikálního zrychlení.

$$a_{v2} = \frac{3,70}{0,460} = 8,04 \frac{m}{s^2} \quad (5.11)$$



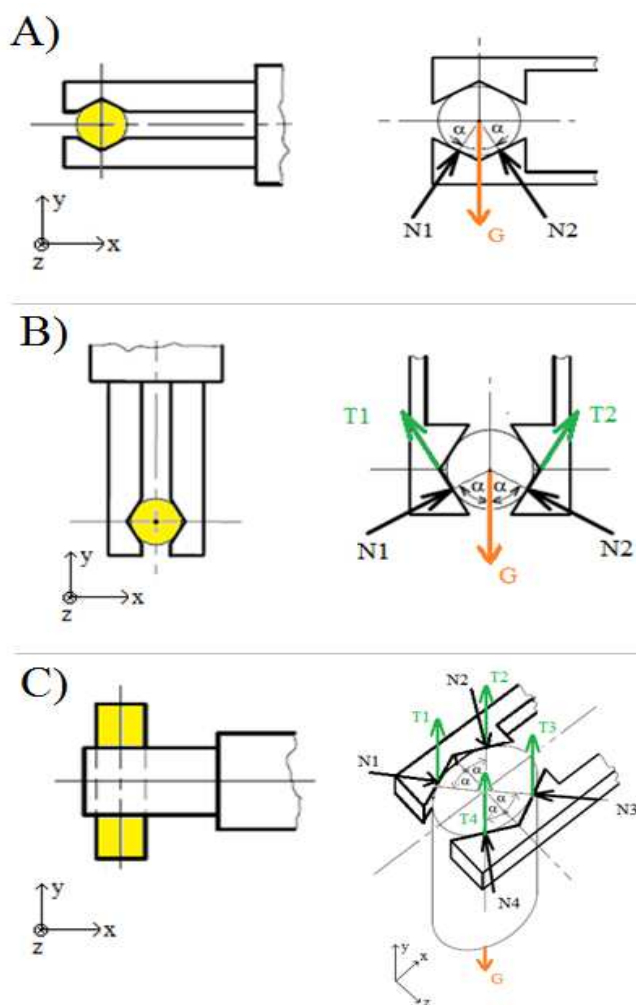
$$a_{v3} = \frac{2,42}{0,240} = 10,08 \frac{m}{s^2} \quad (5.12)$$

$$a_v = a_{v2} + a_{v3} = 8,04 + 10,08 = 18,12 \frac{m}{s^2} \quad (5.13)$$

Byly nalezeny hledané hodnoty vertikálního a horizontálního zrychlení a může být proveden samotný výpočet uchopovací síly.

### 5.2.2 Výpočet uchopovací síly

K výpočtu samotné uchopovací síly musí být nejdříve vyhodnocena nejvíce nepříznivá situace, která může nastat při manipulaci s objektem. Velkou výhodou je v dnešní době možnost simulace pohybu efektoru, díky kterým lze pohyb podrobně popsat a naplánovat. Při zjednodušeném pohledu na věc však může být uvažováno, že mohou nastat tři základní druhy uchopení, které jsou vyobrazeny na Obr.36. Další možná uchopení pak vznikají jejich kombinací.



Obr. 36.: Uchopení a průběhy sil [14]

Při pohledu na obrázek lze jednoduše určit že nejnevhodnější způsob uchopení je způsob c), kde vyklouznutí tělesa brání pouze třecí síly. Výpočty budou tedy provedeny pro tento způsob uchopení. Výpočet však musíme provést zvlášť pro koncový efektor studeného kusu a teplého kusu, a to kvůli tomu, že některé parametry jako hmotnost a koeficient tření mezi uchopovaným objektem a čelistmi se budou lišit.

### 5.2.3 Výpočty pro efektor manipulující s výkovkem

Jako první bude proveden výpočet, při kterém bude brán v potaz pouze vertikální pohyb. Je využito vertikální zrychlení robotu, které bylo vypočítáno v předešlé části. Hmotnost výkovku je 4,54 kg. Sílu působící na těleso pak lze získat ze vztahu.

$$F_v = m(g + a_v) = 4,54 * (9,81 + 18,12) = 126,80 \text{ N} \quad (5.14)$$

Je-li známa síla působící na těleso a koeficient tření, který je v tomto případě pro ocel-ocel a má velikost  $f=0,75$ . Může být proveden výpočet kritické uchopovací síly, při které je objekt v rovnováze s vnějšími silami.

$$U_{Kritv} = \frac{F_v}{f} = \frac{126,80}{0,75} = 169,07 \text{ N} \quad (5.15)$$

Hledaná uchopovací síla bude nalezena, bude-li kritická uchopovací síla vynásobena bezpečností. Bezpečnost je volena  $k=3$ .

$$U_v = k * U_{Kritv} = 3 * 169,07 = 507,20 \text{ N} \quad (5.16)$$

Jako další bude proveden výpočet úchopné síly, při kterém lze uvažovat pohyb pouze v horizontálním směru. Do vzorce je tedy dosazeno zrychlení v horizontální rovině, úhel sklonu dotykových ploch úchopných prvků  $\alpha$ , bezpečnost a tíhovou sílu působící na těleso, která je nejdříve spočtena.

$$G = m * g = 4,54 * 9,81 = 44,54 \text{ N} \quad (5.17)$$

$$U_h = G * \left( \frac{k}{f} + \frac{a_h}{g} * tg \alpha \right) = 44,54 * \left( \frac{3}{0,75} + \frac{12,01}{9,81} * tg 45^\circ \right) = 232,69 \text{ N} \quad (5.18)$$

Při současném působení obou uvedených pohybů pak bude vypočtena uchopovací síla ze vzorce.

$$U = G \left[ \frac{k}{f} * \left( 1 + \frac{a_v}{g} \right) + \frac{a_h * tg \alpha}{g} \right] \quad (5.19)$$

$$U = 44,54 * \left[ \frac{3}{0,75} * \left( 1 + \frac{18,12}{9,81} \right) + \frac{12,01 * tg 45^\circ}{9,81} \right] = 561,77 \text{ N} \quad (5.20)$$

### 5.2.4 Výpočty pro efektor manipulující s obrobkem

Stejný výpočet se opakuje pro koncový efektor studeného kusu, hmotnost obrobku je 4,24 kg a součinitel tření pro ocel-Murylon A GF je  $f=0,35$ .

$$U_v = k * \frac{m(g+a_v)}{f} = 3 * \frac{4,24*(9,81+18,12)}{0,35} = 1015,06 \text{ N} \quad (5.21)$$

$$U_h = G * \left( \frac{k}{f} + \frac{a_h}{g} * tg \alpha \right) = 41,59 * \left( \frac{3}{0,35} + \frac{12,01}{9,81} * tg 45^\circ \right) = 407,40 \text{ N} \quad (5.22)$$

$$U = G \left[ \frac{k}{f} * \left( 1 + \frac{a_v}{g} \right) + \frac{a_h * tg \alpha}{g} \right] \quad (5.23)$$

$$U = 41,59 * \left[ \frac{3}{0,35} * \left( 1 + \frac{18,12}{9,81} \right) + \frac{12,01 * tg 45^\circ}{9,81} \right] = 1065,87 \text{ N} \quad (5.24)$$

Z vypočtených hodnot je jasné, že větší úchopné síly budou třeba u koncového efektoru pro studený kus, a to zejména vlivem koeficientu tření. Nejvyšší síla, která byla získána výpočtem je 1065,87 N. Zvolený chapač firmy Schunk však dovede vyvinout sílu až 1470 N, z toho plyne, že nedojde k uvolnění objektu manipulace ani v případě poruchy na jednom chapadle. Výpočtový návrh tedy vyhovuje podmínkám uchopení.

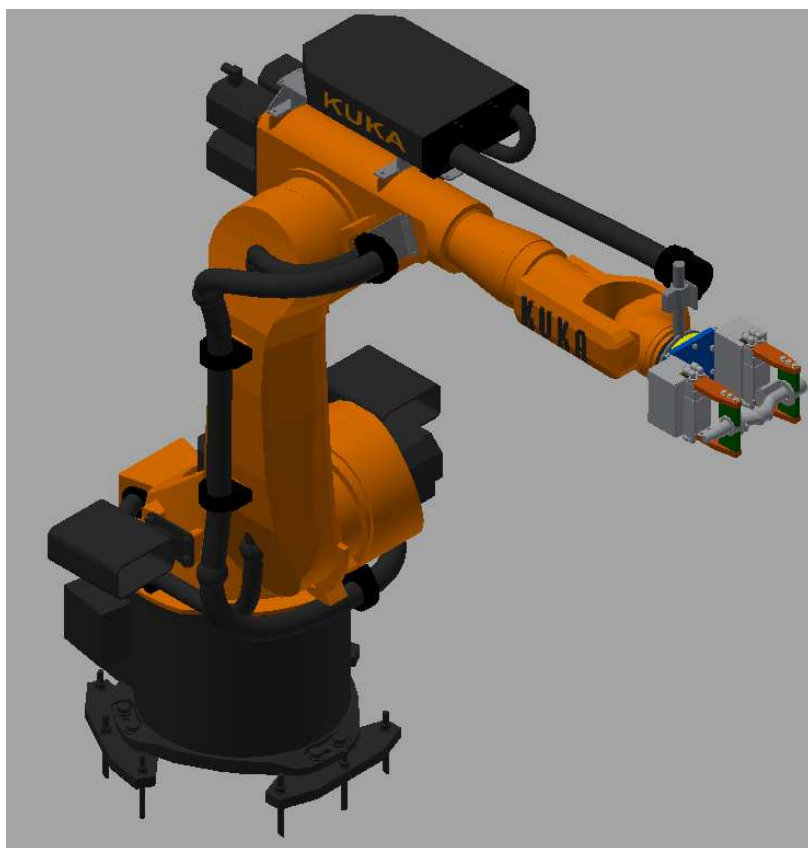


## 6 VYHODNOCENÍ NAVRŽENÉ KONSTRUKCE

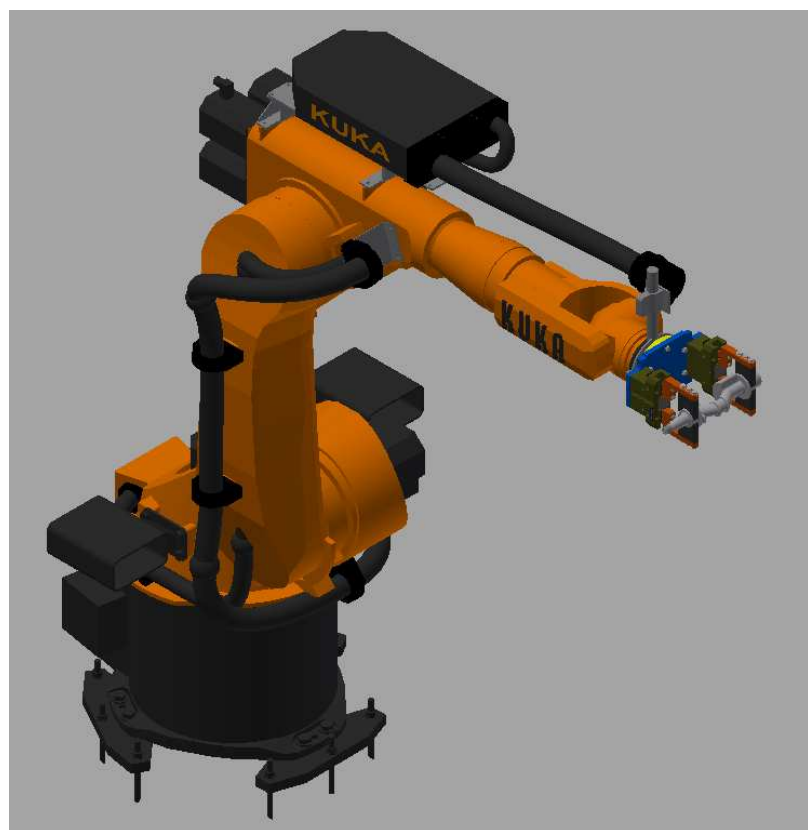
Obě navrhovaná řešení byla úspěšně dokončena a měla by být plně funkční. Navrhované efektory mají stejnou základní část, liší se pouze v konstrukci prstů, prizmatických úchopů a krytování, kterým je vybaven efektor pro manipulaci s výkovkem Obr. 37. Díky stejné základní části může docházet k volným přestavbám, které mohou být zhotoveny během krátkého časového úseku.

Z pohledu náročnosti konstrukce je jasné, že náročnější je konstrukce efektoru pro manipulaci s výkovkem, a to z důvodu vysoké teploty a působení tepelného záření. Jako opatření proti uvedeným vlivům mají prsty maximální možnou délku, která je udávána výrobcem a jsou chlazeny vodou. Dalším opatřením jsou pak plechové kryty, které chrání chapadlo proti vlivům tepelného záření. Tato opatření se podepsala na složitosti konstrukce koncového efektoru, a hlavně pak na konstrukci prstu. Koncový efektor pro manipulaci se studeným kusem Obr. 38. vypadá díky nízké teplotě velmi odlišně. Prsty nemají maximální délku a nevyskytuje se zde ani vodní chlazení, ani oplechování a není třeba volit materiál pro zvýšené teploty. Jediným problémem, který zde nastává je, že efektor uchopuje hřídel za obrobenou plochu s předepsanou jakostí povrchu. Tento problém byl vyřešen tak, že jako materiál pro prizmatický uchop byl zvolen plast. Vybraný druh plastu má vysokou odolnost proti opotřebení, vysokou pevnost v tlaku a je vhodný pro použití za zvýšených teplot, proto by jeho použití nemělo nijak omezovat činnost efektoru.

Podobné to bude i s náročností z pohledu montáže. Koncový efektor pro manipulaci s výkovkem bude složitější, zejména kvůli většímu počtu součástí, přidanému přívodu a odvodu chladicí vody, ale i kvůli postupu. Nejdříve je provedena montáž příruby k přírubě robotu, poté je pomocí šroubů a matic připojena základní deska. Na základní desku jsou dále nainstalována chapadla a je provedeno jejich připojení ke zdroji stlačeného vzduchu a osazení potřebnými snímači. Dále se už montáž pro jednotlivé typy efektoru rozchází. U efektoru pro teplý kus je dalším krokem montáž plechového krytu chapadla a až poté může být provedena montáž prstů. Na prsty následně přiděláme kryty, a jako poslední připevníme prizmatické úchopy. U efektoru pro studený kus jsou prsty instalovány rovnou po montáži chapadla. Posledním krokem je totožně montáž prizmatických úchopů.



*Obr. 37.: Koncový efektor pro manipulaci s výkovkem na robotu*



*Obr. 38.: Koncový efektor pro manipulaci s obrobkem na robotu*

## 7 STRUČNÁ ANALÝZA RIZIK

Základním požadavkem pro robotizované pracoviště je zamezení vzniku poranění člověka nebo škody na majetku. Tato skutečnost je velmi vážně posuzována a při samotném návrhu pracoviště je na ní kladen velký důraz. Samotné pracoviště je při práci uzavřené a je zamezeno pohybu osob v pracovním prostoru. Nicméně k úrazům může přesto docházet, a to například během montáže, servisní činnosti, seřizování či programování, nebo při poruše. Konstruktor musí všechny možné způsoby vzniku nebezpečí a jejich následky uvážit a zamezit jejich vzniku, přičemž se musí řídit danými normami. Nebezpečí, která mohou vznikat u pracoviště s navrhovanými efektoru lze rozdělit do následujících skupin.

### 7.1 Mechanická nebezpečí

Vlivem mechanického pohybu může dojít k mnoha zraněním jako je stlačení, pořezání, stříh, navinutí, vtažení nebo zachycení, bodnutí nebo propíchnutí, náraz nebo v lepším případě pouze odření. Příčinami těchto zranění bývá nejčastěji pohyb ramene robotu nebo koncového efektoru, pád nebo vymrštění předmětu manipulace, zachycení obsluhy ramenem či efektoru, zachycení oděvu či vlasů pohyblivými částmi, nebo nechtěný pohyb efektoru či robotu.

### 7.2 Elektrická nebezpečí

Úraz elektrickým proudem může způsobit šok, popálení nebo v nejhorším případě i smrt. Zranění mohou být způsobena dotykem s živou částí, nebo částí která se stala živou vlivem závady. V případě vysokého napětí může dojít k úrazu i při přiblížení k částem pod napětím. Dalšími příčinami mohou být například nevhodná izolace nebo elektrostatické jevy.

### 7.3 Tepelná nebezpečí

Tepelná nebezpečí mohou způsobit úraz popálením, buď předmětem s vysokou teplotou nebo vlivem vystavení tepelného záření. Tyto úrazy mohou vznikat vlivem horkých povrchů nebo předmětů, které jsou spojené s koncovým efektoru. Dále může k popálení dojít kvůli extrémním teplotám specifických výrobních procesů, jako je například kování. Nebezpečím je též přítomnost hořlavých materiálů, u kterých by mohlo dojít ke vzplanutí.

### 7.4 Nebezpečí vytvářená hlukem

Působením nadměrného hluku může dojít ke ztrátě sluchu, hučení v uších, únavě a odvedení pozornosti. Potenciální příčinou u navrhovaného pracoviště může být obrábění materiálu nebo rázové tváření materiálu.



## 8 ODHAD NÁKLADŮ NA VÝROBU JEDNOHO KUSU

Provedení odhadu nákladů na výrobu spočívá ve zjištění ceny nakupovaných továrních výrobků, kterými jsou v tomto případě chapadla a spojovací materiál. Dále byl proveden přibližný odhad pořizovacích cen polotovarů. Poslední částí je pak hrubý odhad ceny výroby součástí z polotovaru, ta zahrnuje náklady na obrobení, čas potřebný pro obrobení a veškerou režii u zakázky. Je předpokládána kooperace s externí firmou. Při odhadu je třeba také uvážit, že se jedná o kusovou výrobu podle předepsaného postupu.

Po provedení odhadu byly všechny náklady na pořízení koncového efektoru pro teplý kus sepsány do následující tabulky 8.1.

Tab. 8.1 Náklady na pořízení efektoru pro teplý kus

odhad nákladů na pořízení koncového efektoru pro teplý kus				
konstrukční prvek	dílčí části	cena [Kč/ks]	počet [ks]	celková cena konstrukčního prvku [Kč]
spojovací materiál	tovární výrobek	200	1	200
chapadlo	tovární výrobek	23000	2	46000
základní deska	materiál	950	1	950
	obrobení	5000		5000
prst	materiál	350	4	1400
	obrobení	5000		20000
prizmatický úchop	materiál	100	4	400
	obrobení	2500		10000
krytování	materiál	200	2	400
	obrobení	3000		6000
příruba	materiál	700	1	700
	obrobení	4000		4000
celková cena [Kč]				94850

Podobný odhad byl proveden i pro náklady na pořízení koncového efektoru pro studený kus. Odhadované náklady jsou uvedeny v tabulce 8.2.

Tab. 8.3. Náklady na pořízení efektoru pro studený kus

odhad nákladů na pořízení koncového efektoru pro studený kus				
konstrukční prvek	dílčí části	cena [Kč/ks]	počet [ks]	celková cena konstrukčního prvku [Kč]
spojovací materiál	tovární výrobek	150	1	150
chapadlo	tovární výrobek	23000	2	46000
základní deska	materiál	950	1	950
	obrobení	5000		5000
prst	materiál	100	4	400
	obrobení	2500		10000
prizmatický úchop	materiál	350	4	1400
	obrobení	2500		10000
příruba	materiál	700	1	700
	obrobení	4000		4000
			celková cena [Kč]	78600

Z tabulek lze vyčíst, že pořizovací ceny pro koncové efektoru jsou odhadovány na 94 850 Kč - pro efektor určený k uchopení výkovku a 78 600 Kč - pro efektor manipulující s obrobkem. Vyšší cena efektoru pro teplý kus plyne z většího množství konstrukčních prvků, jejich složitosti a z dražších použitých materiálů.

## 9 ZÁVĚR

Hlavní cílem práce bylo navrhnout konstrukci modulárního úchopného zařízení jako koncového efektoru pro manipulaci se součástkami pomocí robotu. Objektem manipulace byla zvolena kliková hřídel jednoválcového kompresoru. Manipulace s hřídelí probíhá ve dvou formách, a to sice ve formě výkovku a ve formě obrobku, proto jsou výstupem práce dvě modulární konstrukce koncového efektoru o stejném základu.

Na úvod práce jsou uvedeny základní informace o průmyslových robotech, jako je jejich definice, použití, rozdělení z kinematického hlediska a popis hlavních částí robotu. Dále teoretická rešerše pokračuje k tématu koncových efektorů. Je uvedena definice pojmů a jsou uvedeny rozmanité druhy koncových efektorů s jejich rozdělením. Hlavní důraz je kladen na efektor manipulační, které jsou přehledně rozděleny do charakteristických skupin a jsou popsány úchopné prvky, kterými jednotlivé efektoru disponují. Díky této rešerši jsem se dostal hlouběji do dané problematiky a získal jsem potřebné znalosti k vytvoření práce.

Druhou částí práce je pak porovnání trhu. Nedílnou součástí této kapitoly bylo listování s produktových katalogů výrobců a hledání potřebných informací. Dohledání některých informací nebylo jednoduché, a to hlavně z důvodu nepřehlednosti webů některých výrobců, ale i z toho důvodu, že někteří zvolení výrobci ani nemají katalogy v českém jazyce. Nicméně potřebné informace se podařilo dohledat a byl vytvořen charakteristický průřez trhem v dané oblasti. Byli vybráni čtyři výrobci a od každého jsem pak zvolil tři charakteristické výrobky, u kterých jsou uvedeny jejich důležité parametry, podle kterých by se zákazník mohl řídit při jejich nákupu. Všechny parametry jsou na závěr kapitoly sepsány do přehledné tabulky.

Hlavním částí práce je pak samotná konstrukce koncových efektorů. Byl zvolen postup popisu konstrukce po jednotlivých částech, ze kterých je poté skládán celek. U každé dílčí části jsou uvedeny základní informace, jako je materiál a celková hmotnost, dále jsou pak popisovány funkce jednotlivých konstrukčních prvků, díky kterým lze snadno pochopit výslednou funkci součásti. Po zkonstruování jednotlivých částí byl zvolen vyhovující průmyslový robot a byl vyřešen způsob montáže efektoru na robot. Tím byly získány všechny potřebné části a mohly být vytvořeny finální sestavy koncových efektorů. Oba efektoru byly úspěšně zkonstruovány a jejich funkce je na první pohled patrná. Jako ověření správnosti konstrukce byl proveden kontrolní výpočet uchopovací síly. Složitě bylo nalezení vyhovujícího výpočtu pro zvolený typ efektoru, po delším hledání se však podařilo najít hledaný postup a výpočty byly provedeny. Výpočty potvrdily správnost konstrukce a prokázaly, že nedojde k uvolnění hřídele ze sevření během manipulace.

Následně byly obě navržené konstrukce vyhodnoceny, a to zejména z pohledu náročnosti konstrukce a montáže, kdy bylo jednoznačně prokázáno, že efektor pro manipulaci s výkovkem je náročnější z obou hledisek. Dále je provedena stručná analýza rizik, kde jsou popsána nebezpečí a jejich následky, ke kterým může na daném pracovišti dojít. Poslední částí je pak odhad nákladů na výrobu jednotlivých efektorů. Odhady se skládají z cen za materiál a obrobení součástí. Celkové částky jsou pak směrodatné, ale nemusí být úplně přesné.

K navrhnutým koncovým efektorům byly vytvořeny výkresy sestav a výrobní výkresy prstů a prizmatických úchopů.





## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 stran : ilustrace (převážně barevné), portréty. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] Robotizovaná výrobní linka. Solidsmack [online]. EVD MEDIA, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.solidsmack.com/wp-content/uploads/2014/08/feature22.jpg>
- [3] Rozdělení robotů z kinematického hlediska. DocPlayer [online]. DocPlayer, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/docs-images/61/46414428/images/18-0.jpg>
- [4] KUKA [online]. Chomutov: KUKA Aktiengesellschaft, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>
- [5] 02 Základy Priemyselnej robotiky- Základné pojmy a štruktúra. Dailyautomation [online]. Kysucké Nové Mesto: Daily Automation, s.r.o, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/wp-content/uploads/2016/05/Z%C3%A1kladn%C3%A9-pojmy-a-%C5%A1rukt%C3%BAra.gif>
- [6] Magnetic end effector. Blog.robotiq [online]. Lévis: Robotiq, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/hs-fs/hub/13401/file-205896218-jpg/images/magnetic-end-effector.jpg?t=1517513541963>
- [7] Knight vac glass. Knight-ind [online]. Auburn Hills: Knight Global, 2015 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: [http://www.knight-ind.com/images/lift\\_assists/knight\\_vac\\_glass.jpg](http://www.knight-ind.com/images/lift_assists/knight_vac_glass.jpg)
- [8] HRADIL, J. Koncové Efektory v Průmyslové Robotice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý
- [9] Tube end robot. Lap-laser [online]. Lueneburg: LAP GmbH Laser Applikationen, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: [https://www.lap-laser.com/fileadmin/\\_migrated/pics/tube\\_end\\_robot\\_03.jpg](https://www.lap-laser.com/fileadmin/_migrated/pics/tube_end_robot_03.jpg)
- [10] Festo [online]. Praha: Festo, c2000-2010 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/index.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm)
- [11] Schunk [online]. Brno: SCHUNK GmbH & Co., 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_en/homepage/](https://schunk.com/cz_en/homepage/)
- [12] Smpneumatics [online]. Yorba Linda: SMCpneumatics.com, 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.smpneumatics.com/>
- [13] Dsczech [online]. Praha: www.dsczech.cz, c2010-2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://dsczech.cz/>
- [14] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2018-05-02]. 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). Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

BP-PF-A3-01	výrobní výkres konzoly
BP-PF-A2-02	výrobní výkres konzoly chlazené vodou
BP-PF-A3-03	výrobní výkres kovového prizmatického úchopu
BP-PF-A3-04	výrobní výkres plastového prizmatického úchopu
BP-PF-A1-05	výkres sestavení koncového efektoru pro obrobek
BP-PF-A1-06	výkres sestavení koncového efektoru pro výkovek